

Contenido

	Página
Preámbulo	XIV
1 Alcance y campo de aplicación	1
2 Referencias normativas	1
3 Materiales	3
4 Consideraciones de diseño	3
4.1 Generalidades	3
4.2 Bases de diseño	4
4.3 Cargas y combinación de ellas	4
4.4 Contenido de humedad	5
4.5 Documentos de proyecto	6
5 Tensiones y módulos elásticos para la madera aserrada	7
5.1 Tensiones de trabajo	7
5.2 Tensiones admisibles y módulos elásticos para madera aserrada	7
6 Factores de modificación	12
6.1 Factores de modificación de aplicación general	12
6.2 Factores de modificación de aplicación particular	14
7 Dimensionamiento de piezas estructurales de madera aserrada	15
7.1 Consideraciones generales de diseño	15
7.2 Elementos en flexión	16

Contenido

	Página	
7.3	Elementos en compresión paralela	47
7.4	Elementos en tracción paralela	61
7.5	Elementos en compresión normal a la fibra	62
7.6	Elementos sometidos a esfuerzos combinados	65
8	Dimensionamiento de piezas estructurales de sección transversal circular	67
8.1	Generalidades	67
8.2	Tensiones admisibles y módulos de elasticidad	68
8.3	Factores de modificación	68
8.4	Elementos en flexión	70
8.5	Elementos en compresión paralela	71
9	Uniones en la madera estructural	73
9.1	Generalidades	73
9.2	Verificaciones tensionales en uniones	75
9.3	Capacidades de carga de diseño	78
9.4	Modificación de las capacidades de carga admisible	79
9.5	Protección anticorrosiva	85
9.6	Medios de unión de forma cilíndrica	86
9.7	Uniones con conectores de anillo	117
9.8	Uniones con placas metálicas dentadas	124
9.9	Capacidad de carga de diseño del endentado de placa	127
9.10	Uniones de contacto entre piezas de madera	133

Contenido

	Página
9.11 Módulos de corrimiento para el cálculo de flecha	136
10 Madera laminada encolada	138
10.1 Generalidades	138
10.2 Tensiones admisibles y módulos elásticos	138
10.3 Factores de modificación	138
10.4 Flexión y compresión paralela	140
10.5 Deformaciones	141
10.6 Rebajes	141
10.7 Vigas curvas y vigas rectas con altura variable	142
10.8 Arcos y marcos	148
 Anexos	
Anexo A (normativo) Agrupamiento de las maderas crecidas en Chile	150
Anexo B (normativo) Constantes elásticas de la madera	151
Anexo C (normativo) Deformación total bajo la acción de cargas permanentes	153
Anexo D (normativo) Humedades de equilibrio de diferentes regiones geográficas de Chile	154
Anexo E (normativo) Densidades de especies forestales	157
Anexo F (normativo) Coeficientes de contracción de algunas maderas comerciales crecidas en Chile	159

Contenido

	Página
Anexo G (normativo) Efectos de la duración de la carga	161
G.1 Cargas de duración normal	161
G.2 Modificaciones para otras duraciones de la carga	161
G.3 Combinación de cargas de distinta duración	162
Anexo H (normativo) Efectos de la temperatura sobre la resistencia de la madera	164
Anexo I (normativo) Efectos de los tratamientos químicos sobre la resistencia de la madera	165
Anexo J (normativo) Expresiones de tensiones efectivas y momento de inercia eficaz en casos particulares de vigas de sección transversal compuesto según 8.2.5	167
J.1 Secciones transversales tripartitas con doble simetría	167
J.2 Secciones transversales bipartitas con simetría simple y doble	168
Anexo K (normativo) Longitudes efectivas de pandeo - Fórmulas aproximadas	169
Anexo L (normativo) Características generales y dimensiones de los tornillos para madera	175
L.1 Características generales	175
L.2 Dimensiones tornillos	176
Anexo M (normativo) Características generales y dimensiones de los tirafondos para madera	177
M.1 Características generales	177
M.2 Dimensiones tirafondos	177

Contenido

	Página
Anexo N (normativo) Tipos, designaciones y dimensiones de clavos, según NCh1269	178
Anexo O (normativo) Representación de elementos de construcción en madera y documentos asociados	179
O.1 Abreviaturas	179
O.2 Representación general y simplificada de medios de unión	182
O.3 Representación general y simplificada de maderas, productos forestales y otros elementos	189
Anexo P (normativo)	192
P.1 Exposición a la corrosión (extraído de DIN 55 928 Parte 1)	192
P.2 Exposiciones excepcionales	194
Anexo Q (normativo) Columnas con cargas laterales y excentricidad	195
Anexo R (normativo) Fórmulas para los modos de fluencia para uniones	198
R.1 Modos de fluencia	198
R.2 Resistencia de aplastamiento para piezas de acero	198
R.3 Resistencia de aplastamiento para piezas de madera	198
R.4 Tensión de fluencia del medio de unión, F_{ff}	199
R.5 Medios de unión con hilo	200
Anexo S (normativo) Fallas de la madera solicitada en tracción según la dirección de la fibra en uniones con medios de unión mecánicos	201

Contenido

	Página
Anexo T (normativo) Capacidad admisible de carga de la madera ante sollicitaciones normales a la dirección de la fibra en uniones con medios de unión mecánicos	206
Anexo U (normativo) Refuerzos de vigas curvas y vigas de bordes rectos y altura variable de MLE	211
Figuras	
Figura 1 Control de excentricidades en uniones de barras de cerchas	16
Figura 2 Determinación del esfuerzo de corte	24
Figura 3 Vigas con rebaje inferior	27
Figura 4 Vigas con rebajes superiores	28
Figura 5 Geometría y distribución de tensiones en las vigas compuestas	35
Figura 6 Espaciamiento condicionante s' de una disposición multilineal de medios de unión	37
Figura 7 Tipos de vigas de alma llena entabladas	41
Figura 8 Sección transversal compuesta de una viga clavada de alma llena	41
Figura 9 Diagrama de tensiones en vigas enrejadas	42
Figura 10 Vigas enrejadas con cordones paralelos	43
Figura 11 Piezas compuestas espaciadas - Tipos A, B, C, D y E	55
Figura 12 Suposiciones relativas a los puntos de acción de las fuerzas de corte y flujos de cizalle en piezas compuestas con tapas de unión	57
Figura 13 Piezas compuestas espaciadas - Tipos F y G	58
Figura 14 Apuntalamiento individual de piezas comprimidas	60
Figura 15 Superficie solicitada en compresión normal	63

Contenido

	Página
Figura 16 Solicitaciones de flexión y compresión excéntricas	67
Figura 17 Designaciones de espaciamiento y bordes	75
Figura 18 Unión con pieza solicitada normal a la dirección de la fibra	76
Figura 19 Medida de h_e , para los diferentes medios de unión	77
Figura 20 Elementos de unión dispuestos en forma alternada - Número par de hileras	83
Figura 21 Elementos de unión dispuestos en forma alternada - Número impar de hileras	83
Figura 22 Areas de sección transversal para la aplicación de Tablas 30 y 31	84
Figura 23 Espaciamentos mínimos entre pernos, pasadores y tirafondos y a los bordes	86
Figura 24 Pasador	88
Figura 25 Esquema general de un tirafondo	90
Figura 26 Condiciones geométricas para el cálculo de la carga admisible de extracción lateral	91
Figura 27 Uniones con tornillos	92
Figura 28 Clavado de cordón a cizalle doble en vigas compuestas de alma llena	94
Figura 29 Espesores de madera y penetraciones mínimas en uniones clavadas de cizalle simple	94
Figura 30 Espaciamentos de clavos - Representación simplificada	97
Figura 31 Disposiciones de clavado - Representación simplificada	98
Figura 32 Espaciamentos de clavos traslapados	100
Figura 33 Correcta forma de colocar un "clavo lancero"	101
Figura 34 Uniones de planchas de acero y madera	102

Contenido

	Página
Figura 35 Uniones de planchas de acero y madera con clavado sin disposición alternada	104
Figura 36 Unión apernada	105
Figura 37 Modos de fluencia en uniones de madera con elementos de fijación mecánicos	106
Figura 38 Cizalle múltiple	111
Figura 39 Unión de piezas	111
Figura 40 Solicitación combinada sobre tirafondo	115
Figura 41 Unión con conectores de anillo abierto	117
Figura 42 Distancia al extremo, al borde y espaciamiento de conectores	121
Figura 43 Placa metálica dentada	124
Figura 44 Determinación del área efectiva de anclaje	126
Figura 45 Angulo α , formado entre la dirección de la fuerza y el eje axial de la placa	127
Figura 46 Distribución de las tensiones de tracción normal a la fibra y condiciones de verificación	131
Figura 47 Unión de tope inclinada	133
Figura 48 Geometría y designaciones en un embarbillado simple	135
Figura 49 Embarbillado doble	135
Figura 50 Disposición de perno de sujeción	136
Figura 51 Viga curva de sección transversal constante	144
Figura 52 Viga curva de sección transversal variable	144
Figura 53 Viga recta con altura de sección transversal variable	144

Contenido

	Página
Figura 54 Tensiones longitudinales, normales y de cizalle en un elemento triangular de un borde flexo-comprimido	146
Figura 55 Corrimiento lateral en el apoyo móvil de vigas de altura variable	148
Figura G.1 Factor de modificación por duración de la carga	163
Figura K.1 Estructuras reticuladas	169
Figura K.2 Tijerales de cercha tipo A	170
Figura K.3 Marco biarticulado con travesaño reticulado	171
Figura K.4 Sistema de arco	171
Figura K.5 Sistema de marco	173
Figura K.6 Longitudes de pandeo en un marco reticulado	174
Figura N.1 Tipos y dimensiones de clavos	178
Figura Q.1 Columna con cargas laterales y excentricidad	197
Figura S.1 Unión traccionada según la dirección de la fibra de la madera	201
Figura S.2 Capacidad de tracción de la sección transversal neta	202
Figura S.3 Capacidad de desgarro de una hilera de medios de unión	203
Figura S.4 Capacidad de desgarro de un conjunto de hileras de medios de unión	205
Figura T.1 Designaciones geométricas	207
Tablas	
Tabla 1 Humedad de equilibrio para maderas ubicadas en edificios con distintas condiciones de servicio	5
Tabla 2 Criterio para determinar las dimensiones transversales en función de la humedad de la madera en el momento de la construcción y puesta en servicio	7

Contenido

	Página
Tabla 3 Condiciones que se deben considerar en la determinación de tensiones admisibles y módulo de elasticidad	8
Tabla 4 Tensiones admisibles y módulo de elasticidad en flexión para madera aserrada, MPa	9
Tabla 5 Tensiones admisibles para compresión normal, MPa	10
Tabla 6 Relación entre el agrupamiento de especies, el grado estructural y la clase estructural - Madera en estado verde	10
Tabla 7 Relación entre el agrupamiento de especies, el grado estructural y la clase estructural - Madera en estado seco	11
Tabla 8 Variación de las propiedades resistentes para una variación del contenido de humedad igual a 1%	13
Tabla 9 Factor de modificación por humedad para madera de pino radiata en condición verde	13
Tabla 10 Longitud efectiva de volcamiento l_v , de elementos flexionados	19
Tabla 11 Factor de modificación por rebaje inferior, K_r y K_{ri}	27
Tabla 12 Factor de modificación por rebaje superior, K_{rs}	28
Tabla 13 Deformaciones máximas admisibles en vigas de madera	29
Tabla 14 Valores de diseño para el módulo de corrimiento C, en N/mm	36
Tabla 15 Volcamiento - Razones máximas I_y/I_x de una viga compuesta	39
Tabla 16 Longitudes efectivas de pandeo, l_p , de piezas comprimidas	48
Tabla 17 Valores del coeficiente de proporcionalidad, c	50
Tabla 18 Valores del coeficiente de flexibilidad, f	53
Tabla 19 Valores del factor de modificación por concentración de tensiones, K_{ct}	62

Contenido

	Página
Tabla 20 Condición considerada para la determinación de tensiones admisibles, módulo de elasticidad, diseño de uniones y dimensiones de piezas con sección transversal circular	68
Tabla 21 Tensiones admisibles y módulo de elasticidad para piezas estructurales de sección transversal circular, usadas en su forma natural y en estado verde	68
Tabla 22 Factor de modificación por desbastado o alisadura, K_d	69
Tabla 23 Factor de modificación por preservación con tratamiento de presión y vacío, K_{pv}	69
Tabla 24 Factor de modificación por uso en estado seco, K_s	70
Tabla 25 Ubicación de la sección crítica, A_{crit} , en postes de sección transversal circular	72
Tabla 26 Factores de modificación por contenido de humedad de la madera, K_{UH}	80
Tabla 27 Factores de modificación por temperatura, K_{Ut}	81
Tabla 28 Exigencias mínimas de protección anticorrosiva para medios de unión de acero	85
Tabla 29 Mayoración de los diámetros de los agujeros respecto al diámetro del perno, en mm	87
Tabla 30 Dimensiones mínimas de arandelas para uniones apernadas estructurales	87
Tabla 31 Espaciamientos mínimos de pernos y pasadores a los bordes	87
Tabla 32 Espaciamientos mínimos entre pernos y pasadores	88
Tabla 33 Grupos de especies, según su densidad anhidra, a ser considerados en el diseño de uniones con tirafondos	91
Tabla 34 Espaciamientos mínimos de clavos de diámetro, D , en mm	96
Tabla 35 Modelo de fluencia para medios de unión solicitados en extracción lateral	107

Contenido

	Página
Tabla 36 Factores de ajuste, FA	108
Tabla 37 Tensión admisible de aplastamiento nominal en las paredes de los agujeros, R_{ap} , en tableros estructurales de madera	108
Tabla 38 Longitud de penetración de la zona roscada que desarrolla la capacidad admisible de tracción del tirafondo $l_{r, crit}$	113
Tabla 39 Tamaños de conectores de anillo abierto y dimensiones mínimas de arandelas	117
Tabla 40 Dimensiones de ranuras circulares para conectores de anillo	118
Tabla 41 Capacidades admisibles de carga de un conector de anillo en uniones de cizalle simple, en kN	119
Tabla 42 Espaciamientos básicos y mínimos a los bordes de los maderos medidos según la dirección de la fibra	122
Tabla 43 Espaciamientos básicos y mínimos a los bordes de los maderos medidos normal a la dirección de la fibra	122
Tabla 44 Espaciamientos básicos y mínimos entre conectores vecinos, en mm	123
Tabla 45 Factor de modificación por espaciamiento, K_{sc}	123
Tabla 46 Valores de cálculo para módulos de corrimiento C , en N/mm, y corrimientos δ , en mm, para P_{ad} , de medios de unión, en uniones y empalmes	137
Tabla A.1 Agrupamiento de las maderas crecidas en Chile	150
Tabla B.1 Valores de resistencias características de tracción normal a la dirección de la fibra, en MPa	151
Tabla B.2 Clases de densidades - Densidades normales características	152
Tabla D.1 Temperaturas, humedades relativas medias anuales y humedades de equilibrio para diferentes regiones del país	154
Tabla E.1 Densidad anhidra de algunas maderas crecidas en Chile	157
Tabla E.2 Densidad normal de algunas maderas crecidas en Chile	158

Contenido

	Página
Tabla F.1 Coeficientes de contracción, k , de algunas maderas comerciales crecidas en Chile	159
Tabla H.1 Incremento o decremento de los valores de resistencia por cada 1°C de incremento o decremento de temperatura	164
Tabla I.1 Factor de modificación por tratamiento químico, K_Q	165
Tabla P.1 Subdivisión de macro-climas en tipos atmosféricos	193

Madera - Construcciones en madera - Cálculo

Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

La norma NCh1198.Of1991 fue preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, y en su estudio participaron los organismos y personas naturales siguientes:

Colegio de Constructores Civiles
Colegio de Ingenieros
Corporación de la Madera, CORMA
Empresa Nacional de Electricidad S.A., ENDESA
Fundación Chile
IDIEM, Universidad de Chile
Instituto de Ingenieros de Chile
Instituto Forestal, INFOR

Instituto Nacional de Normalización, INN
Instituto Profesional de Santiago, ISP
Ministerio de Obras Públicas, Depto. Puentes
Ministerio de Obras Públicas, Dirección de
Arquitectura
Ministerio de Vivienda y Urbanismo, MINVU

Luis R. Peña Z.
Emilio Moreno H.
Mario Wagner M.
Ralph Sharpe B.
Emilio Moreno H.
David Silva S.
Joaquín Monge E.
Alberto Campos B.
Víctor Carvallo A.
Leonardo Frigerio M.
Fernando Morales V.
Alejandro Pastene S.
Vicente Pérez G.
Fernando Moore U.
Patricio Cordero R.

Boris Sáez G.
Francisco Osorio M.
Jorge Pizarro C.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Div. Técnica
Estudio y Fomento
TRADEMA Ltda.

Daniel Súnico H.
Alfredo Alvarez D.
Iván Bravo V.
Arturo Holmgren G.

Universidad Católica de Chile, DICTUC
Universidad Católica de Chile, Escuela de
Construcción Civil
Universidad de Chile, Depto. de Ingeniería y
Construcción
Universidad de Chile, Escuela de Ingeniería Forestal

Eduardo Madrid Z.

Universidad del Bío-Bío

Mario Wagner M.
Emilio Cuevas I.
José T. Karsulovic C.
Juan Genaro Gotelli
Carlos Ilabaca V.
Jorge Ramírez P.

La norma NCh1198.Of1991 fue revisada y modificada en el año 2006, y en su revisión participaron los organismos y personas naturales siguientes:

Colegio de Ingenieros Forestales
INGEWAG
Instituto Nacional de Normalización, INN

Enrique MC Manus C.
Mario Wagner M.
Enrique Escobar G.
Gustavo Gatica S.
Paula Olivares C.
Francisco Osorio M.
Daniel Súnico H.
Alejandro Bozo G.

Gobierno Regional V Región
Ministerio de Vivienda y Urbanismos, MINVU
Universidad de Chile, Depto. Ingeniería de la Madera

La actualización de la norma NCh1198.Of1991 es el resultado de un Programa de Ensayos realizado por la Corporación Chilena de la Madera, para caracterizar las propiedades mecánicas admisibles de la madera aserrada de Pino radiata según su Grado Estructural definido en NCh1207, antecedentes que permitieron su actualización.

Los Anexos A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T y U forman parte de la norma.

Esta norma anulará y reemplazará, cuando sea declarada Norma Chilena Oficial, a la norma NCh1198.Of1991 *Madera - Construcciones de madera - Cálculo*, declarada Oficial de la República por Decreto N° 69, de fecha 4 de junio de junio de 1991, del Ministerio de Vivienda y Urbanismo, publicado en el Diario Oficial del 20 de junio de 1991.

Esta norma ha sido aprobada por el Consejo del Instituto Nacional de Normalización, en sesión efectuada el 31 de mayo de 2006.

Madera - Construcciones en madera - Cálculo

1 Alcance y campo de aplicación

1.1 Esta norma establece los métodos y procedimientos de diseño estructural que determinan las condiciones mínimas que deben cumplir los elementos y las uniones en las construcciones de madera aserrada, elaborada, laminada-encolada y postes de madera.

1.2 Esta norma no tiene como propósito excluir el uso de materiales, uniones, ensambles, estructuras o diseños que difieran de sus criterios, cuando sea posible una demostración por medio de un análisis basado en teorías comprobadas, ensayos a escala real o de prototipos, estudios de analogía con uso de modelos o experiencia extensa en usos que el material, unión, ensamble, estructura o diseño puede desarrollar satisfactoriamente para la aplicación prevista.

1.3 Esta norma se aplica sobre la estructura de edificaciones corrientes de madera, elementos estructurales de madera en construcciones mixtas, andamiajes, moldajes, entibaciones, pasarelas de uso peatonal, postes de madera, etc.

2 Referencias normativas

Los documentos normativos siguientes contienen disposiciones que, a través de referencias en el texto de la norma, constituyen requisitos de la norma.

NCh13	<i>Dibujos técnicos - Formatos y elementos gráficos de las hojas de dibujo.</i>
NCh15/2	<i>Documentación técnica de productos - Escritura - Parte 2: Alfabeto latino, números y signos.</i>
NCh16	<i>Dibujos técnicos - Dimensionamiento - Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.</i>
NCh173	<i>Madera - Terminología general.</i>
NCh174	<i>Madera - Unidades empleadas, dimensiones nominales, tolerancias y especificaciones.</i>
NCh176/1	<i>Madera - Parte 1: Determinación de humedad.</i>

NCh1198

- NCh176/2 *Madera - Parte 2: Determinación de la densidad.*
(Modif. 1988)
- NCh176/3 *Madera - Parte 3: Determinación de la contracción radial y tangencial.*
NCh300 *Elementos de fijación - Pernos, tuercas, tornillos y accesorios - Terminología y designación general.*
- NCh431 *Construcción - Sobrecargas de nieve.*
NCh432 *Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones.*
NCh433 *Diseño sísmico de edificios.*
NCh630 *Madera - Preservación - Terminología.*
NCh755 *Madera - Preservación - Medición de la penetración y de preservantes en la madera.*
- NCh992 *Madera - Defectos a considerar en la clasificación, terminología y métodos de medición.*
- NCh1193/23 *Dibujos técnicos - Principios generales de representación - Parte 23: Líneas en dibujos de construcción.*
- NCh1193/30 *Dibujos técnicos - Principios generales de representación - Parte 30: Vistas - Convenciones básicas.*
- NCh1193/40 *Dibujos técnicos - Principios generales de representación - Parte 40: Cortes - Convenciones básicas.*
- NCh1207 *Pino radiata - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.*
- NCh1269 *Clavos de acero de sección circular de uso general - Requisitos.*
NCh1439 *Madera - Preservación - Preservantes hidrosolubles - Análisis químico clásico.*
- NCh1537 *Diseño estructural de edificios - Cargas permanentes y sobrecargas de uso.*
NCh1970/1 *Maderas - Parte 1: Especies latifoliadas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.*
- NCh1970/2 *Maderas - Parte 2: Especies coníferas - Clasificación visual para uso estructural - Especificaciones de los grados de calidad.*
- NCh1989 *Maderas - Agrupamiento de especies madereras según su resistencia - Procedimiento.*
(Modif. 1988)
- NCh1990 *Madera - Tensiones admisibles para madera estructural.*
NCh2122 *Maderas - Postes de Pino radiata - Especificaciones y dimensiones.*
(Modif. 2004)
- NCh2148 *Madera laminada encolada estructural - Requisitos e inspección.*
NCh2149 *Madera - Madera aserrada - Determinación del módulo de elasticidad en flexión - Método de ensayo no destructivo.*
- NCh2150 *Madera laminada encolada - Clasificación mecánica y visual de madera aserrada de Pino radiata.*
(Modif. 1991)
- NCh2151 *Madera laminada encolada estructural - Vocabulario.*
NCh2165 *Tensiones admisibles para la madera laminada encolada estructural de Pino radiata.*
- NCh2223 *Dibujos técnicos - Construcción - Zonas para dibujo, texto y cuadro de rotulación en las hojas de dibujo.*
- ISO 5261:1995 *Technical drawings - Simplified representation of bars and profile sections.*
AISC (American Institute of Steel Construction, USA).
AISI (American Institute of Steel, USA).

3 Materiales

3.1 La madera se debe especificar y cumplir con NCh173, NCh174, NCh992, NCh1207, NCh1970/1 y NCh1970/2.

3.2 Las piezas y elementos de unión metálicos deben cumplir con las normas nacionales vigentes.

4 Consideraciones de diseño

4.1 Generalidades

4.1.1 Todas las piezas estructurales, ensambles o estructuras de un edificio deben ser capaces de soportar, con adecuada estabilidad y rigidez, la totalidad de las cargas y otras sollicitaciones que pueden ser razonablemente esperadas durante su montaje, construcción y uso, sin exceder las tensiones de diseño y deformaciones admisibles que se establecen en esta norma.

4.1.2 El calculista responsable de la estabilidad general de la estructura debe verificar aquellos componentes prefabricados de madera (cerchas, diafragmas, etc.), aún cuando éstos hayan sido total o parcialmente diseñados estructuralmente por otro calculista.

4.1.3 Para asegurar un diseño resistente y estable será necesario:

- a) considerar la geometría de la estructura;
- b) estudiar y comprobar toda interacción y unión que se requiera entre los elementos estructurales de madera y entre tales elementos y otras partes de la estructura;
- c) proporcionar elementos de arriostramiento o diafragmas adecuados en los planos paralelos a la dirección de las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura.

Adicionalmente, el calculista debe establecer la necesidad de precauciones especiales o de arriostramientos temporales que aseguren la estabilidad de la estructura o de sus componentes, durante la construcción.

4.1.4 Las propiedades resistentes de la madera y de las uniones quedan afectadas por las condiciones de carga y servicio. Las tensiones admisibles para los materiales derivados de la madera y las cargas admisibles de los elementos de unión establecidas en esta norma son aplicables a condiciones específicas, debiendo ser multiplicadas por los factores de modificación que esta norma establece cuando las condiciones efectivas de carga y servicio resultan diferentes.

4.1.5 Esta norma supone que la calidad de las maderas y de los materiales complementarios de la construcción (controlada por inspección) resulta adecuada para la seguridad, funcionalidad y durabilidad de la obra.

NCh1198

4.1.6 El proceso de diseño se debe considerar como un todo, por lo que requiere contemplar el diseño para la durabilidad y funcionalidad de la construcción.

NOTA - Las finalidades perseguidas por el diseño sólo pueden ser alcanzadas incorporando y haciendo cumplir normas claramente definidas para materiales, producción, calidad de ejecución y mantenimiento.

4.2 Bases de diseño

El diseño realizado de acuerdo a esta norma considera las condiciones siguientes:

- a) Las solicitaciones están de acuerdo con la realidad (práctica) en cuanto a su magnitud, tipo y duración.
- b) La madera y los productos derivados de la madera representan las condiciones promedio de su especie, tipo y clasificación.
- c) Se da la debida importancia a las condiciones de servicio, incluyendo posibles deterioros en los elementos y corrosión en las uniones metálicas.
- d) La temperatura de la madera no excede de 50°C, aceptándose exposiciones ocasionales no superiores a 65°C.

NOTA - En caso de excederse estos límites ver recomendaciones de Anexo H.

- e) El diseño es competente, existe buena fabricación y montaje; la clasificación e inspección son confiables y el mantenimiento normal.
- f) Los productos de madera son usados tal como se clasificaron y fabricaron para su uso final.

4.3 Cargas y combinación de ellas

4.3.1 En la determinación de las solicitaciones de pesos propios y sobrecargas se deben considerar los valores unitarios establecidos en NCh1537.

4.3.2 En la determinación de las solicitaciones debidas a la acción de la nieve se deben adoptar las disposiciones establecidas en NCh431.

4.3.3 En la determinación de las solicitaciones debidas a la acción del viento se deben adoptar las disposiciones establecidas en NCh432.

4.3.4 En la determinación de las solicitaciones debidas a la acción sísmica se deben adoptar las disposiciones establecidas en NCh433.

4.3.5 El diseño debe considerar las combinaciones de cargas que se estimen probables y además, la distribución o concentración más severa de estas cargas. En la selección de las combinaciones y de las magnitudes de las cargas a combinar se debe considerar la probabilidad de simultaneidad de ocurrencia de los distintos componentes de la combinación. Cuando las solicitaciones de viento y de sismo sean factibles, se considerará sólo aquella que induce las mayores tensiones, no requiriéndose el análisis de su efecto simultáneo.

4.3.6 Esta norma especifica tensiones y capacidades de carga admisibles para elementos y uniones de madera sometidos a sollicitaciones con una duración efectiva, continua o acumulada de 10 años.

Dado que la resistencia de la madera y los materiales derivados de ella se ve afectada por el período de aplicación de la carga, por los tratamientos realizados y por las condiciones del medio, tales tensiones y capacidades de cargas admisibles deben ser corregidas por medio de los factores de modificación que esta norma establece.

4.4 Contenido de humedad

4.4.1 La madera y los productos derivados de ella deben tener, en el momento de su utilización, un contenido de humedad igual al correspondiente a la humedad de equilibrio del lugar donde ella prestará servicio.

4.4.2 El contenido de humedad se controlará de acuerdo con los procedimientos establecidos en NCh176/1, aceptándose una tolerancia de $\pm 3\%$ con respecto a los valores recomendados en esta norma.

4.4.3 No obstante, cuando por razones técnicamente justificadas no se puede cumplir con lo establecido en 4.4.1, se deben respetar las restricciones establecidas en 5.1 y Tabla 2. Se excluyen de esta opción:

- a) madera de Pino radiata y álamo;
- b) otras especies que se utilicen en ambientes que determinen una humedad de equilibrio menor que 12%. Para este caso la madera se debe secar a un contenido de humedad máximo de 15%.

4.4.4 Las humedades de equilibrio de maderas expuestas a la intemperie de las diferentes regiones geográficas de Chile se pueden obtener en Anexo D, Tabla D.1.

4.4.5 Las humedades de equilibrio de las condiciones de servicio en las que queda la madera en un edificio se pueden estimar sobre la base de la información de Tabla 1.

Tabla 1 - Humedad de equilibrio para maderas ubicadas en edificios con distintas condiciones de servicio

Ubicación de la madera en el edificio	Humedad de equilibrio promedio para las condiciones de servicio señaladas
A. Recintos cubiertos abiertos	Según 4.4.1 a 4.4.4
B. Recintos cubiertos cerrados sin calefacción o calefaccionados intermitentemente	12%
C. Recintos continuamente calefaccionados	9%

NOTA - Las tolerancias establecidas en Tabla 1, deben ser usadas para aproximarse a la humedad de equilibrio del lugar geográfico en el que se ubica el edificio.

4.5 Documentos de proyecto

4.5.1 Memoria de cálculo

Debe ser clara y fácil de revisar, incluyendo al menos, referencias a:

- a) normas consideradas;
- b) materiales;
- c) análisis y diseño;
- d) dimensiones de elementos estructurales;
- e) solicitaciones que actúan sobre elementos constructivos, uniones y empalmes;
- f) deformaciones admisibles.

4.5.2 Dibujos técnicos (planos)

La memoria de cálculo debe ser complementada por planos estructurales. Estos deben ser ejecutados de acuerdo a las normas pertinentes de representación para los dibujos técnicos (ver cláusula 2).

Los planos deben contener al menos las indicaciones siguientes:

- a) disposición, dimensionamiento y designación de los elementos estructurales;
- b) disposición de uniones, arriostramientos y medios de unión;

NOTA - En caso necesario, las uniones de los elementos estructurales se deben dibujar en diferentes vistas o vistas en corte ampliados, de modo tal que sus medios de unión pueda ser claramente indicados.

- c) contraflechas requeridas;
- d) toda otra información dibujada que se estime pertinente.

4.5.3 Especificaciones

Las especificaciones deben contener todas las indicaciones que son indispensable para la ejecución de la construcción y que no pueda ser deducida claramente de la memoria de cálculo o planos. Esta documentación puede incluir, entre otras especificaciones, disposiciones para el transporte y montaje.

4.5.4 Designaciones

Las abreviaturas y representación de materiales y medios de unión en los dibujos técnicos, se establecen en Anexo O.

5 Tensiones y módulos elásticos para la madera aserrada

5.1 Tensiones de trabajo

5.1.1 En la determinación de las tensiones de trabajo se deben considerar las dimensiones de la sección transversal de la pieza de madera, en función del contenido de humedad que ella tenga, en el momento de la construcción y puesta en servicio, de acuerdo al procedimiento establecido en Tabla 2.

Tabla 2 - Criterio para determinar las dimensiones transversales en función de la humedad de la madera en el momento de la construcción y puesta en servicio

Item	Condición de la humedad, H , de la madera aserrada		Usar las dimensiones nominales establecidas para el contenido de humedad de 20% en NCh174 para especies madereras en general y NCh2824 para Pino radiata		
	Durante la construcción	En servicio	Sin modificaciones	Considerando la contracción ^{*)} correspondiente a	
				$\Delta H = 20\% - H_s$	$\Delta H = 20\% - 12\%$
1	$H_c \geq 20\%$	$H_s \geq 20\%$	x	-	-
2		$20\% > H_s > 12\%$	-	x	-
3		$12\% \geq H_s$	-	-	x
4	$20\% > H_c > 12\%$	Para cualquier H_s	-	-	x
5	$12\% \geq H_c$	Para cualquier H_s	-	-	x

*) En Anexo F se incluyen los coeficientes de contracción de algunas especies comerciales y una fórmula de cálculo para determinar las variaciones dimensionales.

H_c : humedad de construcción.

H_s : humedad de servicio.

5.2 Tensiones admisibles y módulos elásticos para madera aserrada

5.2.1 En la determinación de las tensiones admisibles se debe considerar el contenido de humedad de la madera en el momento de la construcción y puesta en servicio, de acuerdo al procedimiento establecido en Tabla 3 y a los requerimientos especificados en 5.2.2 a 5.2.10.

5.2.2 Las especies forestales utilizadas en la construcción, con la excepción del Pino radiata, se clasifican separadamente en 14 agrupaciones designadas por E y ES correspondientes al estado verde ($H > 30\%$) y estado seco ($H = 12\%$) respectivamente. La clasificación es función de sus propiedades mecánicas medias, o eventualmente, de su densidad normal media, de acuerdo a lo establecido en NCh1989.

NCh1198

Para el Pino radiata se consideran los tres grados visuales establecidos en NCh1207 y los grados mecánicos C16 y C24 que resultan de una clasificación mecánica de las piezas aserradas en equipos certificados de acuerdo con las exigencias implícitas en la aplicación de EN 338.

5.2.3 Las tensiones admisibles de flexión, compresión paralela, tracción paralela, cizalle y el módulo de elasticidad en flexión, se agrupan en 12 clases estructurales que se indican en Tabla 4 a) y para el Pino radiata, en tres grados estructurales visuales y dos grados estructurales mecánicos que se indican en Tabla 4 b).

5.2.4 La tensión admisible para compresión normal de una especie maderera depende de la agrupación forestal a la que ella pertenece, de acuerdo a lo establecido en Tabla 5, con la sola excepción del Pino radiata, que se caracteriza en Tabla 4 b).

Tabla 3 - Condiciones que se deben considerar en la determinación de tensiones admisibles y módulo de elasticidad

Item	Condición de humedad de la madera		Condición considerada para la madera en la determinación de su(s)	
	Durante la construcción	En servicio	Tensiones admisibles	Módulo de elasticidad
1	$H_c \geq 20\%$	$H_s \geq 20\%$	Verde	Verde
2	$H_c \geq 20\%$	$H_s \leq 12\%$	Seca ($H = 12\%$)	Seca ($H = 12\%$)
3	$H_c \leq 12\%$	$H_s \leq 12\%$	Seca ($H = 12\%$)	Seca ($H = 12\%$)
4	$H_c \leq 12\%$	$H_s \geq 20\%$	Verde	Seca ($H = 12\%$)

NOTA - Para valores intermedios considerar 5.2.8.

H_c : humedad de construcción.

H_s : humedad de servicio.

Tabla 4 - Tensiones admisibles y módulo de elasticidad en flexión para madera aserrada, MPa

a) Todas las especies, excepto el Pino radiata

Clase estructural	Tensiones admisibles de				Módulo de elasticidad en flexión E_f
	Flexión F_f	Compresión paralela F_{cp}	Tracción paralela F_{tp}	Cizalle F_{cz}	
F 34	34,5	26,0	20,7	2,45	18 150
F 27	27,5	20,5	16,5	2,05	15 000
F 22	22,0	16,5	13,2	1,70	12 600
F 17	17,0	13,0	10,2	1,45	10 600
F 14	14,0	10,5	8,4	1,25	9 100
F 11	11,0	8,3	6,6	1,05	7 900
F 8	8,6	6,6	5,2	0,86	6 900
F 7	6,9	5,2	4,1	0,72	6 100
F 5	5,5	4,1	3,3	0,62	5 500
F 4	4,3	3,3	2,6	0,52	5 000
F 3	3,4	2,6	2,0	0,43	4 600
F 2	2,8	2,1	1,7	0,36	4 350

b) Pino radiata seco: $H = 12\%$

Grado estructural	Tensiones admisibles de					Módulo de elasticidad en flexión E_f ²⁾	Índice de aplastamiento en compresión normal $E_{cn,h}$ (MPa/mm)
	Flexión ¹⁾ F_f	Compresión paralela F_{cp}	Tracción paralela ¹⁾ F_{tp}	Compresión normal F_{cn}	Cizalle F_{cz}		
a) Visuales							
GS	11,0	8,5	6,0	2,5	1,1	10 500	5,65
G1	7,5	7,5	5,0	2,5	1,1	10 000	
G1 y mejor	9,5	7,8	5,5	2,5	1,1	10 100	
G2	5,4	6,5	4,0	2,5	1,1	8 900	
b) Mecánicos							
C24	9,3	8,0	4,7	2,5	1,1	10 200	5,65
C16	5,2	7,5	3,5	2,5	1,1	7 900	
1) Valores aplicables sobre piezas de altura de sección transversal 90 mm.							
2) Valores aplicables sobre piezas de altura de sección transversal ≥ 180 mm. El módulo de elasticidad característico inherente al percentil del 5%, E_{fk} , se puede estimar como $0,60 E_f$.							

Tabla 5 - Tensiones admisibles para compresión normal, MPa
(Todas las especies, excepto Pino radiata)

Agrupación ¹⁾ para madera en estado		Tensión admisible para compresión normal F_{cn}
Verde ²⁾	Seco ³⁾	
-	ES1	9,0
-	ES2	7,4
-	ES3	6,1
E1	ES4	5,0
E2	ES5	4,1
E3	ES6	3,4
E4	ES7	2,8
E5	-	2,3
E6	-	1,9
E7	-	1,6

1) Agrupamiento especificado en NCh1989 (ver Anexo A).
2) Contenido de humedad de la madera mayor o igual que 30%.
3) Contenido de humedad de la madera igual que 12%.

5.2.5 La asignación de clases estructurales a madera con un contenido de humedad mayor o igual que 20% o a piezas simples de espesor mayor que 100 mm, se realiza mediante la relación entre: la agrupación de la madera para el estado verde (según Anexo A) y el grado estructural especificado, de acuerdo a la interrelación establecida en Tabla 6.

Tabla 6 - Relación entre el agrupamiento de especies, el grado estructural y la clase estructural - Madera en estado verde

Clasificación visual		Agrupamiento de especies						
Grado estructural ^{*)}	Razón de resistencia ^{*)}	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
		Clase estructural						
N°1	0,75	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7
N°2	0,60	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5
N°3	0,48	F17	F14	F11	F8	F7	F5	F4
N°4	0,38	F14	F11	F8	F7	F5	F4	F3

*) Definidos en NCh1207 y NCh1970.

5.2.6 La asignación de clases estructurales a madera con un contenido de humedad menor o igual que 12% y de espesor menor o igual a 100 mm, se realiza mediante la relación entre: la agrupación de la madera para el estado seco (según Anexo A) y el grado estructural especificado, de acuerdo a la interrelación establecida en Tabla 7.

Tabla 7 - Relación entre el agrupamiento de especies, el grado estructural y la clase estructural - Madera en estado seco

Clasificación visual		Agrupamiento de especies						
Grado estructural ^{*)}	Razón de resistencia	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7
		Clase estructural						
Nº1	0,75	-	F34	F27	F22	F17	F14	F11
Nº2	0,60	F34	F27	F22	F17	F14	F11	F8
Nº3	0,48	F27	F22	F17	F14	F11	F8	F7
Nº4	0,38	F22	F17	F14	F11	F8	F7	F5

*) Grados estructurales definidos en NCh1207 y NCh1970.

5.2.7 La asignación de tensiones admisibles y del módulo elástico a piezas de madera aserrada con espesores menores o iguales que 100 mm y que se construye con un contenido de humedad (H_c) comprendido entre 12% y 20%, el que no será excedido en condiciones de servicio, se puede obtener por interpolación lineal entre los valores de tensiones admisibles para madera en estado verde y madera en estado seco que se establecen en 5.2.5 y 5.2.6, o bien usando los factores de modificación consignados en Tablas 8 y 9 de esta norma.

Para valores del contenido de humedad menor que 12%, en los procesos de interpolación se debe considerar la tensión admisible y/o módulo elástico correspondiente al 12% de contenido de humedad.

A las piezas con espesor mayor que 100 mm se les debe suponer siempre un contenido de humedad mayor que 20% en el momento de la construcción, salvo que un estudio específico pruebe otra condición.

5.2.8 La madera que se clasifica, fabrica o instala con un contenido de humedad superior al 20%, pero que en servicio tendrá un contenido de humedad no mayor que 12%, puede ser considerada en Tabla 3, ítem 2 sólo cuando:

- el espesor de la madera no exceda de 50 mm;
- la carga total de diseño no se aplique antes de que la madera se haya secado a un contenido de humedad no mayor que 12%;
- las tensiones debidas a la carga de peso propio, los procedimientos de construcción y cualquier otra sollicitación aplicada antes que la madera se haya secado a un contenido de humedad no mayor que 12%, no deben originar tensiones efectivas superiores a la tensión admisible para la condición verde.

NCh1198

5.2.9 La tensión admisible de compresión inclinada, $F_{c\alpha}$ con respecto a la fibra se calculará aplicando la fórmula de Hankinson:

$$F_{c\alpha} = \frac{F_{cp} \cdot F_{cn}}{F_{cp} \cdot \text{sen}^2 \alpha + F_{cn} \cdot \text{cos}^2 \alpha}$$

en que:

α : ángulo comprendido entre las direcciones de la fuerza y la fibra de la pieza;

F_{cp} : tensión admisible de compresión paralela a las fibras;

F_{cn} : tensión admisible de compresión normal a las fibras.

5.2.10 La estimación de tensiones admisibles y módulos elásticos ante sollicitaciones no consideradas en Tablas 4 y 5, se puede realizar sobre la base de las relaciones establecidas en Anexo B.

6 Factores de modificación

6.1 Factores de modificación de aplicación general

Son aquellos señalados en 6.1.1, 6.1.2 y 6.1.3.

6.1.1 Factor de modificación por contenido de humedad, K_H

La asignación de las tensiones admisibles y del módulo elástico a piezas de madera aserrada con espesores menores o iguales que 100 mm, y que se construye con un contenido de humedad (H_c) comprendido entre 12% y 20%, se puede obtener por interpolación lineal entre los valores de tensión admisible para madera en estado verde (ver Tablas 5 y 6) y madera en estado seco (ver Tablas 5 y 7), aplicando sobre la tensión admisible en condición seca el factor de modificación siguiente:

$$K_H = (1 - \Delta H \cdot \Delta R)$$

en que:

K_H : factor de modificación por humedad, aplicable a las tensiones admisibles y módulo elástico, definidos para una humedad de 12% (ver Tablas 5 y 7);

ΔH : diferencia entre el valor de contenido de humedad de servicio (H_s) y 12%;

ΔR : variación de la resistencia por cada 1% de variación del contenido de humedad (ver Tablas 8 y 9).

Tabla 8 - Variación de las propiedades resistentes para una variación del contenido de humedad igual a 1%

Tensión admisible o módulo elástico	Variación de la resistencia para ΔH - 1%	
	ΔR	
	Especies en general	Pino radiata
Flexión	0,020 5	0,025 0
Compresión paralela	0,020 5	0,048 0
Tracción paralela	0,020 5	0,025 0
Compresión normal	0,026 7	0,033 0
Cizalle	0,016 0	0,015 0
Módulo de elasticidad en flexión	0,014 8	0,017 0
Índice de aplastamiento en compresión normal $E_{cn,h}$	-	0,029 0

Para piezas de madera aserrada de Pino radiata en condición verde ($H \geq 20\%$) se deben modificar las propiedades admisibles y módulos elásticos en condición seca por los factores siguientes:

Tabla 9 - Factor de modificación por humedad para madera de pino radiata en condición verde

Tensión admisible o módulo elástico	K_H
Flexión	0,750
Compresión paralela	0,520
Tracción paralela	0,750
Compresión normal	0,670
Cizalle	0,850
Módulo de elasticidad en flexión	0,830
Índice de aplastamiento en compresión normal $E_{cn,h}$	0,478

6.1.2 Factor de modificación por duración de la carga, K_D

Según sea la duración de la carga que afecta la estructura, se aplicará el factor de modificación siguiente:

$$K_D = \frac{1,747}{t^{0,0464}} + 0,295$$

en que:

t : duración de la carga, en s (ver Anexo G).

En aquellos casos en que se combinen cargas de diferente duración, se utilizará el factor de modificación correspondiente a la carga de menor duración.

NCh1198

El factor de modificación por duración de carga, no afecta al módulo de elasticidad en flexión ni a la tensión admisible de compresión normal a la fibra.

6.1.3 Factor de modificación por trabajo conjunto en flexión, K_C

La tensión admisible de flexión para elementos estructurales que conforman un sistema que comparte la carga, consistente en tres o más elementos paralelos distanciados en no más de 610 mm y dispuestos de tal forma que en conjunto pueden soportar la carga aplicada, puede ser multiplicada por el factor de modificación $K_C = 1,15$.

6.1.4 Factor de modificación por temperatura

Cuando por razones excepcionales, las condiciones de servicio de una estructura de madera determinan temperaturas ambientales marcadamente superiores a las normales, se deberá modificar el valor de las propiedades mecánicas admisibles, pudiendo adoptarse para estos efectos, los factores de corrección establecidos en Anexo H.

6.1.5 Factor de modificación por tratamiento químico

6.1.5.1 Cuando las condiciones ambientales son favorables para el desarrollo de pudrición u otro tipo de deterioro en estructuras permanentes, la madera de tales estructuras debe ser sometida, antes de ser construida, a un proceso de preservación con método y tipos de preservantes especificados en NCh630, NCh631, NCh755, NCh819 y NCh1439.

Todo tipo de perforación, rebaje o corte se debe ejecutar, en lo posible, antes del proceso de preservación. En caso contrario se efectuarán después de éste, sometiendo los cortes a un nuevo proceso de preservación.

6.1.5.2 La madera no preservada de estructuras permanentes no debe estar en contacto directo con hormigón, albañilería o suelo si estos materiales pueden transferir humedad a la madera. Se considera como una protección adecuada cualquier método que logre eliminar tal transferencia de humedad, como por ejemplo: un espacio de aire de 10 mm alrededor del elemento de madera.

6.1.5.3 Cuando la madera debe ser sometida a procesos de ignifugación que incrementen su higroscopicidad, debiliten su integridad física o alteren sus propiedades mecánicas, se deberá modificar el valor de las tensiones admisibles, pudiendo adoptarse para estos efectos, los valores de corrección establecidos en Anexo I.

6.2 Factores de modificación de aplicación particular

Se mencionan conjuntamente con el estudio de la sollicitación respectiva.

7 Dimensionamiento de piezas estructurales de madera aserrada

7.1 Consideraciones generales de diseño

7.1.1 Tensiones y módulos de elasticidad de diseño

Las tensiones de diseño se determinan como el producto de las tensiones admisibles por los factores de modificación que resulten pertinentes y que se definen en las cláusulas correspondientes a cada sollicitación.

El módulo de elasticidad de diseño, $E_{f,dis}$, se determina como el producto del módulo de elasticidad en flexión, E_f , que se incluye en Tabla 4 por los factores de modificación que resulten pertinentes y que se definen en las cláusulas correspondientes a cada sollicitación.

7.1.2 Secciones transversales mínimas

Las piezas estructurales individuales simples deben tener un espesor mínimo de 25 mm y una sección transversal mínima de 1 500 mm², salvo que las especificaciones de los medios de unión exijan dimensiones mínimas superiores.

Los entablados estructurales deben tener un espesor mínimo de 16 mm y una sección transversal mínima de 1 100 mm².

7.1.3 Debilitamientos de sección transversal

7.1.3.1 Las aristas faltantes que respeten los límites establecidos en NCh1207, NCh1970/1 y NCh1970/2, no necesitan ser consideradas como debilitamientos.

7.1.3.2 En la verificación tensional de barras traccionadas y en la zona traccionada de piezas solicitadas en flexión se deben considerar todos los debilitamientos de sección transversal inducidos por perforaciones, rebajes y similares.

7.1.3.3 En la verificación tensional de sectores no afectos a inestabilidad general de barras comprimidas y de la zona comprimida de piezas solicitadas en flexión, se deben considerar únicamente los debilitamientos de sección transversal (perforaciones, rebajes y similares) que no queden completamente rellenos o cuyo material de relleno tenga un módulo de elasticidad menor que el de la pieza debilitada.

7.1.3.4 En el cálculo se deben considerar los efectos de excentricidad en la acción de las fuerzas, inducidos por debilitamientos de la sección transversal.

7.1.4 Uniones excéntricas

Las tensiones que se generan debido a excentricidades en uniones deberán ser especialmente consideradas en el diseño.

La unión de barras de enrejado se debe materializar en la forma más centrada posible. En el caso de uniones clavadas y con placas dentadas las tensiones que se induzcan debido a excentricidades necesitan ser verificadas si la excentricidad e excede la mitad de la altura del cordón ($e > h_c/2$; ver Figura 1).

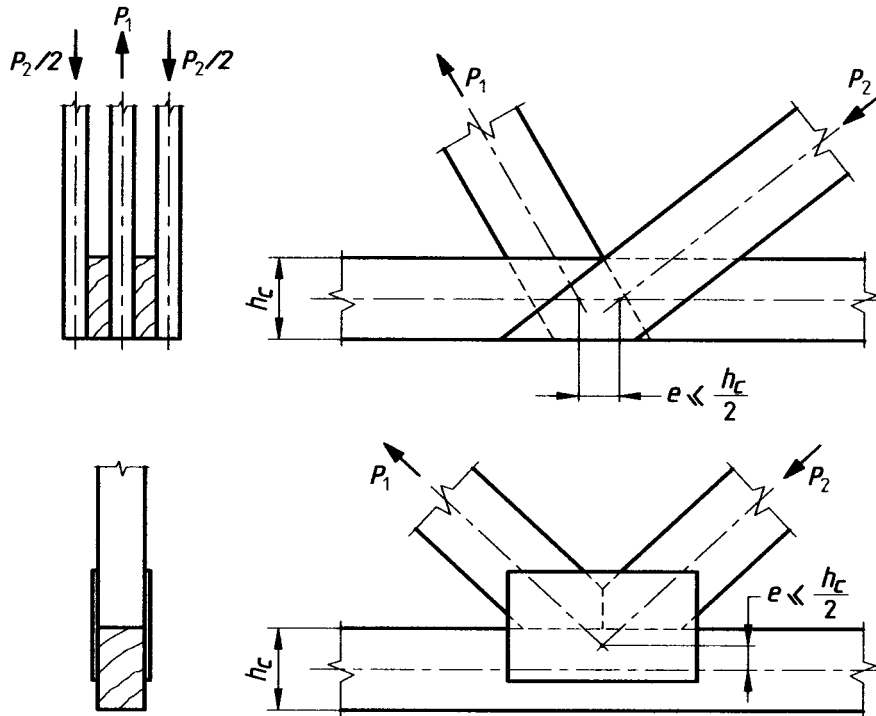


Figura 1 - Control de excentricidades en uniones de barras de cerchas

7.2 Elementos en flexión

7.2.1 Generalidades

7.2.1.1 En el diseño de elementos simples de madera aserrada sometidos a flexión se debe verificar que:

- las tensiones de trabajo no sobrepasen las correspondientes tensiones de diseño en flexión, en cizalle y en compresión normal (ver 7.2.2, 7.2.3 y 7.5);
- la flecha de cálculo no exceda los límites especificados en la presente norma (ver 7.2.5).

7.2.1.2 Los entablados y tablonos de madera aserrada dispuestos en forma de vigas continuas, se deben considerar, en la práctica, como una serie de vigas simplemente apoyadas. En cubiertas de techumbre se puede incorporar en el cálculo el efecto de continuidad, cuando los empalmes queden detallados en los planos.

7.2.1.3 Las reacciones de apoyo de vigas continuas y de costaneras con varios apoyos se pueden determinar analizándolas como vigas simplemente apoyadas, siempre que, la relación entre las luces de tramos vecinos varíe entre $2/3$ y $3/2$. Se excluyen de esta práctica las vigas continuas de dos tramos.

7.2.1.4 Si se desarrolla la verificación para neutralizar la carga concentrada correspondiente al peso de un hombre, establecida en la norma NCh1537 (1 kN), se puede incorporar en el cálculo el ancho colaborante, t , de cubierta de techumbre o de piso, considerando como ancho de aplicación de carga los siguientes valores de t :

- i) en cubiertas de techumbre y pisos constituidos de tablas y tablonos unidos entre sí por machihembrado o semejantes, independientemente del ancho de la pieza individual: ... $t = 350$ mm;
- ii) para tablas o tablonos no interconectados: $t = 160$ mm.

7.2.1.5 Empalmes

En los puntos de empalmes se debe asegurar el traspaso de los esfuerzos internos por medio de cubrejuntas y medios de unión. Las cubrejuntas deben poseer a lo menos las propiedades estáticas de la pieza flexionada, en el punto de empalme. En cordones comprimidos de vigas de alma llena, el momento de inercia requerido debe ser reemplazado por el de las cubrejuntas, pudiendo diseñarse los elementos de unión para la mitad de la fuerza de compresión, siempre que la unión de tope esté ajustada y materializada según un plano normal al eje de cordón.

7.2.1.6 Luz efectiva

La luz efectiva de elementos de un tramo, sometidos a flexión, se debe considerar igual a la distancia entre las caras interiores de los apoyos más la mitad de la longitud mínima de apoyo requerido en cada extremo. En vigas continuas la luz corresponde a la distancia entre centros de apoyo.

7.2.1.7 Distancia entre apoyos laterales, l_a

- i) Si sólo se cuenta con apoyos laterales en los extremos, la distancia entre ellos, l_a , es igual a la luz de la viga o en el caso de voladizos, a la longitud del mismo.
- ii) Si existen costaneras unidas a la viga de tal forma que constituyen apoyos que impidan el desplazamiento lateral de su canto flexo-comprimido, la distancia entre apoyos laterales, l_a , equivale a la máxima distancia existente entre costaneras.

NCh1198

- iii) Si el canto flexo-comprimido de la viga es impedido a desplazarse lateralmente en toda su extensión, la distancia entre apoyos laterales, l_a , se considera nula. Los elementos de la cubierta que originen esta acción deben ser fijados al elemento flexionado y además entre sí, de modo que se conforme un diafragma rígido.

7.2.1.8 Restricciones de volcamiento

La esbeltez de volcamiento, λ_v , no debe exceder el valor de 50, con:

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{l_v \cdot h}{b^2}}$$

en que:

l_v : longitud efectiva de volcamiento, en mm, evaluada según Tabla 10;

h : altura de la viga, en mm;

b : espesor de la viga, en mm.

7.2.1.9 La longitud efectiva de volcamiento, l_v , se debe evaluar de acuerdo a lo establecido en Tabla 10.

Tabla 10 - Longitud efectiva de volcamiento, l_v , de elementos flexionados

Vigas simplemente apoyadas	Si $l_a/h < 7$	Si $l_a/h \geq 7$
Carga uniformemente distribuida	$2,06 l_a$	$1,63 l_a + 3 h$
Carga concentrada en el centro sin apoyo lateral intermedio	$1,80 l_a$	$1,37 l_a + 3 h$
Carga concentrada en el centro, con apoyo lateral en el centro	$1,11 l_a$	
Dos cargas concentradas de igual magnitud aplicadas en L/3 c/u, con apoyo lateral en L/3	$1,68 l_a$	
Tres cargas concentradas de igual magnitud aplicadas en L/4 c/u, con apoyo lateral en L/4	$1,54 l_a$	
Cuatro cargas concentradas de igual magnitud aplicadas en L/5 c/u, con apoyo lateral en L/5	$1,68 l_a$	
Cinco cargas concentradas de igual magnitud aplicadas en L/5 c/u, con apoyo lateral en L/5	$1,73 l_a$	
Seis cargas concentradas de igual magnitud aplicada en L/7 c/u, con apoyo lateral en L/7	$1,78 l_a$	
Siete o más cargas concentradas de igual magnitud espaciadas uniformemente, con apoyo lateral en los puntos de aplicación de carga	$1,84 l_a$	
Momentos iguales y de distinto signo en los extremos	$1,84 l_a$	
Vigas en voladizo	Si $l_a/h < 7$	Si $l_a/h \geq 7$
Carga uniformemente distribuida	$1,33 l_a$	$0,90 l_a + 3 h$
Carga concentrada en extremo libre	$1,87 l_a$	$1,44 l_a + 3 h$

NOTA - l_a : Distancia entre apoyos laterales de las zonas flexo-comprimidas de la viga.

Para vigas simplemente apoyadas o en voladizo con condiciones de carga no especificadas en la tabla.

$$l_v = 2,06 l_a \quad \text{cuando } l_a/h < 7$$

$$l_v = 1,63 l_a + 3 h \quad \text{cuando } 7 \leq l_a/h \leq 14,3$$

$$l_v = 1,84 l_a \quad \text{cuando } l_a/h > 14,3$$

En vigas continuas sobre dos o más tramos aplicar criterios de análisis estructural.

7.2.2 Flexión uniaxial en vigas simples

7.2.2.1 La tensión de trabajo de flexión en la fibra extrema de viga una simple de madera se debe determinar de acuerdo con la expresión:

$$f_f = \frac{M_{m\acute{a}x.}}{W_n} \text{ (MPa)}$$

en que:

f_f : tensión de trabajo de flexión en la fibra extrema, en MPa;

$M_{m\acute{a}x.}$: momento máximo de flexión, en N · mm;

W_n : módulo de flexión de la sección transversal neta, determinado con respecto a un eje normal al plano de flexión (eje neutro), en mm³.

7.2.2.2 La tensión de diseño en flexión se determina:

a) En la zona flexo-traccionada de piezas flexionadas, según la expresión:

$$F_{ft,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_C \cdot K_{hf} \text{ (MPa)}$$

en que:

$F_{ft,dis}$: tensión de diseño en flexión en el borde traccionado, en MPa;

F_f : tensión admisible en flexión, determinada según 5.2;

K_H : factor de modificación por contenido de humedad, determinado según 6.1.1;

K_D : factor de modificación por duración de la carga, determinado según 6.1.2;

K_C : factor de modificación por trabajo conjunto, determinado según 6.1.3;

K_{hf} : factor de modificación por altura, determinado según 7.2.2.3.

b) En la zona flexo-comprimida de piezas flexionadas, según la expresión:

$$F_{fv,dis} = F_f \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_C \cdot K_{\lambda V} \text{ (MPa)}$$

en que:

$F_{fv,dis}$: tensión de diseño en flexión considerando efectos de inestabilidad por volcamiento, en MPa;

K_H : factor de modificación por contenido de humedad, determinado según 6.1.1;

K_D : factor de modificación por duración de la carga, determinado según 6.1.2;

K_C : factor de modificación por trabajo conjunto, determinado según 6.1.3;

$K_{\lambda V}$: factor de modificación por volcamiento, calculado según 7.2.2.4;

F_f : tensión admisible en flexión, determinada según 5.2, en MPa.

7.2.2.3 Factor de modificación por altura, K_{hf}

Para todas las especies forestales, con la sola excepción del Pino radiata, en piezas traccionadas o vigas rectangulares de ancho o altura mayor que 50 mm, este factor se evalúa de acuerdo con la expresión:

$$K_{hf} = \left(\frac{50}{h} \right)^{1/9}$$

en que:

K_{hf} : factor de modificación por altura;

h : ancho de la pieza traccionada o altura de la viga, en mm.

Para piezas de Pino radiata de altura mayor que 90 mm, la expresión que se debe considerar es:

$$K_{hf} = \left(\frac{90}{h} \right)^{1/5} \leq 1$$

7.2.2.4 Factor de modificación por volcamiento, $K_{\lambda v}$

Todos los elementos estructurales sometidos a flexión deben estar apoyados lateralmente en sus extremos con el propósito de impedir desplazamientos laterales y rotaciones en torno al eje axial.

- a) Para elementos estructurales solicitados en flexión que no tienen apoyos laterales a lo largo de su luz, se acepta un factor de modificación por volcamiento, $K_{\lambda v}$, igual a la unidad, si la razón formada por la altura, h , de la viga y su ancho, b , no excede el valor 2.
- b) Para las situaciones no contempladas en el punto a) ($h/b > 2$) el factor de modificación por volcamiento, $K_{\lambda v}$, se calcula en función de la esbeltez de volcamiento, λ_v , de acuerdo con la expresión siguiente:

$$K_{\lambda v} = \frac{1 + (F_{f,E} / F_{f,dis}^*)}{1,9} - \sqrt{\left[\frac{1 + (F_{f,E} / F_{f,dis}^*)}{1,9} \right]^2 - \frac{F_{f,E} / F_{f,dis}^*}{0,95}}$$

con:

$F_{f,dis}^*$: tensión admisible de flexión, ponderada por todos los factores de modificación aplicables, excepto K_{hf} y $K_{\lambda v}$;

$$F_{f,E} = \frac{C_{fE} * E_{dis}}{\lambda_v^2};$$

$$C_{fE} = 0,745 - 1,225 (CV_E);$$

: 0,439 para madera aserrada clasificada visualmente;

: 0,561 para madera aserrada clasificada mecánicamente;

: 0,610 para productos con $CV_E \leq 0,11$;

CV_E : coeficiente de variación del módulo de elasticidad.

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{l_v * h}{b^2}}$$

- c) Las piezas sometidas a flexión con respecto a ambos ejes principales (flexión desviada) se deben diseñar de acuerdo con lo establecido en 7.6.2.

7.2.2.5 Control del volcamiento en piezas flexionadas de madera aserrada

7.2.2.5.1 Las piezas flexionadas de madera aserrada se deben diseñar de acuerdo con las especificaciones relativas al control de la estabilidad lateral de 7.2.2.4 o deberán satisfacer las exigencias de apoyo lateral indicadas en 7.2.2.5.2 y 7.2.2.5.3.

7.2.2.5.2 Como una alternativa a 7.2.2.5.1 las vigas, costaneras, tijerales u otro tipo de piezas flexionadas de madera aserrada de sección transversal rectangular se deben diseñar incorporando las siguientes disposiciones constructivas que materializan un impedimento a los giros y desplazamientos laterales.

Si la razón entre el ancho y el espesor, h/b , basada en dimensiones nominales, es:

- i) $h/b \leq 2$; no se requiere de apoyo lateral.
- ii) $2 < h/b \leq 4$; se debe impedir el giro o desplazamiento de los extremos mediante la disposición de cadenetas de madera aserrada de la misma altura de la pieza, crucetas, herrajes de asiento, fijación por medio de clavado o apernado a otros elementos estructurales o cualquier otra solución constructiva aceptable.
- iii) $4 < h/b \leq 5$; el canto comprimido de la pieza se debe mantener alineado en toda su longitud para impedir su desplazamiento lateral por medio de una cubierta superior o una base de piso, y en los puntos de apoyo vertical sus extremos se deben fijar de manera de impedir su giro o desplazamiento lateral.
- iv) $5 < h/b \leq 6$; se debe disponer crucetas, cadenetas de madera aserrada de la misma altura de la pieza a intervalos no mayores que 2,40 m y el canto comprimido de la pieza se debe mantener alineado en toda su longitud para impedir su desplazamiento lateral por medio de una cubierta superior o una base de piso, y en los puntos de apoyo vertical sus extremos se deben fijar de manera de impedir su giro o desplazamiento lateral.
- v) $6 < h/b \leq 7$; ambos cantos de la pieza se deben mantener alineados en toda su longitud y en los puntos de apoyo vertical sus extremos se deben fijar de manera de impedir su giro o desplazamiento lateral.

7.2.2.5.3 Si una pieza flexionada queda adicionalmente solicitada a compresión axial, la razón entre el ancho y el espesor, h/b , no debe exceder el límite 5:1 si uno de sus cantos se encuentra firmemente alineado. Si como consecuencia de todas las combinaciones de carga el canto libre de la pieza queda flexo-traccionada, la razón h/b no debe exceder el límite 6:1.

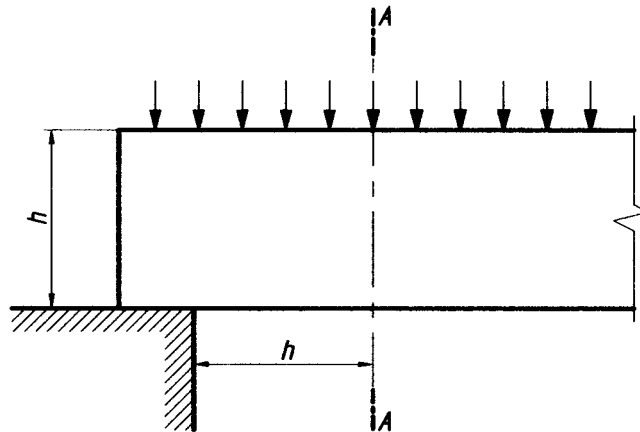
7.2.3 Cizalle en vigas simples

7.2.3.1 Resistencia de cizalle transversal a la fibra

Dado que la falla en piezas flexionadas de madera se alcanzará siempre por cizalle longitudinal (horizontal) y nunca por cizalle vertical, no es necesario calcular o verificar la resistencia de cizalle transversal (vertical).

7.2.3.2 Determinación del esfuerzo de corte

- En vigas soportadas por medio de un apoyo completo sobre un canto y con cargas aplicadas sobre el canto opuesto se pueden despreciar todas las cargas uniformemente distribuidas ubicadas a una distancia no mayor que la altura, h , del borde de apoyo de la pieza flexionada (ver Figura 2). En el caso de cargas concentradas dispuestas a no más de " h " del apoyo, su valor se puede multiplicar por x/h , donde x es la distancia medida desde el apoyo.
- En el caso de una única carga móvil o de una carga móvil considerablemente mayor a las restantes, ésta se debe ubicar a una distancia medida desde cada apoyo igual a la altura de la pieza flexionada, manteniendo las restantes en sus posiciones habituales. Cuando existan dos o más cargas móviles, similares en magnitud y próximas en ubicación, dichas fuerzas se deben ubicar en la posición que produzca el máximo esfuerzo de corte, Q , despreciando el efecto de cualquier carga ubicada a una distancia de los apoyos no superior a la altura de la pieza.



NOTA - Las cargas ubicadas a la izquierda de **A-A** pueden ser omitidas.

Figura 2 - Determinación del esfuerzo de corte

7.2.3.3 La tensión de trabajo máxima de cizalle longitudinal en elementos flexionados de madera aserrada, se calcula mediante la fórmula:

$$f_{cz} = \frac{1,5 \cdot Q}{b \cdot h} \cdot 10^{-3} \text{ (MPa)}$$

en que:

f_{cz} : tensión de trabajo de cizalle longitudinal, en MPa;

Q : esfuerzo de corte máximo, en kN;

b : dimensión nominal de la sección transversal, en mm, normal a la dirección de la carga aplicada;

h : dimensión nominal de la sección transversal, paralela a la dirección de la carga aplicada, en mm.

7.2.3.4 La tensión de diseño de cizalle longitudinal se determina de la expresión:

$$F_{cz,dis} = F_{cz} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_r \text{ (MPa)}$$

en que:

$F_{cz,dis}$: tensión de diseño de cizalle longitudinal, en MPa;

F_{cz} : tensión admisible de cizalle longitudinal, determinada según 5.2, en MPa;

K_H : factor de modificación por contenido de humedad, determinado según 6.1.1;

K_D : factor de modificación por duración de la carga, determinado según 6.1.2;

K_r : factor de modificación por rebaje (inferior o superior), calculado según 7.2.3.5.

7.2.3.5 Rebajes en los apoyos

En extremos de vigas con su canto inferior rebajado en forma recta o inclinada, según Figura 3, o con su canto superior rebajado en forma recta o inclinada, según Figura 4, se debe controlar que:

$$\frac{f_{cz}}{F_{cz,dis}} \leq 1$$

en que:

$$f_{cz} : \frac{1,5 \cdot Q}{b \cdot h_r} \cdot 10^{-3} \text{ (MPa)}$$

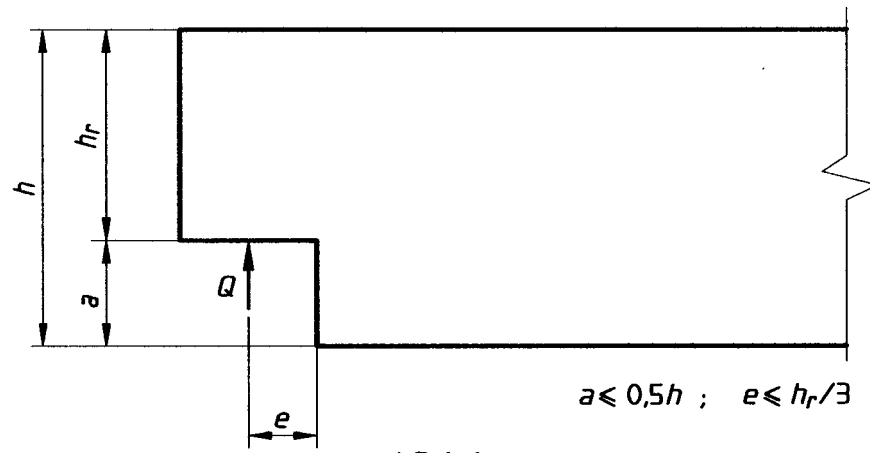
Q : esfuerzo de corte, en kN;

$F_{cz,dis}$: determinado según 7.2.3.4, con:

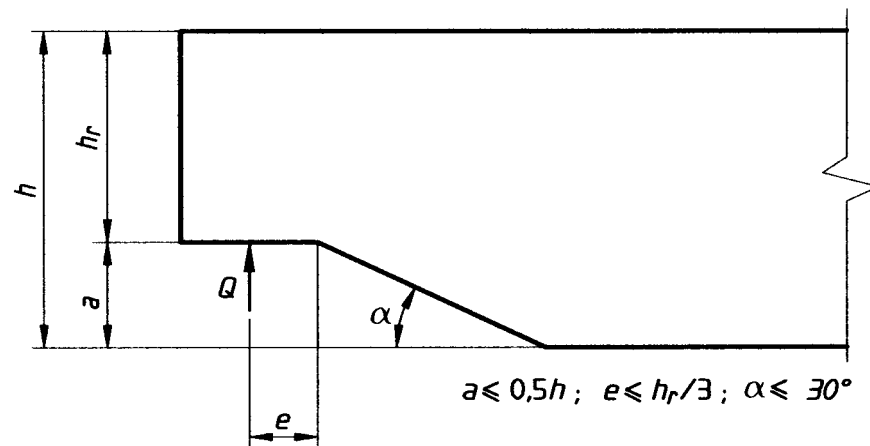
K_r y K_{ri} : factores de reducción por rebaje inferior, debido a la acción simultánea de tensiones de cizalle y tracción normal a la fibra (ver Tabla 11);

K_{rs} : factor de modificación por rebaje superior, debido a la acción simultánea de tensiones de cizalle y tracción normal a la fibra (ver Tabla 12).

Se aceptan rebajes distintos de los extremos si se disponen en los tercios extremos de la luz de vigas simplemente apoyadas, cuya profundidad no debe exceder 1/6 de la altura de la pieza. En piezas de ancho mayor que 90 mm no se acepta rebajes del borde traccionado. La longitud de los rebajes no debe exceder 1/3 de la altura de la pieza.



a) Rebaje recto

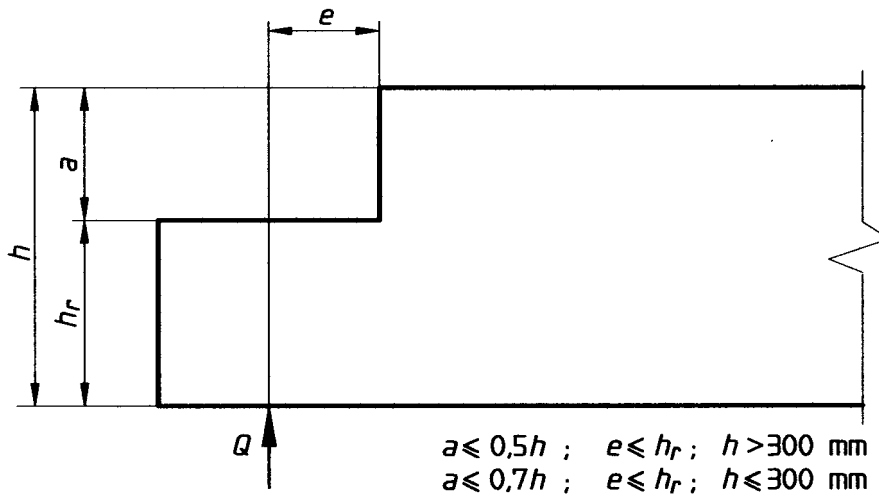


b) Rebaje inclinado

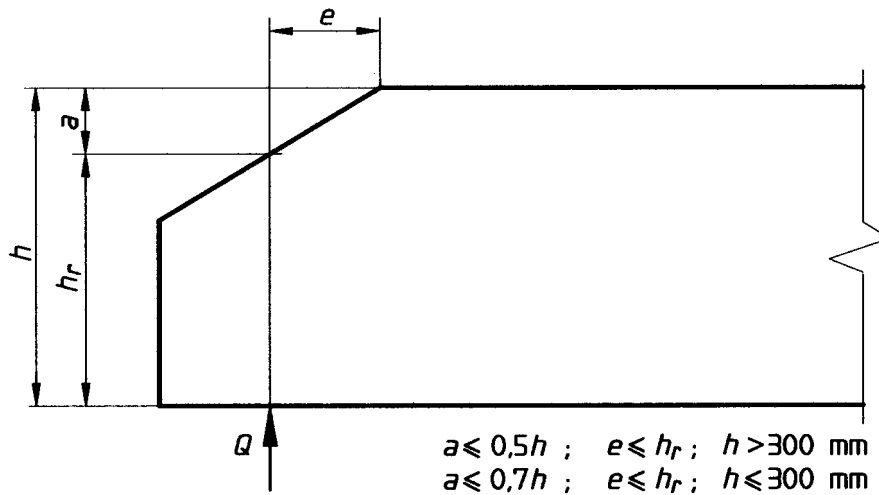
Figura 3 - Vigas con rebaje inferior

Tabla 11 - Factor de modificación por rebaje inferior, K_r y K_{ri}

Tipo de rebaje inferior	Valor del factor de modificación por rebaje inferior	Condición
Recto	$K_r = \left(\frac{h_r}{h}\right)^2$	$a \leq 0,5 h$
Inclinado	$K_{ri} = h_r / h$	



a) Rebaje recto



b) Rebaje inclinado

Figura 4 - Vigas con rebajes superiores

Tabla 12 - Factor de modificación por rebaje superior, K_{rs}

Para el caso	Factor de modificación por rebaje superior	Condición
$e \leq h_r$	$K_{rs} = \left(1 - \frac{a}{h} \cdot \frac{e}{h_r} \right)$	$a \leq 0,5 h$
$e > h_r$	$K_{rs} = \frac{h_r}{h}$	

7.2.4 Deformación en vigas simples (flecha)

7.2.4.1 En vigas simples que resisten cargas individualmente, la verificación de deformaciones se debe llevar a cabo considerando el módulo de elasticidad característico, E_{fk} .

7.2.4.2 En vigas simples de Pino radiata el módulo de elasticidad se debe corregir por altura, aplicando el factor de modificación:

$$K_{hf} = \left(\frac{h}{180} \right)^{1/4} \leq 1$$

en que:

h : altura de la sección transversal, en mm.

7.2.4.3 La deformación máxima admisible de un elemento sometido a flexión se debe fijar, en general, de acuerdo al tipo de estructura, teniendo en cuenta la posibilidad de daño de los materiales de recubrimiento (tabiques, cielos, terminaciones, etc.) y las exigencias estéticas y funcionales. En ausencia de requisitos especiales para la deformación máxima admisible, se pueden adoptar los valores indicados en Tabla 13.

Tabla 13 - Deformaciones máximas admisibles en vigas de madera

Tipo de vigas	Deformaciones máximas admisibles considerando	
	Exclusivamente sobrecarga	Peso propio más sobrecarga
1. Vigas de techo:		
1.1 Construcciones industriales y agrícolas	-	L/200 o L/400 ^{*)}
1.2 Oficinas y construcciones habitacionales		
1.2.1 Con cielos enyesados o similares	L/360	L/300
1.2.1 sin cielos enyesados o similares	-	L/300
2. Vigas de piso		
2.1 Construcciones en general	L/360	L/300
2.2 Pasarelas peatonales	-	L/400 o L/1 200 ^{*)}
L = Luz efectiva de la viga.		
*) La restricción mayor rige para sistemas enrejados, cuando se aplique el cálculo de flecha aproximado (ver 7.2.4.6).		

7.2.4.4 Cuando las exigencias de funcionalidad de una construcción o elemento constructivo lo requieran se podrán exigir valores admisibles más restrictivos que los indicados en Tabla 13.

NCh1198

7.2.4.5 El control de la deformación admisible de sistemas arriostrantes se especifica en 7.2.8.6.

7.2.4.6 En la determinación de deformaciones de vigas enrejadas se debe distinguir entre un cálculo aproximado, que sólo considera la deformación elástica de los cordones, y un cálculo exacto, en el que se considera la deformación elástica de la totalidad de las barras y la flexibilidad de las uniones y empalmes. Esto rige también para vigas de alma llena con entablado unidireccional. En techos planos con una relación luz: altura $L/h > 10$ se debe aplicar usualmente el cálculo exacto.

7.2.4.7 Contraflechas

7.2.4.7.1 En vigas de sección transversal compuesta, según 7.2.5, vigas enrejadas según 7.2.7 y vigas de madera laminada según cláusula 10 se debe peraltar el sistema completo aplicando una contraflecha de desarrollo parabólico. El peralte debe corresponder al menos a la deformación matemática debida a la carga total, bajo consideración de la deformación de creep. En estructuras con medios de unión flexibles se deberá considerar el efecto de la flexibilidad.

7.2.4.7.2 Cuando se prescindiera del cálculo de la contraflecha, ésta se deberá materializar con una magnitud de al menos $L/300$ y $L/200$ para el caso de madera seca ($H < 20\%$) y madera semiseca o verde, respectivamente. En volados la contraflecha aplicada debe ascender al menos a $L/150$.

7.2.4.8 En columnas y travesaños de paredes exteriores de construcciones cerradas, las deformaciones calculadas para la sollicitación horizontal, como por ejemplo la inducida por el viento, no deben sobrepasar el límite $1/200$ de la distancia entre apoyos.

7.2.4.9 La deformación matemática de cubiertas de techo y de cubiertas de piso solicitadas directamente, como también la de tablas de cubierta de techo, no debe superar el límite $L/200$, con un máximo de 10 mm. Bajo el efecto del peso propio y de una carga puntual de 1kN (una persona) debe ascender a lo más a $L/100$ con un máximo de 20 mm. En estos cálculos se puede obviar la componente de deformación por corte.

7.2.4.10 Con el propósito de limitar problemas de vibraciones en sistemas de piso, se debe controlar que la deformación debida a las sobrecargas de servicio no exceda $L/360$ en vigas de hasta 4,50 m de largo, y $L/480$ para luces de hasta 9,00 m.

7.2.4.11 Deformaciones de flujo plástico en el tiempo (creep)

En piezas solicitadas en flexión y cuando las sollicitaciones de naturaleza permanente g , excedan el 50% de la sollicitación total q , la verificación de flecha debe incorporar la componente de deformación por creep (ver Anexo C), la que se puede suponer proporcional a la deformación elástica.

La expresión de la deformación total de una pieza flexionada, δ_{tot} , se calcula de acuerdo con la expresión:

$$\delta_{tot} = \delta_e \left(1 + \rho \cdot \frac{g}{q} \right) (\text{mm})$$

en que:

δ_e : deformación elástica instantánea determinada por la totalidad de las cargas que solicitan la pieza, en mm;

ρ : factor de creep.

El factor de creep, ρ , se calcula según la expresión:

$$\rho = \frac{1}{k_\delta} - 1$$

g : componente de carga de naturaleza permanente;

q : carga total de diseño.

Para madera con un contenido de humedad inferior a 15% se debe considerar:

$$k_\delta = \frac{3}{2} - \frac{g}{q}$$

Si el contenido de humedad es mayor o igual que 15%.

$$k_\delta = \frac{5}{3} - \frac{4}{3} \cdot \frac{g}{q}$$

7.2.4.12 En vigas simplemente apoyadas cuya relación L/h resulte menor que 20 ($L/h < 20$) es recomendable incorporar, para verificar la flecha, la componente de deformación por corte, δ_Q , que en forma aproximada se puede estimar de la expresión siguiente:

$$\delta_Q = \frac{1,2 M}{G A} \cdot 10^{-6} (\text{mm})$$

en que:

M : momento flector máximo, en kN · m;

G : módulo de corte, en MPa;

A : sección transversal de la viga, en mm².

NCh1198

Cuando resulte pertinente la consideración de la componente de deformación por creep (ver 7.2.4.11), la componente de deformación por corte total, $\delta_{Q,tot}$, se puede calcular de acuerdo con la expresión:

$$\delta_{Q,tot} = \delta_Q(1 + 2\rho \cdot g/q) \text{ (mm)}$$

en que el factor de creep se evalúa de acuerdo a lo establecido en 7.2.4.11.

7.2.5 Flexión uniaxial en vigas compuestas

7.2.5.1 En la verificación tensional de piezas flexionadas de sección transversal compuestas constituidas por elementos conectados entre sí en forma flexible (clavos, pernos, conectores, etc.) se debe considerar, cuando resulte procedente, la flexibilidad de los medios de unión.

7.2.5.2 Para piezas de sección transversal compuesta con simetría simple del Tipo 5 (ver Tabla 14 y Figura 5), las tensiones se deben evaluar de acuerdo con lo siguiente:

$$f_{f,i} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \cdot \left(\gamma_i \cdot a_i \cdot \frac{A_i}{A_{in}} + \frac{h_i}{2} \cdot \frac{I_i}{I_{in}} \right) \cdot n_i \cdot 10^6$$

$$f_{g,i} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \cdot \gamma_i \cdot a_i \cdot \frac{A_i}{A_{in}} \cdot n_i \cdot 10^6$$

(con $i = 1, 2$ y 3)

en que:

M : momento flector, considerado de signo positivo cuando induce solicitaciones de compresión en las fibras extremas del ala superior y de tracción en las fibras extremas del ala inferior, en $\text{kN} \cdot \text{m}$;

$f_{f,i}$: tensión de trabajo en flexión, en el borde de las piezas individuales (alas o alma), considerándose el signo de acuerdo con lo esquematizado en Figura 5, en MPa ;

$f_{g,i}$: tensión de trabajo en el centroide de las piezas individuales (alas o alma), considerándose el signo según lo indicado en Figura 5, en MPa ;

a_i : distancia entre los ejes de gravedad principales de las secciones transversales no debilitadas y el eje neutro de flexión condicionante del diseño, Y-Y, en mm. La aplicación de las expresiones anteriores exige que:

$$0 \leq a_2 \leq 0,5 \cdot h_2;$$

h_i : espesores o alturas de las secciones transversales individuales, en mm;

γ_i : factores de reducción para el cálculo de I_{ef} , según 7.2.5.5;

I_i, I_{in} : momento de inercia de la sección transversal individual no debilitada y debilitada, respectivamente ($I_i = b_i \cdot h_i^3 / 12$), en mm⁴;

I_{ef} : momento de inercia eficaz de la sección transversal no debilitada, calculado según 7.2.5.5, en mm⁴;

A_i, A_{in} : sección transversal no debilitada y debilitada de las piezas individuales, ($A_i = b_i \cdot h_i$), en mm²;

b_i : espesores de las secciones transversales individuales, en mm;

E_i : módulo de elasticidad de las piezas individuales componentes de la sección transversal compuesta, en MPa;

E_r : módulo de elasticidad referencial, elegido arbitrariamente, en MPa;

n_i : E_i / E_r

Si no se desea realizar un cálculo exacto, los momentos de inercia de las secciones transversales individuales debilitadas, I_{in} , se pueden referir a los ejes principales de los componentes de sección transversal no debilitadas. La sección transversal debilitada corresponde a la sección transversal neta resultante de deducir la superficie de perforaciones, rebajes y vaciados requeridos para la colocación de los medios de unión. En vigas clavadas el cociente entre las propiedades estáticas de la sección transversal bruta y de la sección transversal debilitada se puede considerar igual a la unidad, siempre que el clavado no se realice con perforación guía.

7.2.5.3 Las tensiones de trabajo en el borde, $f_{f,i}$ no deben exceder la tensión de diseño en flexión $F_{f,dis}$, calculada según 7.2.2.2.

7.2.5.4 Las tensiones de trabajo centroidales, $f_{g,i}$ no deben exceder la tensión de diseño en tracción o compresión paralela según sea la naturaleza de la sollicitación a la cual está sometida la pieza i .

NCh1198

7.2.5.5 El momento de inercia eficaz, I_{ef} , de la sección transversal bruta, se determina con la expresión:

$$I_{ef} = \sum_{i=1}^3 (n_i I_i + \gamma_i \cdot n_i A_i \cdot a_i^2) \text{ (mm}^4\text{)}$$

con:

$$\text{a) } \gamma_i = \frac{1}{1 + k_i}; \quad k_i = \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s'_i}{L^2 \cdot C_i}$$

para $i = 1$ y 3

$$\text{b) } \gamma_2 = 1$$

$$\text{c) } a_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\gamma_1 \cdot n_1 \cdot A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot n_3 \cdot A_3 (h_2 + h_3)}{\sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot n_i \cdot A_i} \text{ (mm)}$$

en que:

L : distancia entre apoyos (luz que condiciona el diseño), en mm;

s'_1, s'_3 : espaciamiento promedio de los elementos de unión utilizados para conectar las alas al alma, al suponerse dispuestos unilinealmente (ver Figura 6), en mm;

C_1, C_3 : módulos de corrimiento de los elementos de unión utilizados para conectar las alas al alma determinado según Tabla 14, en N/mm.

NOTAS

- 1) En los cálculos de k_i no se deben considerar reducciones por concepto de humedad sobre el módulo de elasticidad, E_f , y el módulo de corrimiento, C .
- 2) Para tornillos se pueden adoptar los valores del módulo de corrimiento asignados a clavos, según Tabla 14.
- 3) Para vigas continuas y cuando se desee prescindir de un cálculo exacto se puede determinar k , considerando una luz efectiva equivalente a 4/5 de la luz real. En la verificación de tensiones sobre apoyos intermedios se debe considerar siempre la menor de las luces correspondientes a los tramos concurrentes.

En vigas en voladizos se debe calcular con una luz igual al doble de la longitud del voladizo.

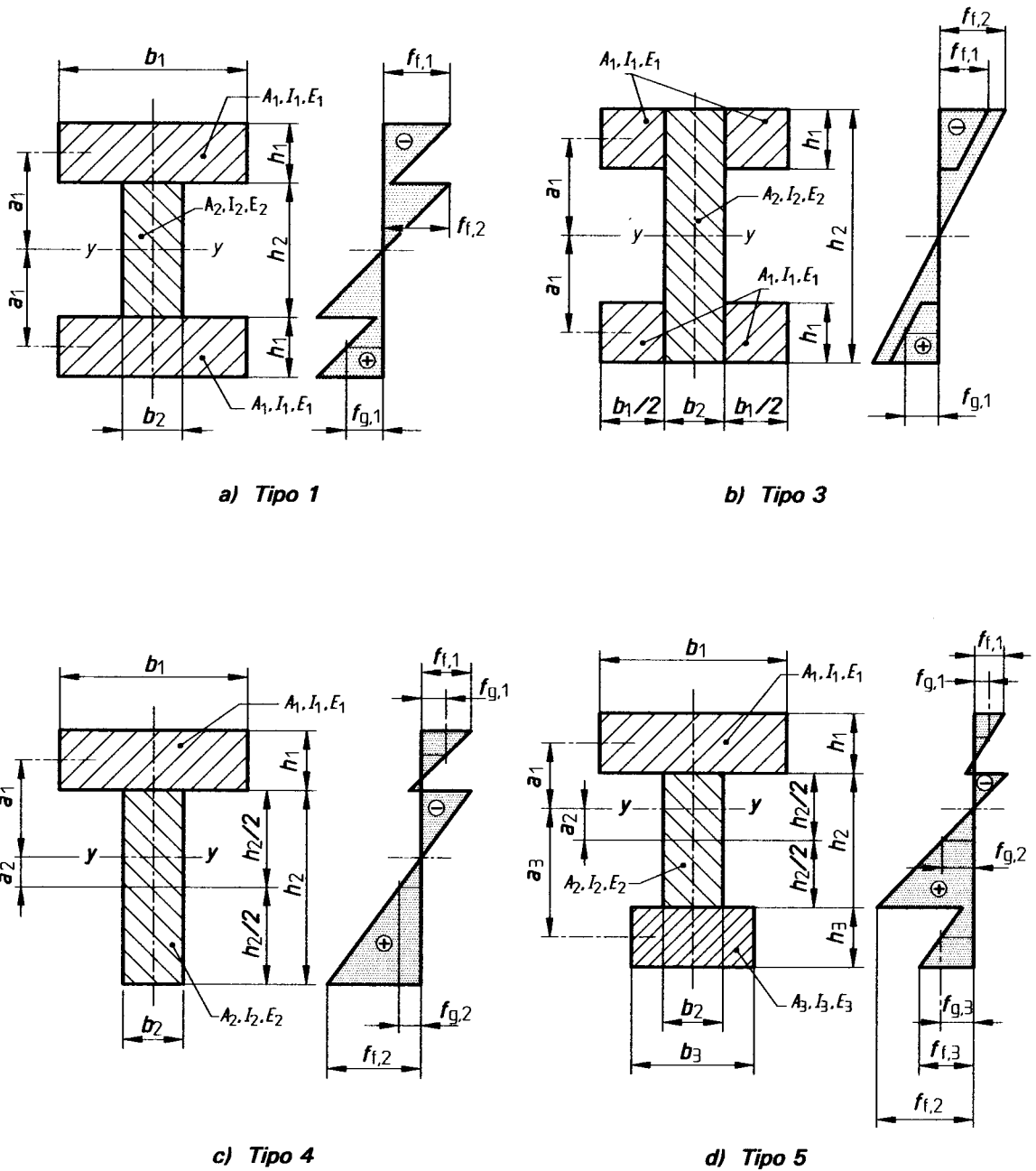
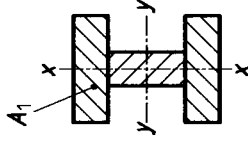
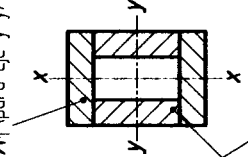
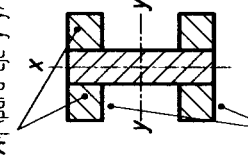
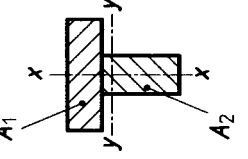
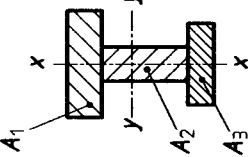


Figura 5 - Geometría y distribución de tensiones en las vigas compuestas

Tabla 14 - Valores de diseño para el módulo de corrimiento C, en N/mm

Eje(s) regulador(es) de la flexión o el pandeo respectivamente	Elemento de fijación	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4	Tipo 5
						
Y - Y	Clavos (a cizalle simple)	600	600	900	600	600
	Clavos (a cizalle doble)	700	700	900 por plano de cizalle	-	700
X - X	Clavos (a cizalle simple)	-	900	600	-	-
	Clavos (a cizalle doble)	-	900 por plano de cizalle	700	-	-
Y - Y X - X	Conectores de anillo	15 000 (para $Padm^*) \leq 16 \text{ kN}$ 22 500 (para $16 \text{ kN} < Padm^* \leq 30 \text{ kN}$) 30 000 (para $Padm^* > 30 \text{ kN}$)				
Y - Y X - X	Barras de acero	0,7 $Padm^{**}$				

$Padm^*$: Capacidad admisible de carga del conector de anillo, en N.

$Padm^{**}$: Capacidad admisible de carga de una superficie de cizalle, en N.

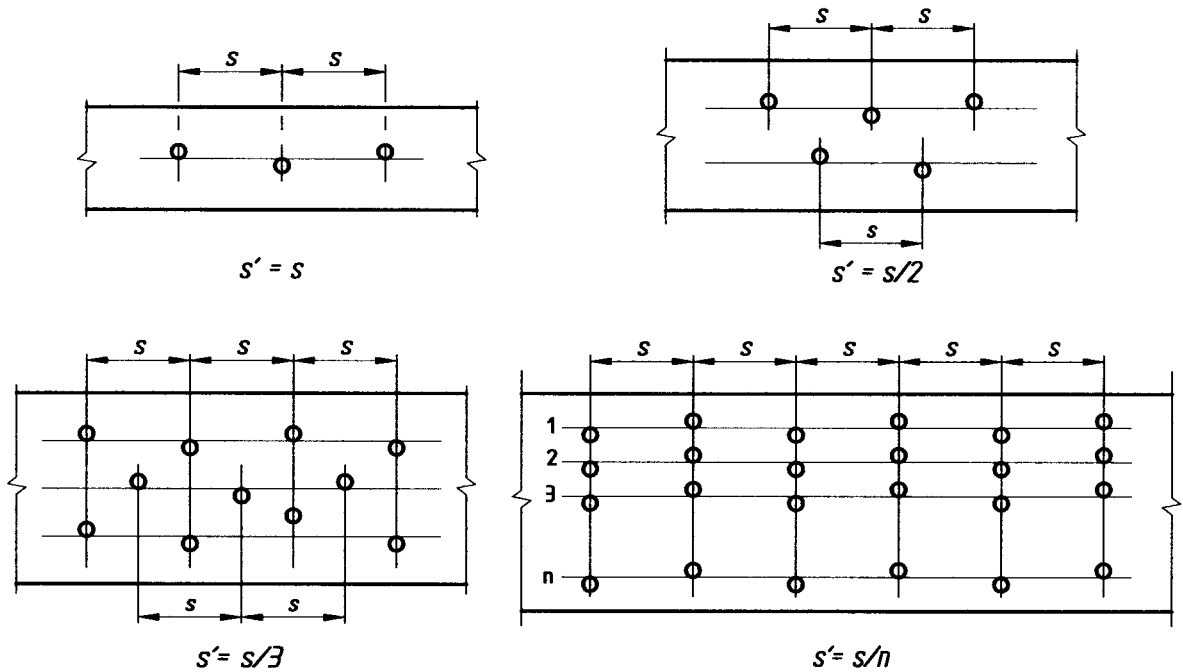


Figura 6 - Espaciamiento condicionante s' de una disposición multilineal de medios de unión

7.2.5.6 La unión de las piezas constituyentes se debe diseñar considerando el flujo de cizalle eficaz máximo, $t_{cz,ef,i}$, que se genera sobre cada junta de contacto entre los componentes de la sección transversal compuesta. Este se calcula considerando el momento de inercia eficaz, I_{ef} , y la fuerza de corte máximo, $Q_{máx.}$, de acuerdo con la expresión:

$$t_{cz,ef,i} = \frac{Q_{máx.}}{I_{ef}} \cdot \gamma_i \cdot n_i \cdot S_i \cdot 10^3 \text{ (kN/mm)}$$

(con $i = 1$ y 3)

en que:

$S_i = A_i \cdot a_i$: momento estático de cada ala, referido al eje neutro de flexión condicionante del diseño, y - y , (ver Figura 5), en mm^3 .

NCh1198

7.2.5.7 El espaciamiento promedio mínimo requerido entre los medios de unión, $s'_{req,i}$, queda dado por la expresión:

$$s'_{req,i} = \frac{P_{el,dis,i}}{t_{cz,ef,i}} \quad (\text{mm}) \quad (\text{para } i = 1 \text{ y } 3)$$

en que:

$P_{el,dis,i}$: capacidad de carga de diseño en extracción lateral en una superficie de cizalle del elemento de unión utilizado, en kN (ver cláusula 9).

Los medios de unión se distribuyen en la práctica en forma uniforme a lo largo de la viga, independientemente del desarrollo del diagrama de esfuerzo de corte. Si la distribución se escalona de acuerdo con el diagrama de esfuerzo de corte y los espaciamientos máximos entre medios de unión ($s'_{máx,i}$) no exceden de $4 \cdot s'_{mín,i}$, se puede considerar para s'_i en la expresión de 7.2.5.5, el valor:

$$s'_{ef} = 0,75 \cdot s'_{mín,i} + 0,25 \cdot s'_{máx,i} \quad (\text{mm})$$

7.2.5.8 La tensión de cizalle en el plano de la fibra neutra del alma, $f_{cz,máx}$, se obtiene con la expresión:

$$f_{cz,máx} = \frac{Q_{máx}}{b_2 \cdot I_{ef}} \cdot \sum_{i=1}^2 \gamma_i \cdot n_i \cdot S_i \cdot 10^3 \quad (\text{MPa})$$

en que:

$S_i = A_i \cdot a_i$: momento estático de las alas referido al eje neutro condicionante del diseño (y-y), en mm³;
(para $i = 1$ y 3)

$S_2 = \frac{b_2}{2} \cdot \left(\frac{h_2}{2} - a_2 \right)^2$: momento estático de la sección del alma dispuesta sobre el eje neutro condicionante del diseño, y-y, referido a dicho eje, en mm³.

7.2.5.9 En la verificación de la deformación máxima por flexión se debe considerar el momento de inercia eficaz, I_{ef} , y el módulo de elasticidad referencial, E_r . Además, se debe considerar el mayor módulo de corrimiento C , que resulte entre:

- i) 1,25 veces los valores de Tabla 14;
- ii) los valores de Tabla 53.

7.2.5.10 El control de deformaciones debe incorporar adicionalmente la componente de flecha máxima por corte, $\delta_{Q,máx.}$, la que en vigas simplemente apoyadas se puede estimar, en forma aproximada como:

$$\delta_{Q,máx.} = \frac{M_{máx.}}{G \cdot A_a} \cdot 10^6 \text{ (mm)}$$

en que:

$M_{máx.}$: momento flector máximo, en kN · m;

G : módulo de corte, en MPa;

A_a : sección transversal del alma, en mm².

7.2.5.11 La estabilidad lateral de una viga compuesta se debe controlar considerando el ala comprimida como una columna que tiende a pandearse lateralmente entre los puntos de apoyo lateral.

7.2.5.12 Cuando se desee prescindir de una verificación exacta se deben materializar las condiciones de apoyo lateral establecidas en Tabla 15, en función de la razón máxima (I_y / I_x) de los momentos de inercia de la sección transversal.

7.2.5.13 En vigas de sección transversal con simetría doble según los Tipos 1 a 3 (ver Tabla 14 y Figura 5) y con simetría simple según el Tipo 4 (ver Tabla 14 y Figura 5) se deberá proceder análogamente para el manejo de las fórmulas planteadas. Ver también lo establecido en Anexo J.

7.2.5.14 Si en vigas según Tipos 2 y 3 (ver Tabla 14) resulta condicionante el diseño con respecto al eje x-x, se deberá proceder en forma análoga.

Tabla 15 - Volcamiento - Razones máximas I_y / I_x de una viga compuesta

I_y / I_x	Grado de sujeción lateral
5	1) Sin apoyos laterales.
10	2) Ala inferior fijada lateralmente en los apoyos.
20	3) Apoyos fijados lateralmente a través de toda la sección transversal.
30	4) Se fija el canto superior, además de las sujeciones señaladas en 3).
40	5) Sujeción señalada en 4) más arriostramiento en diagonal, colocado en un plano vertical perpendicular al eje longitudinal de la viga, a una distancia no mayor que 2,4 m.
> 40	6) El movimiento lateral del canto superior de la viga impedido por un diafragma rígido ubicado a todo el largo de la viga.

7.2.6 Flexión en vigas de alma llena entabladas

7.2.6.1 Las vigas de alma llena entabladas consideradas en esta norma tienen el alma constituida por dos entablados diagonales contrapuestos, clavados a los cordones y entre sí (Tipos A y B de Figura 7).

7.2.6.2 En vigas de alma llena entabladas se debe verificar, considerando la flexibilidad de los medios de unión de acuerdo a lo establecido en 7.2.5, que:

$$\frac{f_{f,b}}{F_{fv,dis}} \leq 1; \quad \frac{f_{cp,g1}}{F_{c\lambda,dis}} \leq 1; \quad \frac{f_{tp,g1}}{F_{tp,dis}} \leq 1$$

en que:

- $f_{f,b}$: tensión de trabajo en flexión en el borde exterior de las alas evaluadas según 7.2.5.2, en MPa;
- $F_{fv,dis}$: tensión de diseño en flexión, calculada según 7.2.2.2 b), en MPa;
- $f_{cp,g1}$: tensión de trabajo en compresión, evaluada en el centroide del ala comprimida, según 7.2.5.2, en MPa;
- $f_{tp,g1}$: tensión de trabajo en tracción evaluada en el centroide del ala traccionada, según 7.2.5.2, en MPa;
- $F_{c\lambda,dis}$: tensión de diseño en compresión paralela considerando la inestabilidad lateral, calculada según 7.3.2.2, en MPa;
- $F_{tp,dis}$: tensión de diseño en tracción paralela, calculada según 7.4.2, en MPa.

NOTA - En el cálculo de $f_{f,b}$; $f_{tp,g1}$ y $f_{cp,g1}$ se puede considerar en forma aproximada:

$$I_{ef} = 2 \gamma \cdot A_1 \cdot a_1^2$$

7.2.6.3 En las vigas con alma llena entablada no se considera el aporte del alma en la determinación del momento de inercia eficaz, I_{ef} , (mm⁴).

7.2.6.4 Cuando se considere un escalonamiento en el espaciamiento entre los medios de unión, se puede aplicar la expresión para s_{ef} de 7.2.5.7.

7.2.6.5 Cuando cada cordón esté constituido por dos o más piezas individuales y no se desee desarrollar una verificación exacta, se debe considerar en los cálculos las áreas de las piezas individuales ponderadas por los factores ξ definidas en Figura 8.

Desde el punto de vista de la verificación, en el cálculo no se deben considerar como efectivas más de dos piezas individuales dispuestas consecutivamente, tanto en posición vertical como horizontal.

7.2.6.6 Las tablas del alma se deben verificar para la fuerza axial que induce sobre ellas el flujo de cizalle longitudinal. Se debe verificar, además la seguridad al pandeo de las tablas del alma solicitadas por compresión, salvo que se encuentren suficientemente conectadas en sus encuentros con las tablas traccionadas.

7.2.6.7 Para resistir fuerzas axiales adicionales a las inducidas por flexión no se debe considerar la colaboración de los entablados del alma.

7.2.6.8 El clavado a las alas de las tablas del alma debe ser capaz de transmitir el flujo de cizalle generado por el esfuerzo de corte, $t_{cz,ef,i}$, y de proporcionar una rigidez de ligazón entre las piezas constituyentes de las alas, compatibles con las exigencias relativas a s'_{ef} implícitas en las verificaciones tensionales de éstas.

7.2.6.9 Si una viga de alma llena del Tipo A (ver Figura 7) se construye separadamente en dos mitades, se debe verificar la transmisión de las fuerzas torsionales de acoplamiento que se inducen entre ambas mitades.

7.2.6.10 En el caso de vigas del Tipo B (ver Figura 7) se debe verificar el momento torsor volcante que solicita las alas.

7.2.6.11 La estabilidad lateral de una viga de alma llena entablada se debe determinar de acuerdo a 7.2.5.12.

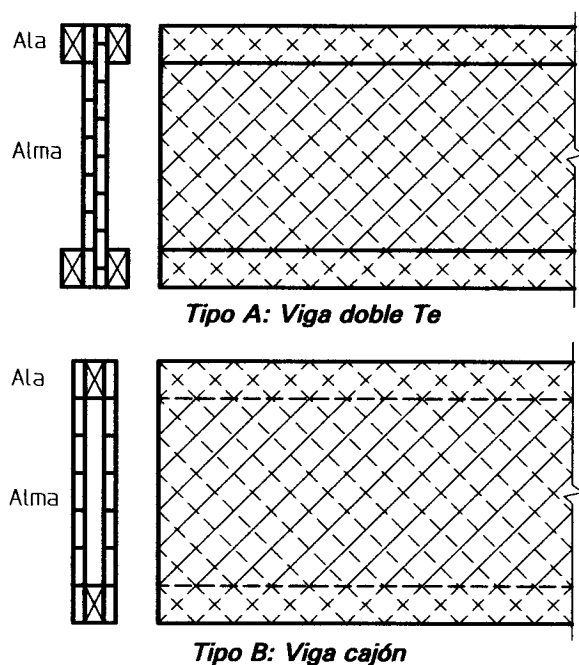


Figura 7 - Tipos de vigas de alma llena entabladas

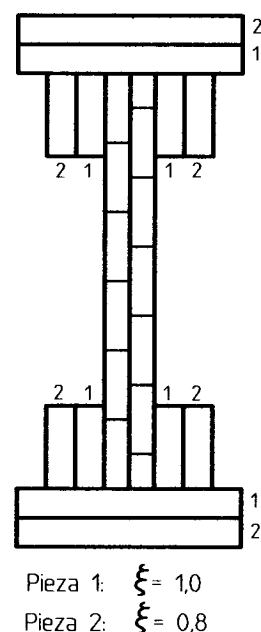


Figura 8 - Sección transversal compuesta de una viga clavada de alma llena

7.2.7 Flexión en vigas enrejadas

7.2.7.1 En vigas enrejadas de cordones paralelos o de forma trapezoidal con uniones entre barras flexibles (ver Figuras 9 y 10) se deben verificar, considerando la flexibilidad de los medios de unión, que

$$\frac{f_{f,b}}{F_{fv,dis}} \leq 1; \quad \frac{f_{cp,g1}}{F_{c\lambda,dis}}; \quad \frac{f_{tp,g1}}{F_{tp,dis}} \leq 1;$$

en que:

- $f_{f,b}$: tensión de trabajo en flexión en el borde exterior de los cordones, evaluada según 7.2.7.2, en MPa;
- $F_{fv,dis}$: tensión de diseño en flexión, calculada según 7.2.2.2 b), en MPa;
- $f_{cp,g1}$: tensión de trabajo en compresión, evaluada en el centroide del cordón comprimido, según 7.2.7.2, en MPa;
- $F_{c\lambda,dis}$: tensión de diseño en compresión paralela considerando la inestabilidad lateral, calculada según 7.3.2.2, en MPa;
- $f_{tp,g1}$: tensión de trabajo en tracción, evaluada en el centroide del cordón traccionado, calculada según 7.2.7.2;
- $F_{tp,dis}$: tensión de diseño en tracción paralela, calculada según 7.4.2, en MPa.

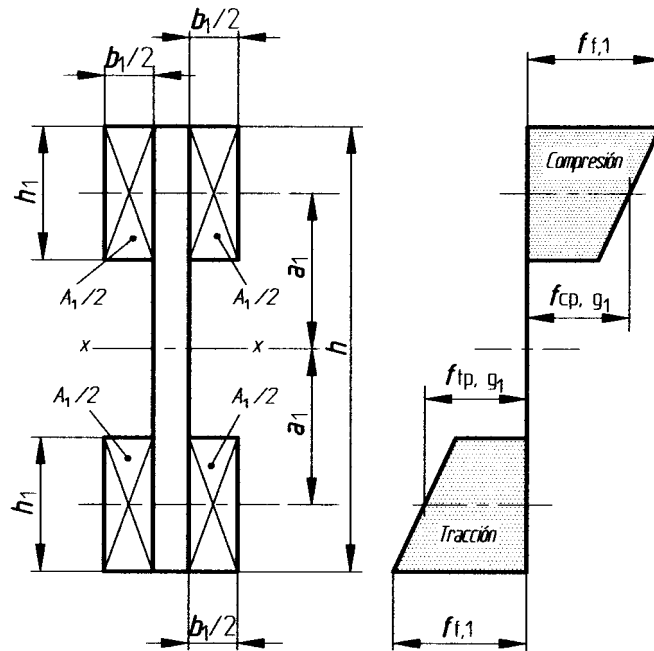


Figura 9 - Diagrama de tensiones en vigas enrejadas

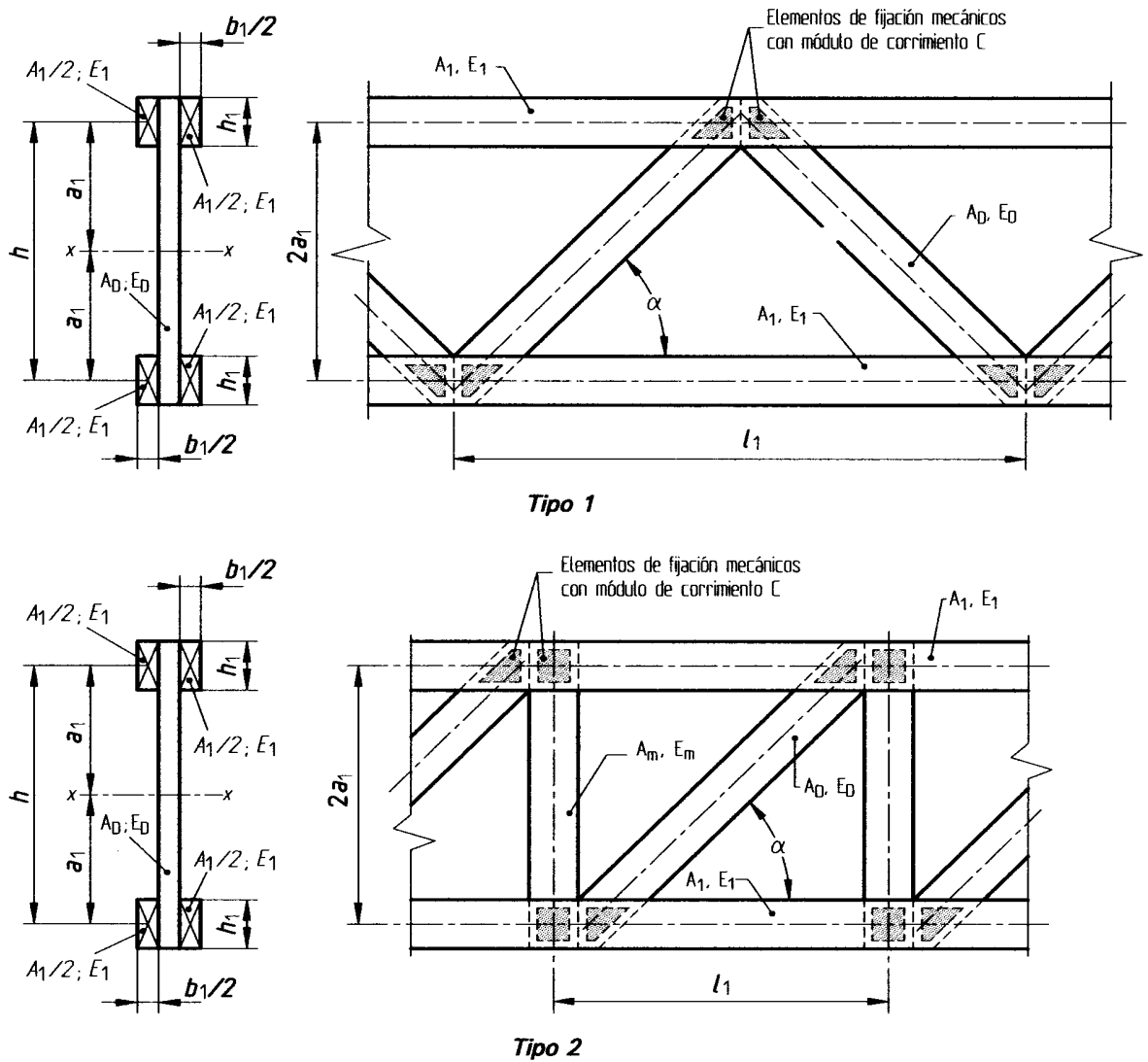


Figura 10 - Vigas enrejadas con cordones paralelos

7.2.7.2 En vigas enrejadas de cordones paralelos, las tensiones se deben evaluar de acuerdo con lo siguiente:

tensión axial en el centroide de los cordones : $f_{cp/tp, g1} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \cdot \gamma \cdot a_1$ MPa

tensiones de borde en los cordones : $f_{f,b} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \cdot \left(\gamma \cdot a_1 + \frac{h_1}{2} \right)$ MPa

NCh1198

con I_{ef} : momento de inercia eficaz, tal que:

$$I_{ef} = 2 \cdot b \cdot h_1 \cdot a_1^2 \cdot \left(\frac{h_1^2}{12 \cdot a_1^2} + \gamma \right) \text{ mm}^4$$

en que:

$$\gamma = \frac{1}{1+k},$$

donde:

$$k = \frac{\pi^2 \cdot E_1}{L^2} \cdot A_1 \cdot \frac{l_1}{C_{eq}}$$

con:

E_1 : módulo de elasticidad de la madera que constituye los cordones, en MPa;

A_1 : sección transversal de un cordón, en mm²;

a_1 : distancia entre el centroide de la viga enrejada y el centroide de los cordones, en mm;

L : distancia entre apoyos, en mm;

l_1 : distancia entre centros de uniones transversales, en mm.

Para las configuraciones esquematizadas en Figura 10, el valor del módulo de corrimiento equivalente, C_{eq} , queda dado por las expresiones:

Para el Tipo 1:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{2 \cdot \cos^2 \alpha} \left(\frac{a_1}{A_D \cdot E_D \cdot \text{sen } \alpha} + \frac{1}{n_D \cdot C} \right) \text{ (mm/N)}$$

Para el Tipo 2:

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{2 \cdot \cos^2 \alpha} \left[\frac{a_1}{A_D \cdot E_D \cdot \text{sen } \alpha} + \frac{a_1 \cdot \text{sen}^2 \alpha}{E_P \cdot A_P} + \frac{1}{C} \left(\frac{1}{n_D} + \frac{\text{sen}^2 \alpha}{n_P} \right) \right] \text{ (mm/N)}$$

en que:

n_D, n_P : cantidad de medios de unión requeridos para traspasar en cada extremo las fuerzas que solicitan las diagonales y postes, respectivamente;

- A_D, A_P : sección transversal de las diagonales y postes, respectivamente, en mm²;
- C : módulo de corrimiento del medio de unión, utilizado para fijar las diagonales y postes a los cordones, según Tabla 14, en N/mm;
- E_D, E_P : módulo de elasticidad de las diagonales y postes, respectivamente, en MPa.

Cuando las diagonales y/o postes se conforman con dos o más piezas individuales, las áreas de la sección transversal (A_D y A_P) y la cantidad de medios de unión (n_D y n_P) que se deben considerar en las expresiones anteriores son las totales.

7.2.8 Arriostramientos laterales

7.2.8.1 Los elementos constructivos dispuestos para servir de apoyo contra desplazamientos laterales, tanto de vigas como de cordones comprimidos de vigas enrejadas, se deben diseñar de acuerdo con las siguientes recomendaciones que corresponden a soluciones aproximadas de situaciones generales, quedando abierta la posibilidad de desarrollar una solución exacta para cada caso particular.

7.2.8.2 Vigas de sección transversal rectangular

Cuando la relación altura espesor no excede de 10, se puede considerar el efecto equivalente a una carga q_s , uniformemente distribuida actuante en ambos sentidos según la dirección normal al plano de la estructura arriostrada, de magnitud:

$$q_s = \frac{m \cdot M_{m\acute{a}x.}}{350 \cdot l \cdot b} \text{ (kN/m)}$$

en que:

- m : número de vigas que se deben arriostar;
- $M_{m\acute{a}x.}$: momento flector máximo inducido por las cargas verticales, en una viga individual, en kN · m;
- l : distancia entre apoyos de la construcción arriostrente, en m;
- b : espesor de la viga, en m.

NOTAS

- 1) El arriostramiento debe apoyar lateralmente el borde flexo-comprimido de la viga.
- 2) No es recomendable utilizar vigas con relaciones altura-espesor mayores que 10.

7.2.8.3 Cordón comprimido de vigas enrejadas

En este tipo de elementos, se puede considerar el efecto equivalente a una carga uniformemente distribuida, q_s , actuante en ambos sentidos según la dirección normal al plano de la estructura arriostrada, de magnitud:

$$q_s = \frac{m \cdot N_c}{30 \cdot l} \text{ (kN/m)}$$

en que:

- m : número de cordones que se deben arriostrar;
- N_c : compresión media en el cordón, para el estado de cargas más desfavorables, en kN;
- l : distancia entre apoyos de la construcción arriostrante, en m.

7.2.8.4 Efecto simultáneo de inestabilidad lateral y sollicitación de viento

Las construcciones arriostrantes solicitadas por cargas de viento que sirvan, simultáneamente, como elementos estabilizadores de cordones comprimidos de enrejados o vigas con luces no superiores a 30 m, pueden ser consideradas para la neutralización de una carga lateral que a lo más ascienda a la mitad del valor de la sollicitación inducida por el viento. Ante cargas laterales que superen este límite, el excedente debe ser neutralizado por arriostramientos especiales o bien, las contraventaciones se deben diseñar considerando esta carga adicional.

Cuando la luz excede 40 m, se deben considerar las cargas de viento y lateral completas. Para luces entre 30 m y 40 m se podrá interpolar linealmente entre las cargas resultantes de aplicar ambos criterios.

7.2.8.5 Para efectos del dimensionamiento de las líneas de apuntalamiento que fijan las vigas o cordones comprimidos al sistema arriostrante, se debe considerar adicionalmente lo establecido en 7.3.5 de modo que la situación más exigente controle el diseño.

7.2.8.6 Control de deformaciones y de distribución de arriostramientos

Bajo la acción de la carga de diseño la deformación horizontal de una construcción arriostrante no debe sobrepasar 1/1 000 de la luz. Se podrá prescindir de esta verificación cuando la relación altura/luz de la construcción arriostrante sea $\geq 1/12$.

En consideración tanto a las deformaciones de los elementos constructivos dispuestos entre los sistemas arriostrantes, como a la flexibilidad de los medios de unión en estos sectores, para construcciones de longitud superiores a 25 m se deben disponer, al menos, dos construcciones arriostrantes; cuando no se desee realizar una verificación exacta, la distancia libre entre arriostramientos vecinos no debe exceder 25 m.

En sistemas arriostrantes de pasarelas peatonales y cuando el cálculo de la deformación considere la deformación elástica de la totalidad de las barras de madera y la flexibilidad de las uniones y empalmes, la deformación horizontal del sistema podrá ascender hasta 1/400 de la luz.

7.3 Elementos en compresión paralela

7.3.1 Generalidades

7.3.1.1 Las especificaciones de esta sección son aplicables a piezas estructurales solicitadas en forma centrada (con respecto a su eje) por fuerzas de compresión orientadas según la dirección de la fibra.

7.3.1.2 Longitud efectiva de pandeo, l_p

La longitud efectiva de pandeo, l_p , se debe considerar como la distancia entre dos puntos de inflexión adyacentes, entre los que el elemento comprimido se deforma adoptando una curvatura simple.

Para piezas comprimidas rectas, sujetas en sus extremos por medios de unión mecánicos (clavos, conectores, pernos, etc.) los valores de l_p se pueden adoptar ya sea de Tabla 16, en la que la longitud real de la pieza se ha designado como l_r , o bien de las recomendaciones establecidas en Anexo K.

7.3.1.3 Restricciones de esbeltez

La esbeltez $\lambda = l_p / i$ no debe exceder de 170 para piezas principales o de 200 para elementos constituyentes de sistemas arriostrantes que quedan comprimidos únicamente bajo los efectos de estados de carga eventuales, que incorporan las solicitaciones de viento y sismo. En la expresión de la esbeltez, i corresponde al radio de giro que condiciona el pandeo relativo a la longitud efectiva de pandeo l_p .

7.3.2 Piezas simples

7.3.2.1 Tensión de trabajo




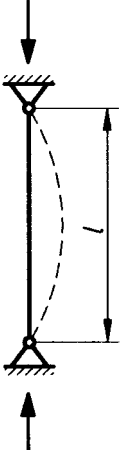

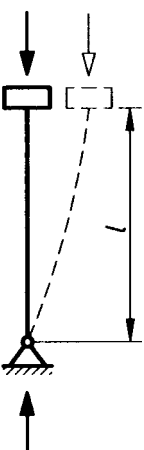




La tensión de trabajo de una columna simple sometida a compresión paralela a su fibra se calcula de acuerdo a la expresión siguiente:

$$f_{cp} = \frac{N}{A} \cdot 10^3 \text{ (MPa)}$$

en que:

- f_{cp} : tensión de trabajo por compresión paralela, en MPa;
- N : carga axial aplicada, en kN;
- A : área de la sección transversal, en mm².

Tabla 16 - Longitudes efectivas de pandeo, l_p , de piezas comprimidas

Configuración de pandeo						
Valores para l_p / l	0,70	0,85	1,50	1,0	2,50	2,50
Condiciones de apoyo	   	<p>Impedimento de giros y desplazamientos</p> <p>Libertad de giro, impedimento de desplazamiento</p> <p>Impedimento de giro, libertad de desplazamiento</p> <p>Libertad de giros y desplazamientos</p>				

7.3.2.2 Tensión de diseño

a) Si el elemento no presenta problemas de inestabilidad lateral ($\lambda < 10$), la tensión de diseño se determina mediante la expresión siguiente:

$$F_{cp,dis} = F_{cp} \cdot K_H \cdot K_D$$

en que:

$F_{cp,dis}$: tensión de diseño en compresión paralela, en MPa;

F_{cp} : tensión admisible en compresión paralela, en MPa, determinada según cláusula 5;

K_H : factor de modificación por contenido de humedad, determinado según 6.1.1;

K_D : factor de modificación por duración de la carga, determinado según 6.1.2;

- b) Si el elemento presenta problemas de inestabilidad lateral, $\lambda \geq 10$, la tensión de diseño se determina mediante la expresión siguiente:

$$F_{cp, \lambda, dis} = F_{cp, dis} \cdot K_{\lambda}$$

en que:

$F_{cp, \lambda, dis}$: tensión de diseño en compresión paralela considerando inestabilidad lateral, en MPa;

$F_{cp, dis}$: tensión de diseño calculada según el punto anterior a), en MPa;

K_{λ} : factor de modificación por esbeltez, calculado según 7.3.2.3.

7.3.2.3 Factor de modificación por esbeltez, K_{λ}

El factor de modificación por esbeltez se evalúa con la expresión:

$$K_{\lambda} = A - \sqrt{A^2 - B}$$

con:

$$A = \frac{\frac{F_{cE}}{F_{cp, dis}} \cdot \left(1 + \frac{\lambda}{200}\right) + 1}{2 \cdot c}$$

$$B = \frac{F_{cE}}{c \cdot F_{cp, dis}}$$

en que:

c : coeficiente de proporcionalidad, según Tabla 17;

E_{dis} : módulo de elasticidad de diseño, calculado según 7.1.1, en MPa;

$F_{cp, dis}$: tensión de diseño en compresión paralela calculada según 7.3.2.2 a), en MPa;

F_{cE} : $\frac{3,6 \cdot E_{dis}}{\lambda^2}$, (MPa);

λ : esbeltez reguladora del diseño.

Tabla 17 - Valores del coeficiente de proporcionalidad, *c*

Clasificación visual	Coeficiente de proporcionalidad
Grado estructural	
N°1	0,85
N°2, GS, G1	0,85
N°3	0,80
N°4, G2	0,80

7.3.3 Piezas de sección transversal compuestas

7.3.3.1 Tipos de secciones transversales compuestas

Esta norma distingue los tipos siguientes:

- a) **Piezas compuestas no espaciadas**, en las cuales se consideran los tipos de secciones transversales esquematizados en Figura 5 y en Tabla 14.
- b) **Piezas compuestas espaciadas**, con las formas constructivas esquematizadas en Figuras 11 y 13.

7.3.3.2 Piezas compuestas no espaciadas

- a) En piezas no espaciadas con secciones transversales Tipo 5 según Figura 5 d) o sus casos particulares, (ver Tabla 14), la verificación del pandeo con respecto al eje y-y, se debe realizar considerando el momento de inercia eficaz I_{ef} según 7.2.5.5.
- b) En piezas no espaciadas con secciones transversales según Tipos 1, 4 y 5 de Tabla 14, la verificación del pandeo con respecto al eje x-x, se debe realizar considerando un momento de inercia igual a la sumatoria de los momentos de inercia de las piezas que conforman la sección.

Para los Tipos de sección 2 y 3 de Tabla 14, la verificación de pandeo según el eje x-x, se debe realizar considerando el momento de inercia eficaz I_{ef} , según 7.2.5.5.

- c) En piezas no espaciadas con secciones transversales según Figura 5 o sus casos particulares, (ver Tabla 14) y en las cuales las uniones se materializan con adhesivo, el momento de inercia eficaz es igual al momento de inercia homogéneo, calculado según lo establecido en 7.2.5.5, considerando $\gamma_i = 1$ ($I_{ef} = I_{homogéneo}$).
- d) Si en la conexión de las piezas individuales se utilizan medios de unión flexibles, el momento de inercia eficaz, I_{ef} se debe calcular en forma análoga a lo establecido para vigas de sección transversal compuesta (ver 7.2.5.5). En las expresiones establecidas para k , en lugar de la luz, L , se incorpora la longitud de pandeo correspondiente, l_p , determinándose los valores del módulo de corrimiento C , de los medios de unión, según Tabla 14.

- e) Con el valor de I_{ef} , se calcula la esbeltez eficaz, λ_{ef} y el correspondiente factor de modificación por esbeltez, $K_{\lambda_{ef}}$.
- f) Los medios de unión se deben diseñar suponiendo un esfuerzo de corte de magnitud constante en toda la longitud de la pieza, y cuya expresión queda dada por:

$$Q_i = \frac{N}{K_{\lambda_{ef}} \cdot 60} \text{ (kN)}$$

en que:

N : esfuerzo de compresión que solicita la pieza compuesta, en kN;

$K_{\lambda_{ef}}$: factor de modificación por esbeltez evaluado con la esbeltez eficaz, λ_{ef} , (según 7.3.2.3).

Para $\lambda_{ef} \leq 60$, se permite reducir el valor de Q_i en la razón $\lambda_{ef}/60$ con una reducción máxima del 50%.

- g) El cálculo del flujo de cizalle eficaz máximo, $t_{cz,ef,m\acute{a}x}$, se desarrolla de acuerdo con la expresión establecida en 7.2.5.6.
- h) La determinación del espaciamiento requerido, s_{req} , entre los medios de unión, se desarrolla de acuerdo con 7.2.5.7.

7.3.3.3 Piezas compuestas espaciadas

- a) Las especificaciones de esta norma son aplicables sobre los elementos conformados por piezas espaciadas y tacos separadores (Tipos A, C y E de Figura 11), que se construyen con razones de espaciamiento: $a/h_1 \leq 3$ o con tapas de unión (Tipos B y D de Figura 11) para razones de espaciamiento: $3 < a/h_1 \leq 6$.

Sobre la correspondiente unión transversal de estos elementos (tacos separadores o tapas de unión) actúa una fuerza de cizalle T , cuya magnitud expresada en kN, se puede determinar, aproximadamente, como:

i) $T = \frac{Q_i \cdot l_{p1}}{2 \cdot a_1}$ para elementos constituidos por dos piezas individuales ($m = 2$) [(ver Figura 12 a)];

ii) $T = \frac{0,5 \cdot Q_i \cdot l_{p1}}{2 \cdot a_1}$ para elementos constituidos por tres piezas individuales ($m = 3$) [(ver Figura 12 b)];

NCh1198

iii) $T' = \frac{0,4 \cdot Q_i \cdot l_{p1}}{2 \cdot a_1}$ para elementos constituidos por cuatro piezas individuales ($m = 4$) [ver Figura 12 c)].

$$T'' = \frac{0,3 \cdot Q_i \cdot l_{p1}}{2 \cdot a_1}$$

- b) En la verificación del pandeo con respecto al eje y-y (ver Figuras 11 y 13) la sección transversal compuesta se debe considerar como una pieza simple cuyo momento de inercia I_y corresponde a la suma de los momentos de inercia de las piezas individuales.
- c) En los elementos Tipos A, B, C, D y E de Figura 11 el pandeo con respecto al eje principal x-x se verifica considerando la esbeltez eficaz $\lambda_{ef,x}$, evaluada según la expresión:

$$\lambda_{ef,x} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{m}{2} \cdot f \cdot \lambda_1^2}$$

en que:

- $\lambda_x = \frac{l_{p,x}}{i_x}$: esbeltez de la sección transversal total, respecto al eje x-x;
- i_x : radio de giro calculado al considerar el momento de inercia total de la pieza, referido el eje x-x, en mm;
- m : número de piezas individuales que conforman la sección transversal del elemento compuesto;
- f : coeficiente de flexibilidad que depende de la materialización de la unión transversal entre piezas individuales, según lo establecido en Tabla 18;
- $\lambda_1 = l_{p1}/i_1$: esbeltez de la pieza individual, evaluada respecto a su eje principal menor;
- l_{p1} : longitud de pandeo de la pieza individual definida como la distancia entre centros de uniones transversales, en mm;
- i_1 : radio de giro mínimo de la pieza individual, en mm.

Tabla 18 - Valores del coeficiente de flexibilidad, f

Tipo de unión transversal	Medio de unión	Coeficiente de flexibilidad, f
Tacos separadores	Adhesivo	1,0
	Conectores	2,5
	Clavos, tornillos, tirafondos, grapas, barras de acero, [para pernos ver 7.3.3.3 d)]	3,0
Tapas de unión	Adhesivo	3,0
	Clavos	4,5

En el cálculo de las variables anteriormente señaladas se debe cumplir:

- i) $\lambda_1 \leq 60$
- ii) $\ell_{p1} \leq l_{px} / 3$

Para esbelteces $\lambda_1 < 30$ en la evaluación de λ_{ef} se debe considerar $\lambda_1 = 30$.

- d) Si los tacos separadores se fijan exclusivamente mediante pernos se puede considerar $f = 3,0$, siempre que se trate de construcciones provisionarias. En este caso se exigirá una accesibilidad a la unión, una vez construida, con el propósito de permitir un reapriete de los pernos.

En cualquier otra situación las piezas compuestas unidas con pernos se deben verificar como una agrupación de piezas individuales que no trabajan en conjunto.

- e) Para separaciones mayores entre los elementos ($6 < a/h_1 \leq 10$), se deben preferir columnas espaciadas reticuladas según configuraciones esquematizadas en los Tipos F y G de Figura 13.

La esbeltez eficaz, λ_{ef} se puede calcular según la expresión dada en 7.3.3.3 c) reemplazando el término $f \cdot \lambda_1^2$ por:

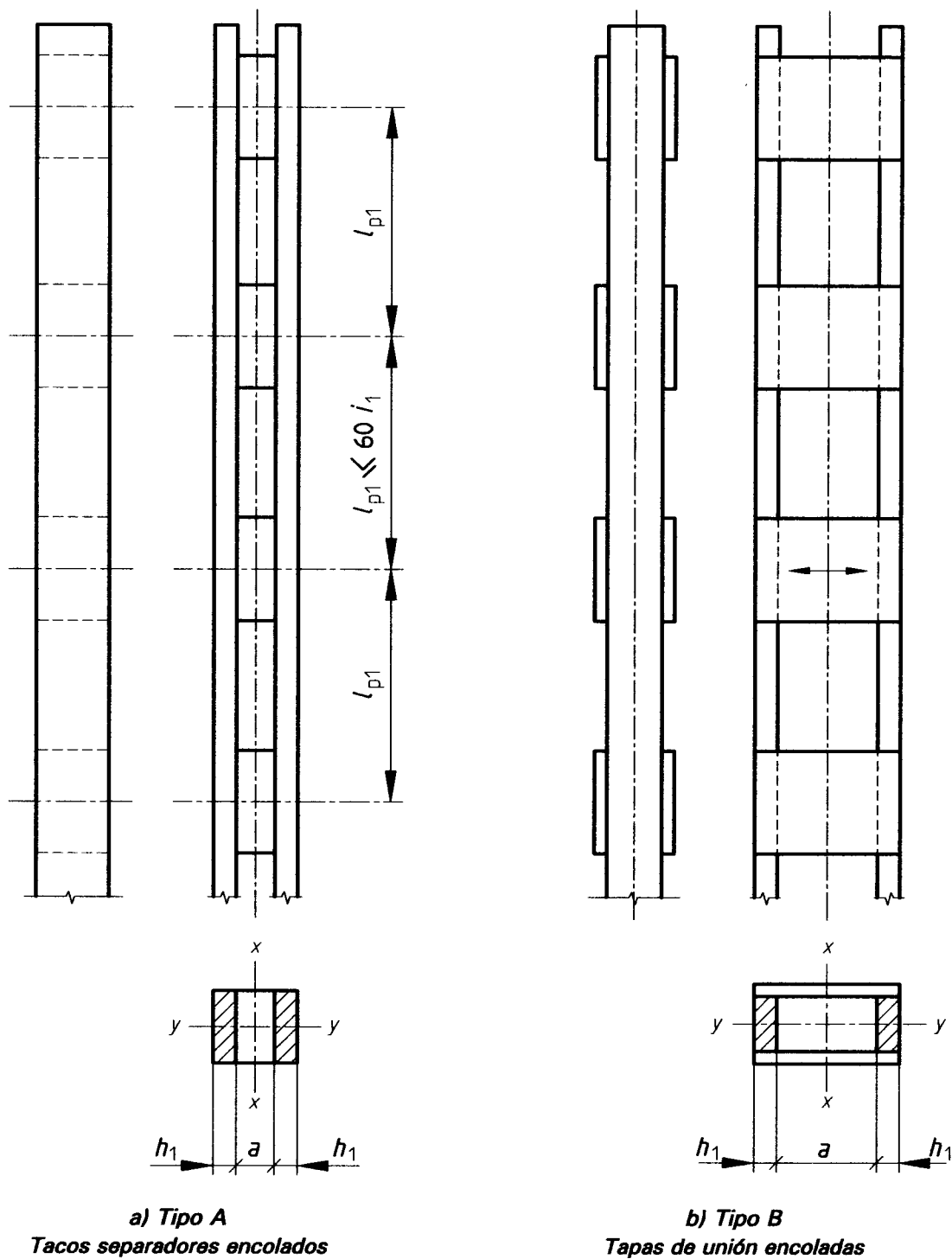
- i) $\frac{4\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1}{a_1 \cdot n_D \cdot C_D \cdot \text{sen } 2a}$ si la celosía es del Tipo F de Figura 13, o bien

NCh1198

$$\text{ii) } \frac{4\pi^2 \cdot E_1 \cdot A_1}{a_1 \cdot \text{sen } 2\alpha} \left[\frac{1}{n_D \cdot C_D} + \frac{\text{sen } 2\alpha}{n_M C_M} \right] \quad \text{si la celosía es del Tipo G de Figura 13}$$

en que:

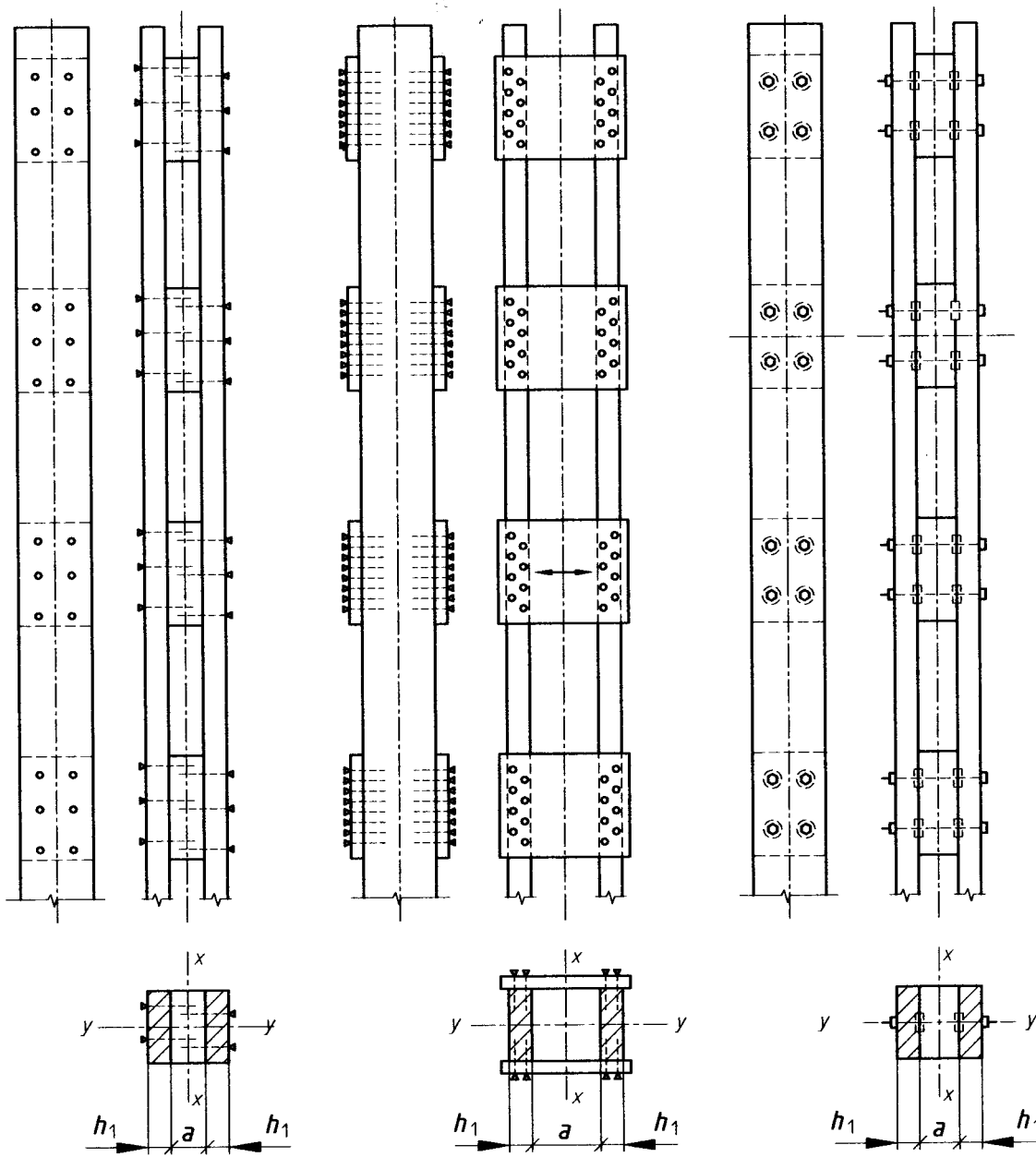
- A_1 : sección transversal de la pieza individual, en mm²;
- C_D : módulo de corrimiento del medio de unión empleado para fijar las diagonales, obtenido de Tabla 14, en N/mm;
- C_M : módulo de corrimiento del medio de unión empleado para fijar los montantes, obtenido de Tabla 14, en N/mm;
- α : ángulo de inclinación de las barras diagonales;
- n_D : cantidad de medios de unión que se requieren para traspasar la fuerza total que solicita cada diagonal;
- n_M : cantidad de medios de unión que se requieren para traspasar la fuerza total que solicita cada montante;
- E_1 : módulo de elasticidad en flexión de las piezas individuales según Tabla 4. Este valor no incorpora correcciones por humedad, en MPa;
- a_1 = distancia del centroide de cada pieza individual al eje principal de inercia de la sección transversal compuesta, en mm.



↔ Dirección de la fibra de las piezas de ligazón transversal.

Figura 11 - Piezas compuestas espaciadas - Tipos A, B, C, D y E
(continúa)

(continuación)



c) Tipo C
Tacos separadores clavados

d) Tipo D
Tapas de unión clavados

e) Tipo E
Tacos separadores con conectores

← Dirección de la fibra de las piezas de ligazón transversal.

Figura 11 - Piezas compuestas espaciadas - Tipos A, B, C, D y E
(conclusión)

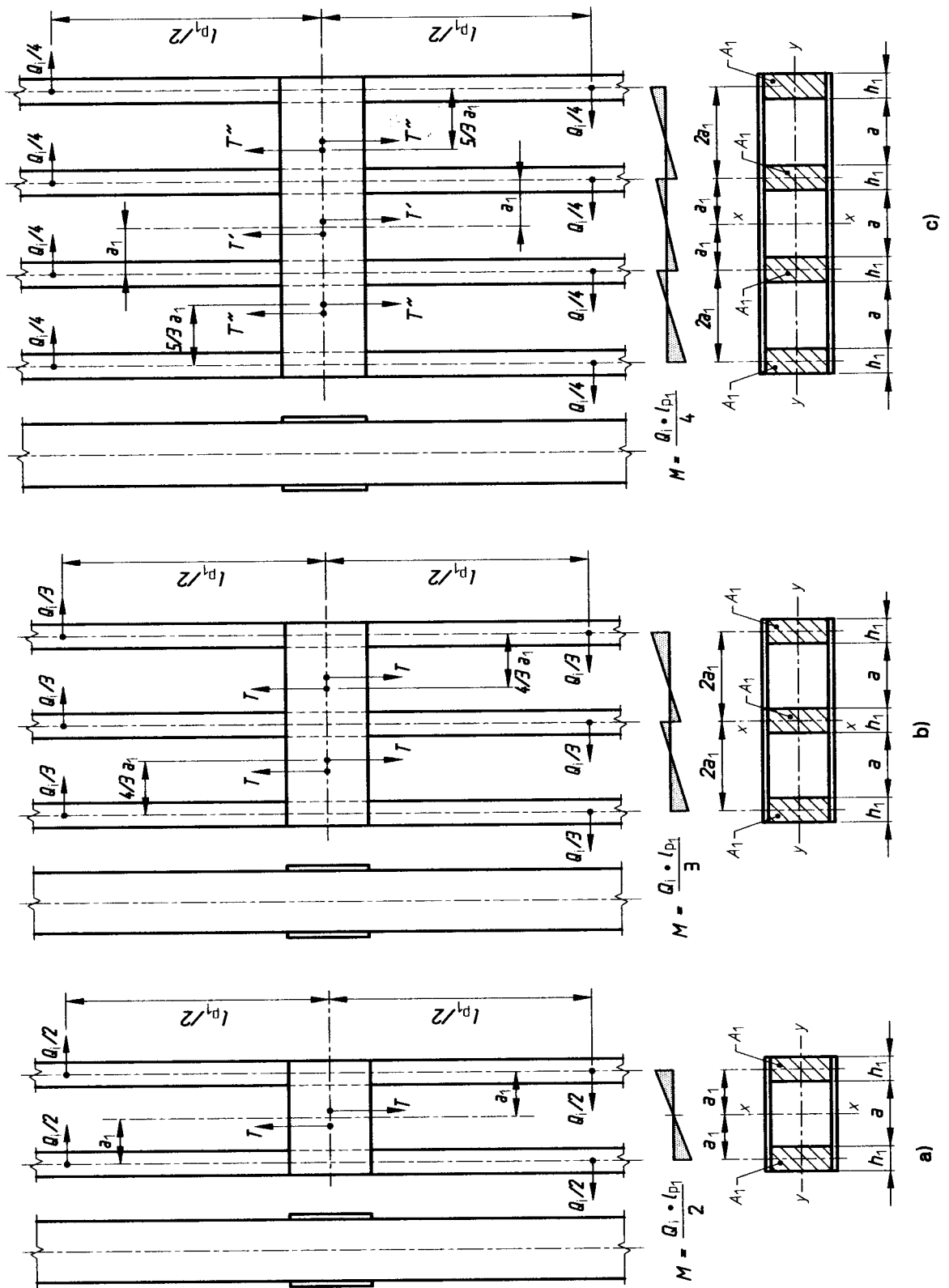


Figura 12 - Suposiciones relativas a los puntos de acción de las fuerzas de corte y flujos de cizalón en piezas compuestas con tapas de unión

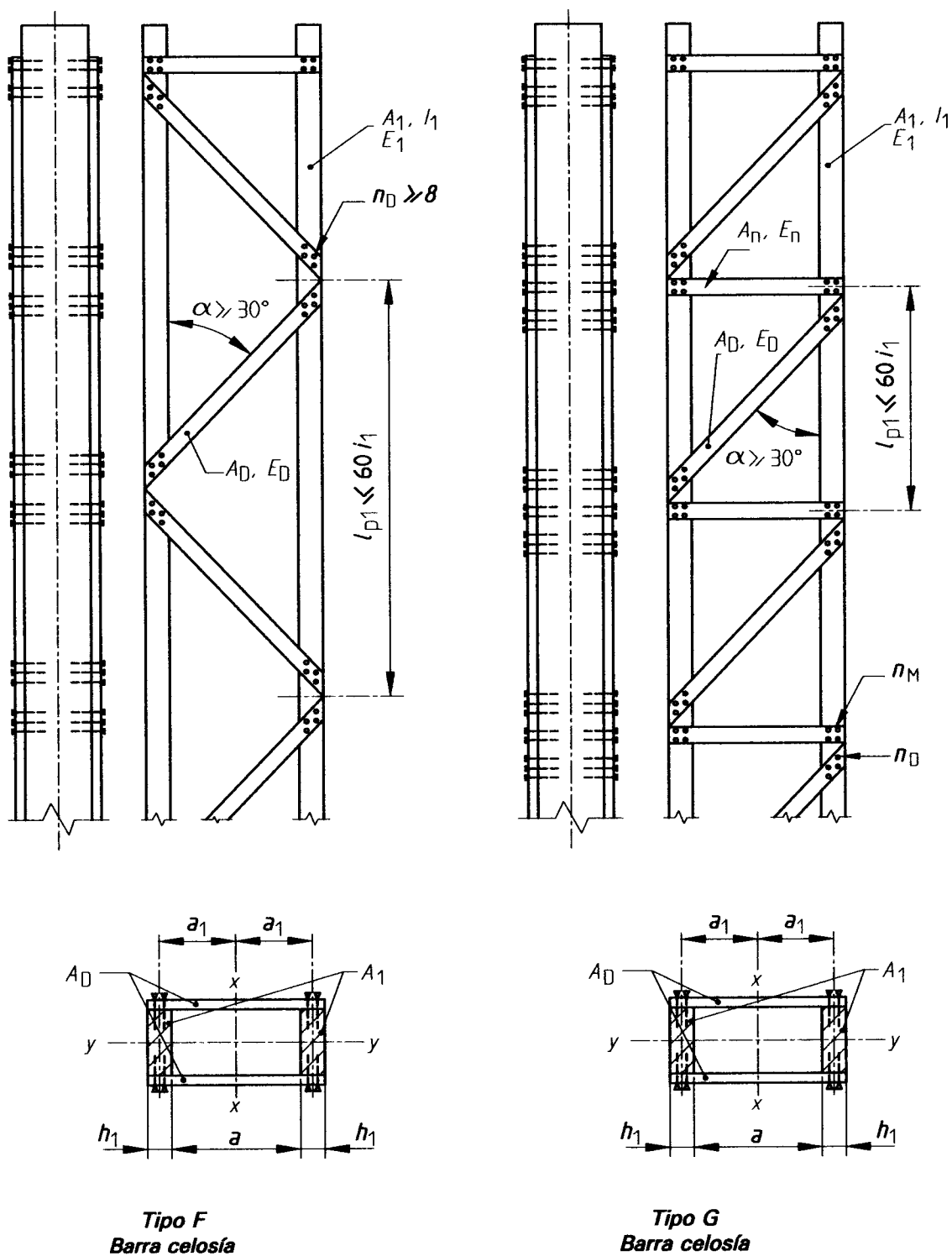


Figura 13 - Piezas compuestas espaciadas - Tipos F y G

7.3.3.4 Diseño de las uniones transversales - Materialización constructiva

- a) Todos los tacos separadores, las tapas de unión, las barras de celosía y sus uniones se deben diseñar considerando el esfuerzo de corte Q_i especificado en 7.3.3.2 f).
- b) El número de tramos que se deben disponer en los elementos debe ser mayor o igual a 3, ubicando uniones transversales al menos en los puntos tercios de la longitud de la columna.
- c) Los elementos con tacos separadores o tapas de unión y reticulados deben poseer, adicionalmente, una unión transversal en cada extremo, salvo que en cada unión intermedia se dispongan, a lo menos, dos conectores ubicados consecutivamente en el sentido longitudinal o bien, cuatro clavos alineados longitudinalmente.
- d) La unión transversal mínima entre una pieza individual y el taco o tapa debe constar de, al menos, dos conectores o cuatro clavos.
- e) Si se emplean tacos separadores encolados, la longitud de éstos debe ser mayor o igual que el doble de la distancia libre entre piezas individuales.
- f) Cuando la razón de espaciamiento, a/h_1 , sea menor o igual que 2, se puede prescindir de la verificación del momento flector que la fuerza de cizalle, T, induce sobre los tacos separadores.

7.3.4 Empalmes

7.3.4.1 En empalmes de barras comprimidas que se materialicen como uniones de tope con una suficiente precisión de ajuste, se deben asegurar posicionalmente los extremos de las piezas empalmadas mediante la colocación de elementos que eviten desplazamientos laterales (cubrejuntas, tarugos metálicos, etc.). Cuando la precisión de la ejecución asegure el traspaso de las fuerzas por contacto directo, de acuerdo con las restricciones establecidas en 7.3.4.2, los medios de unión requeridos para la fijación se determinan considerando la mitad de la fuerza de compresión. En caso contrario el diseño se debe efectuar con el total de la fuerza. Esta solución será aplicable únicamente en los cuartos extremos de la longitud de pandeo.

Cuando el empalme se ubique en cualquier otra posición se deben usar cubrejuntas dimensionadas de modo que la suma de los momentos de inercia de las piezas utilizadas (referidos a su eje principal de inercia paralelo al eje de pandeo) sea mayor o igual que el momento de inercia de la pieza empalmada, con respecto al eje de pandeo.

7.3.4.2 La tensión de aplastamiento en empalmes solicitados según la dirección de la fibra, se evalúa análogamente a 7.3.2.1 considerando el área neta de aplastamiento, debiendo controlarse que dicha tensión no exceda el 75% del valor de la tensión de diseño en compresión paralela, $F_{cp,dis}$ [según 7.3.2.2 a)].

7.3.5 Arriostramientos de elementos comprimidos

Las piezas que se emplean para subdividir la longitud de pandeo en puntos intermedios de un elemento comprimido, se deben diseñar para una fuerza de apuntalamiento de magnitud, K , que para piezas comprimidas de madera aserrada asciende a:

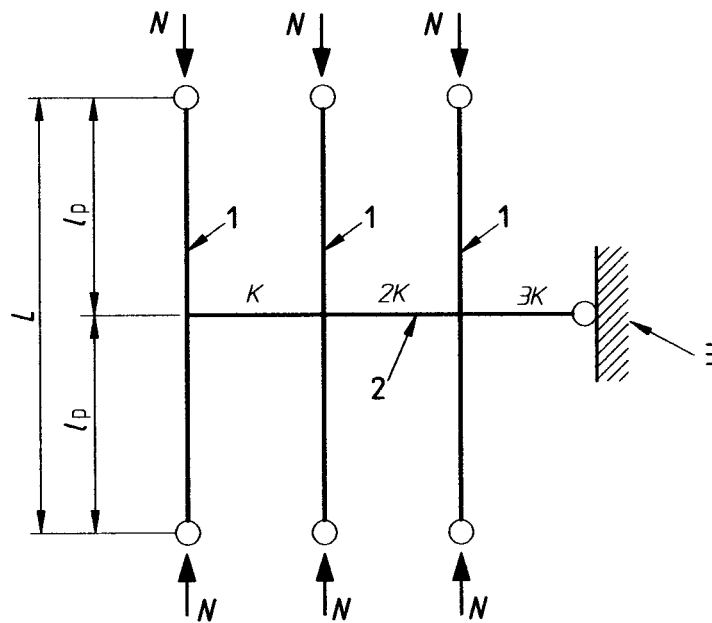
$$K = N/50 \text{ (kN)}$$

y para madera laminada encolada a:

$$K = N/100 \text{ (kN)}$$

Aquí N corresponde a la máxima fuerza de compresión que solicita las barras apoyadas por el puntal, kN.

Si un puntal debe apoyar simultáneamente varias barras comprimidas, se deben sumar las correspondientes fuerzas de apuntalamiento en cada uno de los sectores (ver Figura 14).



- 1 Elemento comprimido
- 2 Puntales
- 3 Apoyo del puntal constituido por ejemplo, por un sistema de arriostramiento, muros de albañilería, elementos de hormigón armado o similares

Figura 14 - Apuntalamiento individual de piezas comprimidas

7.4 Elementos en tracción paralela

7.4.1 Tensión de trabajo

La tensión de trabajo en tracción paralela a la fibra se calcula considerando el área neta, mediante la expresión:

$$f_{tp} = \frac{T}{A_n} \cdot 10^3 \text{ (MPa)}$$

en que:

f_{tp} : tensión de trabajo en tracción paralela, en MPa;

T : sollicitación de tracción axial, en kN;

A_n : área neta de la sección, en mm².

El área neta no puede ser menor que el 75% de la sección transversal bruta.

7.4.2 La tensión de diseño en tracción paralela a la fibra, $F_{tp,dis}$, se determina de la expresión:

$$F_{tp,dis} = F_{tp} \cdot K_H \cdot K_D \cdot K_{hf} \cdot K_{ct}$$

en que:

$F_{tp,dis}$: tensión de diseño en tracción paralela, en MPa;

F_{tp} : tensión admisible en tracción paralela, determinada según cláusula 5, en MPa;

K_H y K_D : definidos en 7.3.2.2 a);

K_{hf} : factor de modificación por altura, calculado según 7.2.2.3;

K_{ct} : factor de modificación por concentración de tensiones, calculado según 7.4.3.

7.4.3 Factor de modificación por concentración de tensiones, K_{ct}

El factor de modificación que considera el efecto de las concentraciones de tensiones en regiones traccionadas de la madera con perforaciones, vaciados, entalladuras, etc., se puede obtener de Tabla 19.

Tabla 19 - Valores del factor de modificación por concentración de tensiones, K_{ct}

Tipo de debilitamiento	Madera aserrada	Madera laminada encolada
Perforaciones pequeñas y uniformemente distribuidas (clavos)	0,8	0,9
Perforaciones individuales mayores (pernos)	0,7	0,8
Conectores de anillo	0,5	0,6
Ranuras longitudinales: espesor ≤ 5 mm	0,8	0,85
Ranuras longitudinales: espesor ≤ 10 mm	0,7	0,8

7.4.4 Empalmes y uniones

Los empalmes y uniones se deben materializar respetando la simetría con respecto al o los ejes del elemento traccionado. Adicionalmente, las piezas laterales que queden solicitadas excéntricamente se deben diseñar para 1,5 veces la fuerza de tracción correspondiente.

7.5 Elementos en compresión normal a la fibra

7.5.1 Tensión de trabajo

La tensión de trabajo por aplastamiento en superficies de apoyo, solicitadas ortogonalmente a la fibra, se determina sobre la base del área neta aplastada según la expresión siguiente:

$$f_{cn} = \frac{R}{A_n}$$

en que:

f_{cn} : tensión de trabajo por aplastamiento, en MPa;

R : carga aplicada, en N;

A_n : sección neta aplastada, en mm².

7.5.2 Tensión de diseño

La tensión de diseño en compresión normal a la fibra se determina según la expresión siguiente:

$$F_{cn,dis} = F_{cn} \cdot K_H \cdot K_{cn}$$

en que:

$F_{cn,dis}$: tensión de diseño en compresión normal a la fibra, en MPa;

F_{cn} : tensión admisible en compresión normal a la fibra calculada según 5.2.4, en MPa;

K_H : definido en 7.3.2.2 a);

K_{cn} : factor de modificación por aplastamiento, calculado según 7.5.3.

7.5.3 Factor de modificación por aplastamiento, K_{cn}

7.5.3.1 En todo elemento solicitado en compresión normal a la fibra y cuya superficie aplastada está distanciada de otra en una magnitud, d , mayor o igual que 150 mm, se puede incrementar el valor de la tensión admisible, en compresión normal siempre que se cumplan las restricciones siguientes (ver Figura 15).

- i) La longitud, l , o diámetro de la superficie aplastada del elemento, medida en dirección a la fibra, no excede de 150 mm:

$$l \leq 150 \text{ mm}$$

- ii) La distancia, s , entre la superficie aplastada y el extremo del elemento (ver Figura 15), medida en la dirección de la fibra cumple con:

$$s \geq 100 \text{ mm} \quad \text{si: } h > 60 \text{ mm}$$

$$s \geq 75 \text{ mm} \quad \text{si: } h \leq 60 \text{ mm}$$

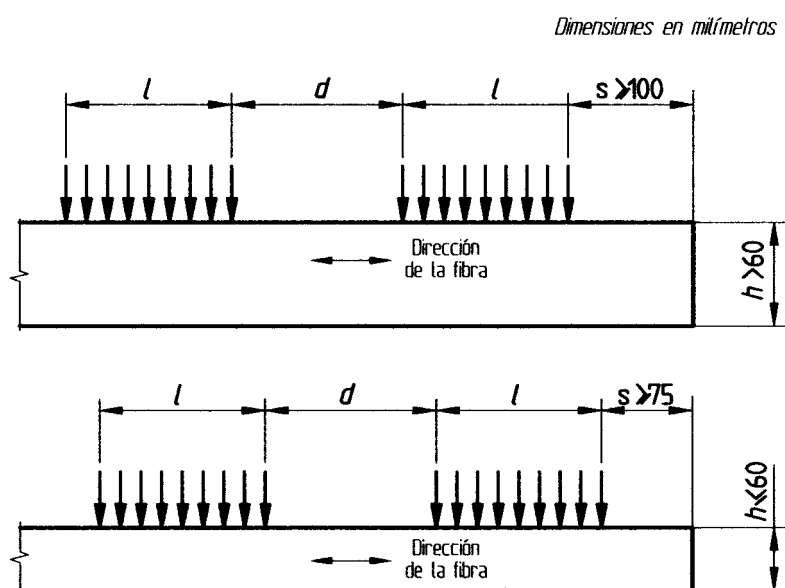


Figura 15 - Superficie solicitada en compresión normal

NCh1198

7.5.3.2 El factor de modificación, K_{cn} , que incrementa la tensión admisible de compresión normal se calcula con:

$$K_{cn} = \left(\frac{150}{l} \right)^{1/4} \leq 1,80$$

7.5.3.3 Si en una pieza no se satisfacen los requisitos establecidos en 7.5.3.1, el factor de modificación toma el valor:

$$K_{cn} = 0,80$$

7.5.4 Estimación de aplastamientos en piezas de Pino radiata

El aplastamiento, en mm, que experimenta la superficie de una pieza de madera aserrada de Pino radiata sometida a una tensión uniforme de compresión normal a la fibra se puede estimar por medio de las expresiones:

$$\delta_{ef} = \delta_e + 0,4 \text{ mm} \quad \text{para piezas secas } (H = 12\%)$$

$$\delta_{ef} = \delta_e + 0,2 \text{ mm} \quad \text{para madera con } H \geq 20\%$$

con $\delta_e = \frac{f_{ap}}{E_{cn,h}}$ donde, f_{ap} corresponde a la tensión efectiva de aplastamiento y $E_{cn,h}$ al índice de aplastamiento perpendicular a la fibra por unidad de altura de escuadría, adecuado al contenido de humedad de la madera.

En situaciones en que se desee estimar el aplastamiento con un margen de error asociado al percentil del 95% se recomienda aplicar las expresiones siguientes:

$$\delta_{ef,95\%} = \delta_e + 0,8 \text{ mm} \quad \text{para piezas secas } (H = 12\%)$$

$$\delta_{ef,95\%} = \delta_e + 0,7 \text{ mm} \quad \text{para madera con } H \geq 20\%$$

La aplicación de las expresiones anteriores exige el cumplimiento de las condiciones de espaciado especificadas en 7.5.3.1.

7.6 Elementos sometidos a esfuerzos combinados

7.6.1 Flexión y tracción axial

Las piezas solicitadas simultáneamente por flexión y tracción axial se deben dimensionar de manera que se verifique para:

a) Zona traccionada:

$$\frac{f_{tp}}{F_{tp, dis}} + \frac{f_f}{F_{ft, dis}} \leq 1,0$$

y para

b) Zona comprimida:

$$\frac{f_f - f_{tp}}{F_{fv, dis}} \leq 1,0$$

en que:

f_{tp} : tensión de trabajo por tracción paralela (según 7.4.1), en MPa;

f_f : tensión de trabajo por flexión (según 7.2.2.1), en MPa;

$F_{tp, dis}$: tensión de diseño para tracción paralela (según 7.4.2), en MPa;

$F_{ft, dis}$: tensión de diseño en flexión, en el borde traccionado y calculada según 7.2.2.2 a), en MPa;

$F_{fv, dis}$: tensión de diseño en flexión considerando efectos de inestabilidad por volcamiento calculada según 7.2.2.2 b), en MPa.

7.6.2 Flexión y compresión paralela

Las piezas sometidas a una combinación de flexión respecto a uno o ambos ejes principales y a compresión axial (ver Figura 16), se deben dimensionar de manera que se verifique la expresión siguiente:

$$\left(\frac{f_c}{F_{c\lambda, dis}} \right)^2 + \frac{f_{fx}}{\left(1 - \frac{f_c}{F_{cEx}} \right) \cdot F_{fx, dis}} + \frac{f_{fy}}{\left[1 - \frac{f_c}{F_{cEy}} - \left(\frac{f_{fx}}{F_{fE}} \right)^2 \right] \cdot F_{fy, dis}} \leq 1$$

NCh1198

en que:

$$f_c < F_{cEx} = \frac{3,6 \cdot E_{x,dis}}{\lambda_x^2} \quad : \quad \text{para flexión simple y desviada;}$$

$$f_c < F_{cEy} = \frac{3,6 \cdot E_{y,dis}}{\lambda_y^2} \quad : \quad \text{para flexión desviada;}$$

$$f_{fx} < F_{fE} = 0,44 \frac{E_{y,dis}}{\lambda_v^2} \quad : \quad \text{para flexión desviada;}$$

en que:

$$f_c \quad : \quad \text{tensión efectiva de compresión paralela a la fibra;}$$

$$f_{fx} \quad : \quad \text{tensión efectiva de flexión de canto (carga de flexión aplicada sobre el canto de la pieza);}$$

$$f_{fy} \quad : \quad \text{tensión efectiva de flexión de cara (carga de flexión aplicada sobre la cara de la pieza);}$$

$$F_{c\lambda,dis} \quad : \quad \text{tensión de diseño admisible en compresión paralela modificada por la esbeltez mayor;}$$

$$F_{fx,dis} \quad : \quad \text{tensión de diseño admisible en flexión para cargas aplicadas sobre el canto;}$$

$$F_{fy,dis} \quad : \quad \text{tensión de diseño admisible en flexión para cargas aplicadas sobre la cara;}$$

$$E_{x,dis} \quad : \quad \text{módulo de elasticidad de diseño para flexión con respecto al eje x-x;}$$

$$E_{y,dis} \quad : \quad \text{módulo de elasticidad de diseño para flexión con respecto al eje y-y;}$$

$$\lambda_x = \frac{L_{Px}}{i_x} \quad : \quad \text{esbeltez condicionada por los puntos de apoyo que restringen el pandeo en el plano de flexión inducida por cargas actuantes sobre el canto;}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{Py}}{i_y} \quad : \quad \text{esbeltez condicionada por los puntos de apoyo que restringen el pandeo en el plano de flexión inducida por cargas actuantes sobre la cara;}$$

$$\lambda_v = \sqrt{\frac{l_v \cdot h}{b^2}} \quad : \quad \text{esbeltez de volcamiento, calculada según 7.2.1.8;}$$

$$F_{fE} \quad : \quad \text{tensión de diseño de volcamiento elástico en vigas.}$$

7.6.3 Flexión y compresión excéntrica

En Anexo Q se presenta la expresión general de interacción que combina los efectos de flexión desviada y compresión axial excéntrica.

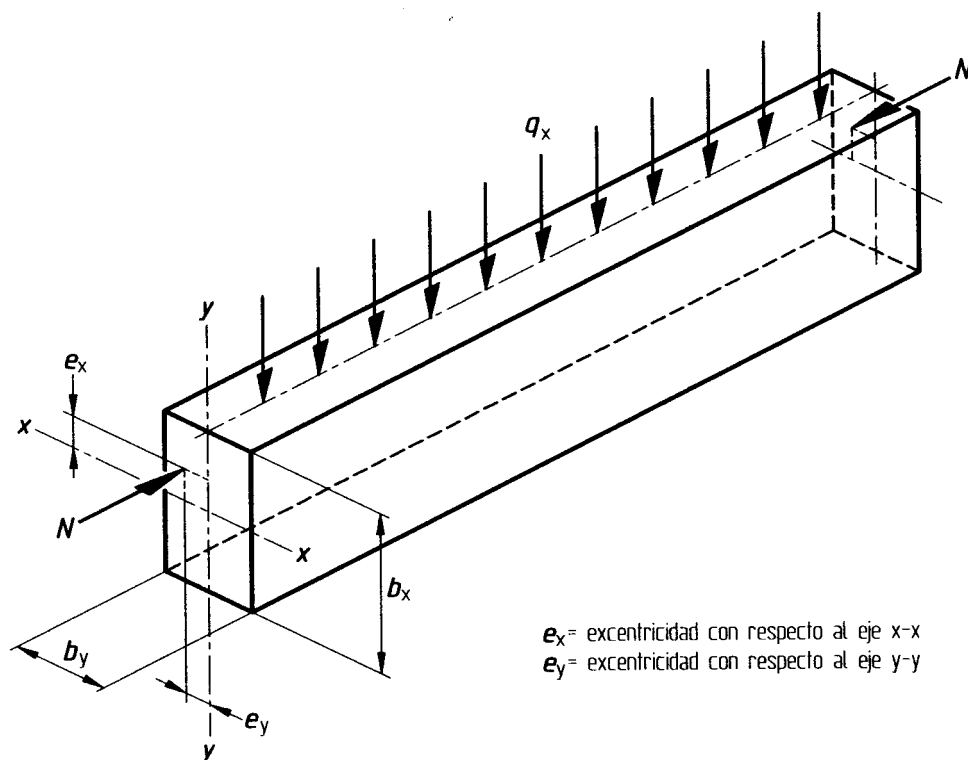


Figura 16 - Solicitaciones de flexión y compresión excéntricas

8 Dimensionamiento de piezas estructurales de sección transversal circular

8.1 Generalidades

8.1.1 Si se usan piezas de sección circular como elementos estructurales, sin otra elaboración que el descortezado, como es el caso de postes, pilotes o componentes de una estructura, el procedimiento de diseño debe ser el especificado en cláusula 7, salvo las consideraciones que se establecen en esta cláusula.

NCh1198

8.1.2 Las piezas estructurales de sección circular se consideran en estado verde o seco, de acuerdo al contenido de humedad que ellas tengan en el momento de la fabricación o instalación y a la humedad que alcancen en servicio, según lo prescrito en Tabla 20.

Tabla 20 - Condición considerada para la determinación de tensiones admisibles, módulo de elasticidad, diseño de uniones y dimensiones de piezas con sección transversal circular

Condición de la madera en la fabricación o instalación	Condición de la madera en servicio	Condición considerada para la determinación de tensiones admisibles y módulo elástico	Condición considerada para el diseño de las uniones	Dimensiones a usar en el diseño (o dimensiones reales medidas)
Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
Verde	Seco	Verde	Verde	Verde
Seco	Seco	Seco	Seco	Seco
Seco	Verde	Verde para el módulo de elasticidad, seco para las tensiones	Verde	Seco

Verde : $H \geq 20\%$
 Seco : $H < 20\%$

8.2 Tensiones admisibles y módulos de elasticidad

Las tensiones admisibles y módulo de elasticidad a usar en piezas con sección transversal circular, que cumplen con las especificaciones de NCh2122 son las incluidas en Tabla 21.

Tabla 21 - Tensiones admisibles y módulo de elasticidad para piezas estructurales de sección transversal circular, usadas en su forma natural y en estado verde

Especie maderera	Tensión admisible de					Módulo de elasticidad
	Flexión	Tracción paralela	Compresión	Cizalle	Compresión normal	
Pino radiata	13,8	8,3	5,4	0,71	2,45	6 423
Eucalipto	32,5	19,5	17,7	1,73	8,47	12 425

8.3 Factores de modificación

8.3.1 Por duración de carga

Se debe aplicar el factor definido en 6.1.2.

8.3.2 De aplicación particular

Son los especificados en 8.3.2.1, 8.3.2.2 y 8.3.2.3.

8.3.2.1 Factor de modificación por desbastado o alisaduras, K_d

Cuando una pieza de madera de sección transversal circular es transformada de su forma natural a una forma cilíndrica o cónica mediante un proceso mecánico (alisado o desbastado) o cuando se extrae de la pieza, material para obtener una superficie plana, las tensiones admisibles y el módulo elástico deben multiplicarse por el valor que entrega Tabla 22.

Tabla 22 - Factor de modificación por desbastado o alisadura, K_d

Aplicar a tensión admisible de	Valor de K_d	
	Pino radiata	Eucalipto
Flexión	0,75	0,85
Compresión paralela	0,90	0,92
Compresión normal	1,00	1,00
Cizalle	1,00	1,00
Tracción paralela	0,75	0,85
Módulo de elasticidad en flexión	0,90	0,95

8.3.2.2 Factor de modificación por preservación que involucra tratamiento de presión y vacío, K_{pv}

Las tensiones admisibles y el módulo de elasticidad de piezas que sean tratadas con métodos de preservación que involucren tratamiento de presión y vacío deben ser afectados por el factor que entrega Tabla 23.

Tabla 23 - Factor de modificación por preservación con tratamiento de presión y vacío, K_{pv}

Aplicar a tensión admisible de	Valor de K_{pv}	
	Pino radiata	Eucalipto
Flexión	0,85	0,75
Compresión paralela	0,90	0,80
Compresión normal	0,90	0,80
Cizalle	0,90	0,80
Tracción paralela	0,85	0,75
Módulo de elasticidad en flexión	0,95	0,90

8.3.2.3 Factor de modificación por uso en estado seco, K_s

Las tensiones admisibles y módulo de elasticidad de piezas de sección transversal circular utilizadas en estado seco, deben quedar afectados por los valores que se incluyen en Tabla 24.

Tabla 24 - Factor de modificación por uso en estado seco, K_s

Aplicar a tensión admisible de	Valor de K_s	
	Pino radiata	Eucalipto
Flexión	1,25	1,25
Compresión paralela	1,25	1,25
Compresión normal	1,25	1,25
Cizalle	1,12	1,06
Tracción paralela	1,25	1,25
Módulo de elasticidad en flexión	1,12	1,12

8.4 Elementos en flexión

La tensión efectiva de flexión en la sección de momento de flexión máximo debe satisfacer la condición siguiente:

$$f_f = \frac{32 \cdot M_{m\acute{a}x.} \cdot 10^6}{\pi D^3} = \frac{32 \cdot \pi^2 \cdot M_{m\acute{a}x.} \cdot 10^6}{C^3} \leq F_{f,dis}$$

en que:

f_f : tensión de trabajo por flexión, en MPa;

D : diámetro del poste en la sección de momento máximo, en mm;

C : perímetro del poste en la sección de momento máximo, en mm;

$M_{m\acute{a}x.}$: momento máximo que para un poste empotrado en terreno compactado se supone actuando a $\frac{1}{4}$ de la profundidad de empotramiento bajo la línea de tierra. Para un poste empotrado en hormigón el momento máximo se supone actuando en la línea de tierra (superficie superior del hormigón), en kN · m;

$F_{f,dis}$: tensión de diseño en flexión, calculada en 8.2 y 8.3, en MPa.

8.5 Elementos en compresión paralela

8.5.1 La tensión efectiva de compresión en el extremo superior del poste debe satisfacer la condición siguiente:

$$f_{cp} = \frac{N \cdot 10^3}{A_{ES}} \leq F_{cp,dis}$$

en que:

f_{cp} : tensión efectiva de compresión paralela a las fibras calculada según 7.3.2.1, en MPa;

N : carga aplicada en el poste, en kN;

A_{ES} : sección transversal en el extremo superior del poste, en mm²;

$F_{cp,dis}$: tensión de diseño en compresión paralela, calculada según 7.3.2.2 a).

8.5.2 La tensión de trabajo por compresión en elementos de inercia variable o constante debe satisfacer la condición siguiente:

$$f_{cp} = \frac{N}{A_{crit}} \cdot 10^3 \leq F_{cp\lambda,dis}$$

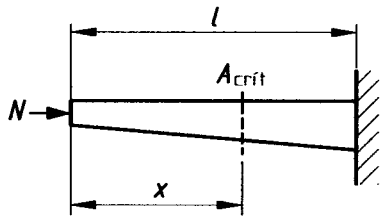
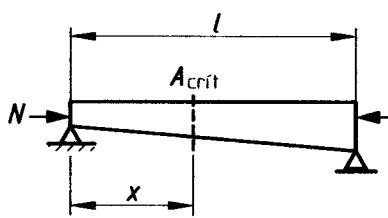
en que:

f_{cp} y N : tienen el significado de 8.5.1;

A_{crit} : sección transversal crítica de un poste. Si él tiene inercia constante corresponde a su sección, si tiene inercia variable, ver Tabla 25, en mm²;

$F_{cp\lambda,dis}$: tensión de diseño en compresión paralela calculada según 7.3.2.2 b) con las propiedades de la sección crítica, en MPa.

Tabla 25 - Ubicación de la sección crítica, A_{crit} , en postes de sección transversal circular

Tipo de sección	Tipo de apoyo	Distancia, x , desde el extremo de menor a mayor diámetro a la sección crítica A_{crit}
Variable		$x = 0,6 l$
		$x = 0,43 l$
	Otra condición	$x = 0,33 l$
Constante	Cualquiera	Determinada mediante análisis estructural

9 Uniones en la madera estructural

9.1 Generalidades

9.1.1 Las disposiciones de la presente cláusula se aplica al diseño estructural que hace uso de elementos mecánicos, tales como: clavos, tirafondos, pernos, barras de acero, tornillos y conectores para madera.

9.1.2 Definiciones

9.1.2.1 Elementos mecánicos de unión

Son aquellos que, al quedar solicitados por fuerza de cizalle, admiten corrimientos relativos entre las piezas conectadas, los que se originan como consecuencia de las deformaciones por aplastamiento de la madera en la zona de contacto entre ella y el medio de unión, y adicionalmente, en el caso de medios de unión de forma cilíndrica, por las deformaciones de flexión que ellos experimentan.

Dependiendo de su disposición en la unión pueden, también, quedar solicitados según su dirección axial.

9.1.2.2 Carga admisible

Capacidad de carga de un medio de unión, que se deriva de un ensayo normalizado de una unión representativa, considerando un factor de ajuste 2,5 con respecto a la carga característica.

9.1.2.3 Carga característica

Carga resistida por al menos el 95% de las probetas ensayadas.

9.1.2.4 Pieza solicitante

Pieza constituyente de una unión que presenta la menor desviación entre la dirección de la fuerza traspasada y la dirección de la fibra.

9.1.2.5 Pieza solicitada

Pieza constituyente de una unión que presenta la mayor desviación entre la fuerza traspasada y la dirección de la fibra.

9.1.2.6 Borde cargado

Borde de la pieza que se encuentra afectado por la acción de la fuerza que transmite el medio de unión o por alguna de las componentes de esta fuerza, paralela o normal a la dirección de la fibra.

NCh1198

9.1.2.7 Borde descargado

Borde que no corresponde a la definición anterior.

9.1.3 Exigencias y especificaciones

En el diseño de uniones se debe tener presente las exigencias y especificaciones de 4.3.6, 7.1.4, 7.2.1.5, 7.2.6.8, 7.3.4, 7.4.4 y Tabla 18 y de cualquier otra disposición de esta norma que resulte pertinente.

9.1.4 Espaciamientos

Espaciamiento es la distancia entre centros de medios de unión adyacentes o entre centros de medios de unión vecinos a un borde y éste.

9.1.5 Designaciones de espaciamientos

- a) Espaciamiento mínimo entre medios de unión medido en dirección paralela a la fibra de la pieza: s_p .
- b) Espaciamiento mínimo entre medios de unión medido en dirección normal a la fibra de la pieza: s_n .
- c) Espaciamiento mínimo entre un medio de unión y un borde cargado (ver 9.1.2.6) medido en dirección paralela a la fibra de la pieza: s_{bcp} .
- d) Espaciamiento mínimo entre un medio de unión y un borde cargado medido en dirección normal a la fibra de una pieza: s_{bcn} .
- e) Espaciamiento mínimo entre un medio de unión y un borde descargado (ver 9.1.2.7) medido en dirección paralela a la fibra de la pieza: s_{bdp} .
- f) Espaciamiento mínimo entre un medio de unión y un borde descargado medido en dirección normal a la fibra de la pieza: s_{bdn} .

Estas designaciones se encuentran graficadas en Figura 17 tanto para la pieza solicitante como para la solicitada.

9.1.6 Grado

Las cargas admisibles para medios de unión de una determinada especie son aplicables sobre todos los grados estructurales de dicha especie.

9.1.7 Ejecución de uniones

Las uniones se deben ensamblar de modo que las superficies de las piezas queden en pleno contacto. Las estructuras que se construyen con madera con un contenido de humedad mayor que 19% deben ser inspeccionadas regularmente en intervalos de tiempo que no excedan de seis meses, hasta que resulte aparente que las contracciones en la madera son despreciables. En cada inspección se debe proceder a reapretar las uniones hasta que las superficies de las piezas vuelvan a quedar en estrecho contacto.

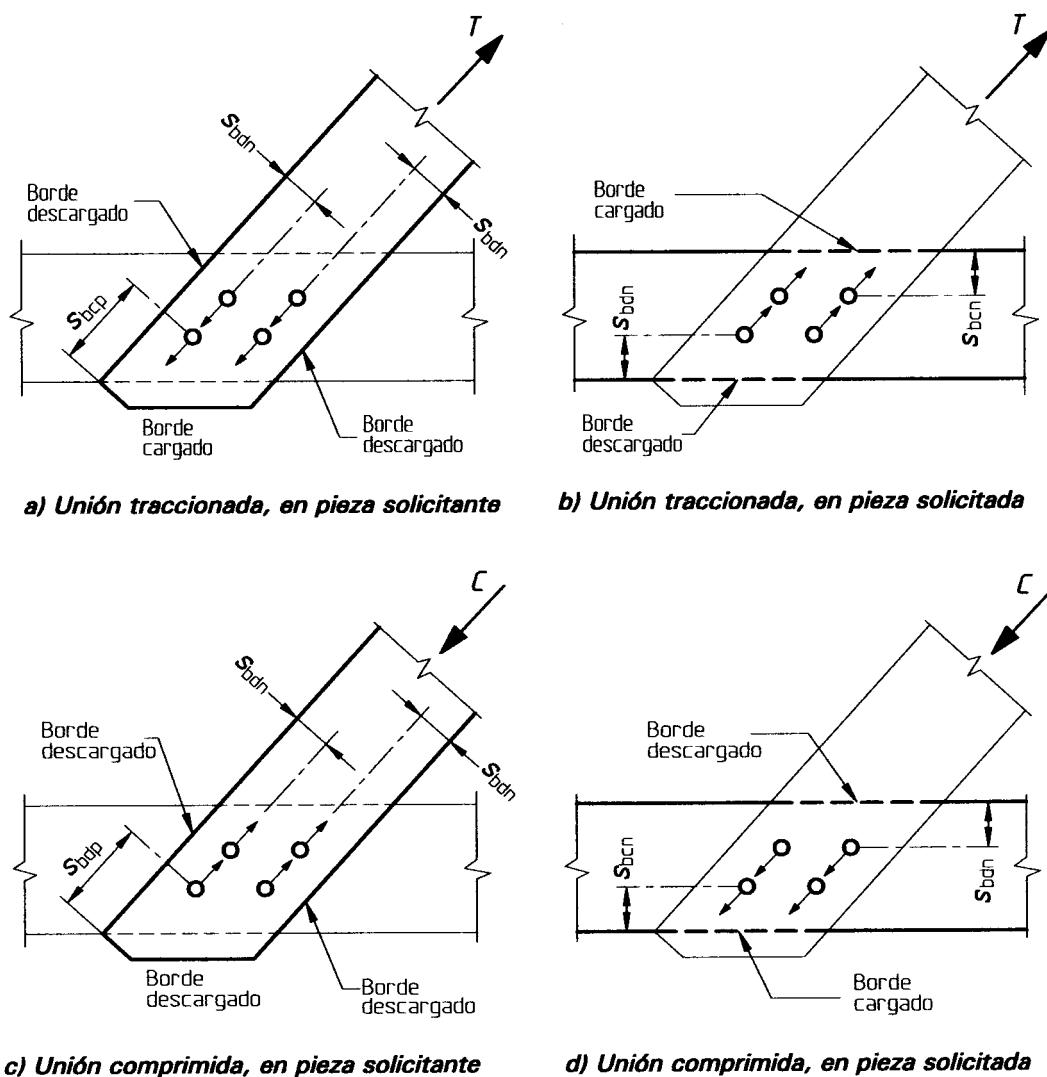


Figura 17 - Designaciones de espacimientos y bordes

9.2 Verificaciones tensionales en uniones

9.2.1 Sección transversal neta

9.2.1.1 La capacidad soportante de carga de las piezas se debe verificar en la menor sección transversal neta que condicione la ejecución de las uniones, deduciendo de la sección transversal bruta las áreas de perforaciones o de cualquier otra remoción de madera.

9.2.1.2 El área neta requerida en piezas traccionadas y comprimidas, se determina dividiendo la carga total que se traspasa a través de la sección transversal neta crítica, por el correspondiente valor de diseño en tracción, $F_{tp,dis}$, o compresión paralela a la fibra, $F_{cp,dis}$ para la especie y grado del material empleado. En el primer caso, $F_{tp,dis}$ debe incorporar el factor de modificación por concentración de tensiones establecido en Tabla 19.

9.2.1.3 Para solicitaciones paralelas a la dirección de la fibra con pernos, barras de acero, tirafondos o conectores alineados en forma alternada, éstos se consideran dispuestos sobre una misma sección transversal crítica, salvo que en cada hilera el espaciamiento entre los medios de unión adyacentes sea mayor o igual a:

- i) ocho diámetros, en el caso de pernos, barras de acero y tirafondos;
- ii) dos diámetros, en el caso de conectores.

9.2.1.4 En el extremo de las piezas traccionadas, unidas mediante pernos, pasadores de acero, tirafondos que penetren más del 65% del madero verificado y conectores, adicionalmente a la verificación de la sección transversal neta crítica, se debe controlar la capacidad admisible de carga de la madera por concepto de desgarro de hileras y por concepto de desgarro de bloque. En Anexo Q se presenta un criterio de verificación integral de la capacidad de carga de la madera en los extremos de piezas traccionadas.

9.2.1.5 Si se solicita piezas de sección transversal rectangular por fuerzas orientadas en forma perpendicular a la dirección de la fibra (ver por ejemplo Figura 18), la verificación de las tensiones de tracción normal a la dirección de la fibra inducidas se puede llevar a cabo de acuerdo con el criterio siguiente: para uniones con $a/h > 0,7$ se puede obviar la verificación. Uniones transversales con $a/h \leq 0,2$ se aceptan sólo para solicitaciones eventuales de corta duración, como las inducidas por el efecto del viento. Para $a/h \leq 0,7$ se puede aplicar el criterio que se presenta en Anexo S. En las condicionantes anteriores son:

- a = distancia entre un medio de unión de la fila más alejada del borde cargado y dicho borde;
- h = altura de la pieza.

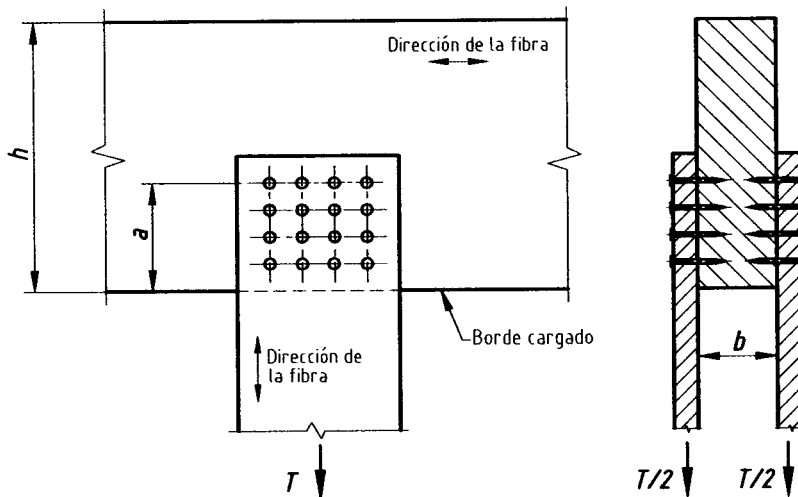


Figura 18 - Unión con pieza solicitada normal a la dirección de la fibra

9.2.2 Tensiones de cizalle

En uniones solicitadas por fuerzas de corte y materializadas con pernos, tirafondos, barras de acero o conectores, se debe verificar que las tensiones de cizalle, f_{cz} , inducidas por las fuerzas de corte Q y evaluadas de acuerdo a las siguientes relaciones, no excedan los valores indicados:

- a) en uniones separadas del extremo de la pieza, por una distancia s_{bp} mayor o igual que cinco veces la altura de la misma:

$$f_{cz} = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot b \cdot h_e} \leq F_{cz, dis}$$

- b) en uniones separadas del extremo de la pieza, por una distancia s_{bp} menor que cinco veces la altura de la misma:

$$f_{cz} = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot b \cdot h_e} \left(\frac{h}{h_e} \right)^2 \leq F_{cz, dis}$$

En el caso de conectores, h_e corresponde a la altura de la pieza menos la distancia desde el borde descargado hasta el borde del conector más cercano, mientras que en el caso de pernos, tirafondos y barras de acero, h_e se evalúa deduciendo de la altura, la distancia entre el borde descargado y el centro del perno, tirafondo o barra de acero más próximo (ver Figura 19).

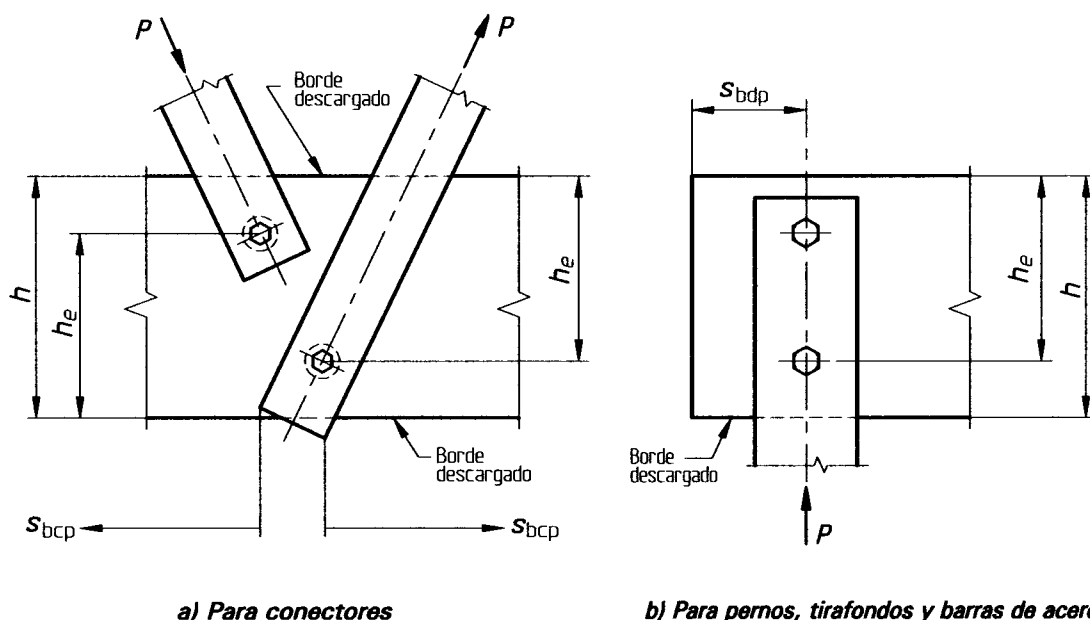


Figura 19 - Medida de h_e , para los diferentes medios de unión

NCh1198

Adicionalmente se debe verificar la sección transversal bruta de acuerdo con la relación:

$$f_{cz} = \frac{3Q}{2 \cdot b \cdot h} \leq F_{cz, dis}$$

9.2.3 Uniones excéntricas

En uniones y empalmes, los medios de unión se deben disponer, en lo posible, simétricamente con respecto al eje de las piezas.

En uniones excéntricas se debe verificar la combinación de tensiones principales (debido a las solicitaciones que transmiten las barras) y secundarias (debido al par que genera la excentricidad) de manera que no se sobrepasen los valores de diseño tanto en las piezas estructurales como en los medios de unión.

9.3 Capacidades de carga de diseño

9.3.1 Cargas admisibles

Las cargas admisibles que se indican en esta cláusula, rigen para un medio de unión individual, solicitado según la descripción del párrafo correspondiente.

9.3.2 Uniones con dos o más medios de unión

Cuando una unión contiene dos o más medios de unión del mismo tipo y de tamaño similar, exhibiendo cada uno de ellos el mismo modo de fluencia, la capacidad de carga de diseño de la unión será la suma de las capacidades de carga de diseño determinadas para cada medio de unión individual.

9.3.3 Diseño de partes metálicas

Las planchas metálicas, herrajes, anclajes y otras partes de metal se deben diseñar de acuerdo con NCh427. Como alternativa se pueden aplicar las normas norteamericanas AISC o AISI. Cuando la capacidad de una unión quede condicionada por la resistencia del metal, antes que por la resistencia de la madera, la capacidad admisible de carga del metal no debe ser ajustada por los factores de modificación definidos en esta norma. Adicionalmente, la resistencia del metal no se puede incrementar por los factores de viento y sismo en el caso de que las cargas de diseño hayan sido reducidas por los factores de combinación de cargas.

9.3.4 Uniones de piezas de madera con elementos de hormigón y de albañilería

Cuando la capacidad de una unión quede condicionada por la resistencia del hormigón o de la albañilería, antes que por la resistencia de la madera, la resistencia de estos materiales no debe ser ajustada por los factores de modificación definidos en esta norma. Adicionalmente la resistencia del hormigón y de las albañilerías no se puede incrementar por los factores de viento y sismo en el caso de que las cargas de diseño hayan sido reducidas por los factores de combinación de cargas.

9.4 Modificación de las capacidades de carga admisible

9.4.1 Aplicación de factores de modificación

Las capacidades de carga admisible se deben multiplicar por todos los factores de modificación que resulten aplicables en la determinación de las capacidades de carga de diseño de extracción lateral y de extracción directa para cada tipo de medio de unión. La carga efectiva que solicita una unión no podrá exceder la capacidad de carga de diseño de la unión.

9.4.2 Factor de modificación por duración de la carga, K_D

Las cargas admisibles tabuladas o definidas en esta cláusula son aplicables para cargas de duración normal (10 años). Cuando se consideren cargas de distinta duración, estos valores se deben multiplicar por el factor que se indica en 6.1.2, excepto en uniones en que la capacidad de carga quede condicionada por la resistencia del metal o del hormigón o albañilerías.

El factor de modificación por impacto indicado en Anexo G, sección G.3 no se debe aplicar en el diseño de uniones.

9.4.3 Factor de modificación por contenido de humedad de la madera, K_{UH}

Las expresiones de las cargas admisibles en esta cláusula son aplicables sobre medios de unión colocados en madera con un contenido de humedad no mayor que 19% y que en servicio se mantiene en esta condición, situación que corresponde a la mayor parte de las construcciones cubiertas. Para uniones en madera que no se ha secado o que se ha secado parcialmente, o cuando las uniones quedan expuesta a condiciones de servicio húmedas, los valores admisibles se deben multiplicar por los factores de modificación K_{UH} señalados en Tabla 26.

Tabla 26 - Factores de modificación por contenido de humedad de la madera, K_{UH}

Medio de unión	Condición de la madera ¹⁾		Factor de modificación
	durante la fabricación	en servicio	K_{UH}
Extracción lateral			
Pernos, tirafondo, pasadores y clavos	≤ 19%	≤ 19%	1,00
	> 19%	≤ 19%	0,40 ¹⁾
	cualquiera	> 19%	0,70
Placas metálicas dentadas	≤ 19%	≤ 19%	1,00
	> 19%	≤ 19%	0,80
	cualquiera	> 19%	0,70
Conectores ²⁾	≤ 19%	≤ 19%	1,00
	> 19%	≤ 19%	0,80
	cualquiera	> 19%	0,70
Extracción directa			
Tirafondos y tornillos	Cualquiera	≤ 19%	1,0
	Cualquiera	> 19%	0,7
Clavos	≤ 19%	≤ 19%	1,0
	> 19%	≤ 19%	0,25
	≤ 19%	> 19%	0,25
	> 19%	> 19%	1,0
<p>1) $K_{UH} = 0,7$ para medios de unión con diámetro, D, menor que 6,3 mm.</p> <p>$K_{UH} = 1,0$ para uniones consistentes de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - un único medio de unión, o - dos o más medios de unión dispuestos en una única hilera paralela a la dirección de la fibra, o - medios de unión dispuestos en dos o más hileras paralelas a la fibra, con cubrejuntas individuales para cada hilera. <p>2) En uniones con conectores, las restricciones de humedad rigen hasta una profundidad de 20 mm de la superficie.</p>			

9.4.4 Factor de modificación por temperatura, K_{UT}

Cuando las uniones queden expuestas, durante períodos prolongados, a temperaturas de hasta 67°C los valores admisibles se deben multiplicar por los factores de modificación K_{UT} señalados en Tabla 27.

Tabla 27 - Factores de modificación por temperatura, K_{Ut}

Condición de servicio	K_{Ut}		
	$T \leq 38^\circ\text{C}$	$38^\circ\text{C} < T \leq 52^\circ\text{C}$	$52^\circ\text{C} < T \leq 67^\circ\text{C}$
Seca ¹⁾	1,0	0,8	0,7
Húmeda	1,0	0,7	0,5

1) Uniones en madera con contenido de humedad 19%, y usada en condiciones permanentemente secas, como es el caso de la mayoría de las construcciones cubiertas.

2) Madera no secada, o parcialmente secada o uniones expuestas a condiciones de servicio húmedas.

9.4.5 Factor de modificación por longitud de hilera, K_u

Las capacidades admisibles de carga de extracción lateral para conectores, y pernos, pasadores y tirafondos con diámetro $D \leq 25$ mm dispuestos consecutivamente en una hilera se deben multiplicar por el siguiente factor de modificación por longitud de hilera, K_u :

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

en que:

$K_u = 1,0$ para pernos, pasadores y tirafondos con diámetro $D < 6,4$ mm;

n : número de medios de unión alineados consecutivamente según la dirección de la fuerza;

R_{EA} : menor valor entre $\frac{E_l \cdot A_l}{E_c \cdot A_c}$ y $\frac{E_c \cdot A_c}{E_l \cdot A_l}$

E_c : módulo de elasticidad del madero principal, en N/mm²;

E_l : módulo de elasticidad de los maderos laterales, en N/mm²;

A_c : sección transversal bruta del madero principal, en mm²;

A_l : suma de las secciones transversales brutas de los maderos laterales, en mm²;

$m = u - \sqrt{u^2 - 1}$;

NCh1198

$$u : 1 + C \cdot \frac{s}{2} \left[\frac{1}{E_C \cdot A_C} + \frac{1}{E_L \cdot A_L} \right];$$

s : espaciamiento entre medios de unión adyacentes, en mm;

C : módulo de corrimiento de un medio de unión individual, en N/mm;

$C = 87\,500$ N/mm, para conectores anulares y placas de corte de diámetro 100 mm;

$C = 70\,000$ N/mm, para conectores anulares y placas de corte de diámetro ≈ 65 mm;

$C = 246 \cdot D^{1.5}$ N/mm, para pernos, pasadores y tirafondos en uniones madera-madera; y

$C = 370 \cdot D^{1.5}$ N/mm, para pernos, pasadores y tirafondos en uniones madera-metal

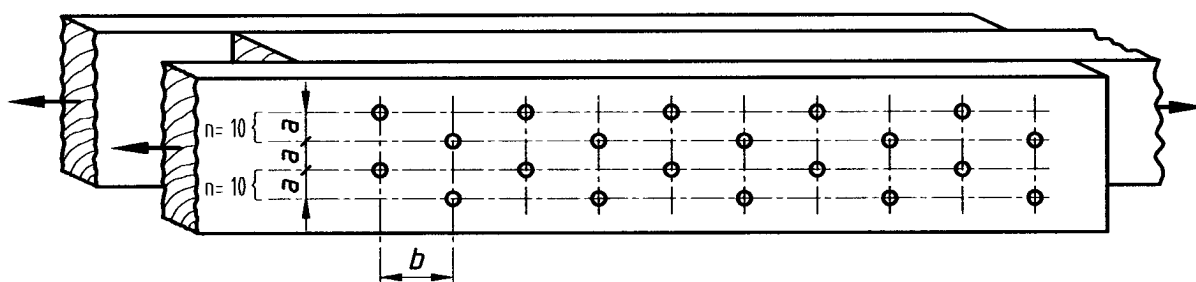
con D : diámetro del vástago, en mm.

Para determinar los factores de modificación por longitud de hilera, una hilera de medios de unión se define alternativamente como:

a) dos o más conectores de anillo o de placa de corte alineados según la dirección de la sollicitación;

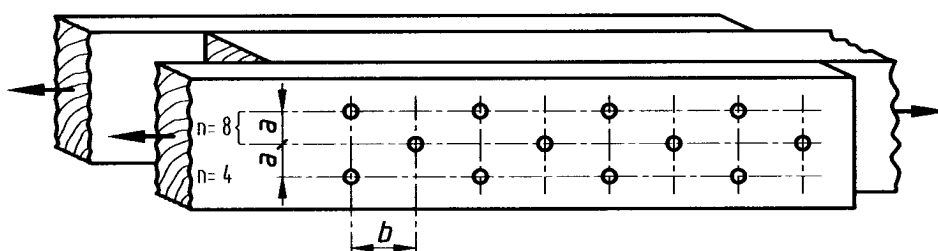
b) dos o más pernos, pasadores o tirafondos de igual diámetro solicitados en cizalle simple o múltiple y alineados según la dirección de la sollicitación.

Cuando los elementos de unión de hileras adyacentes se dispongan en forma alternada y la distancia entre hileras adyacentes sea menor que $\frac{1}{4}$ de la separación mínima entre dos medios de unión vecinos de dos hileras adyacentes medida según la dirección de las hileras, para la determinación de los factores de longitud de hilera, las hileras adyacentes se considerarán como una sola (ver Figura 20). Para uniones constituidas de un número par de hileras, este criterio se aplicará sobre cada par. Para un número impar de hileras, se debe aplicar el criterio anterior sobre cada par de hileras considerándose la restante como una hilera complementaria (ver Figura 21).



Si $a < b/4$: considerar dos hileras de 10 elementos de unión

Figura 20- Elementos de unión dispuestos en forma alternada - Número par de hileras

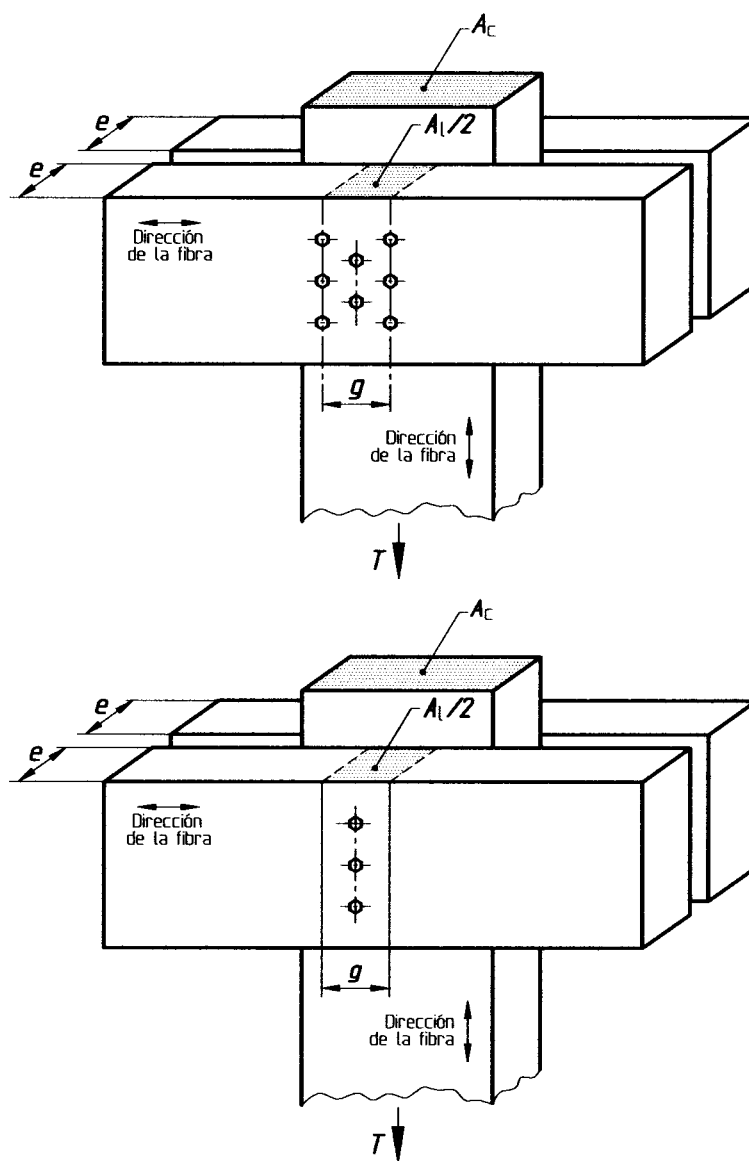


Si $a < b/4$: considerar una hilera de ocho elementos de unión y una hilera de cuatro elementos de unión

Figura 21 - Elementos de unión dispuestos en forma alternada - Número impar de hileras

En la determinación de K_u , en el cálculo de A_m y A_s se deberán considerar las secciones transversales brutas, sin aplicar reducciones por concepto de debilitamiento inherente a las perforaciones. Cuando una pieza queda solicitada según la dirección perpendicular a la fibra, el área equivalente a su sección transversal se obtiene como el producto del espesor de la pieza por el ancho definido por las hileras extremas de la unión. Cuando los medios de unión se disponen en una única hilera, el ancho se considera como el espaciamiento mínimo entre medios de unión, s_p , medido según la dirección de la fibra (ver Figura 22).

En el extremo de las piezas traccionadas, unidas mediante pernos, barras de acero (pasadores), tirafondos que penetren más del 65% del madero verificado y conectores, adicionalmente a la verificación de la sección transversal neta crítica, se debe controlar la capacidad admisible de carga de la madera por concepto de desgarro de hileras y por concepto de desgarro de bloque. En Anexo Q se presenta un criterio de verificación integral de la capacidad de carga de la madera en los extremos de piezas traccionadas.



- | | |
|-------------------------|---|
| e espesor de la pieza | s_p espaciamiento mínimo según la dirección de la fibra |
| g ancho de la unión | A_c, A_l áreas de sección transversal de madera central y madera laterales, respectivamente |

Figura 22 - Áreas de sección transversal para la aplicación de Tablas 30 y 31

9.5 Protección anticorrosiva

9.5.1 Los elementos mecánicos de unión requieren de una adecuada protección anticorrosiva que dependerá de las condiciones ambientales a las cuales ellos quedan expuestos (ver Tabla 28).

Tabla 28 - Exigencias mínimas de protección anticorrosiva para medios de unión de acero

Tipo de medios de unión	Campo de aplicación		
	Recintos con humedad relativa media $\leq 70\%$ y construcciones cubiertas y abiertas sometidas a ataques corrosivos leves ⁶⁾	Construcciones techadas y abiertas ante ataques corrosivos medianos ⁷⁾	Exposición directa a la intemperie y recintos con humedad relativa media $> 70\%$ y construcciones cubiertas sometidas a ataques corrosivos intensos ⁸⁾
Mínimo recubrimiento medio de zinc, en g/m^2			
Conectores, pernos, barras, clavos, tornillos	No se requiere protección anticorrosiva ^{1), 2)}		400 ³⁾
Grapas	50	Aceros inoxidable	Aceros inoxidable
Planchas de acero de espesor, e , $e \leq 3 \text{ mm}$ ⁴⁾	275	275	Acero inoxidable o 400
Planchas de acero de espesor, e , $3 \text{ mm} < e \leq 5 \text{ mm}$	100	400	Acero inoxidable o 600
Planchas dentadas	275 ⁵⁾	350	Acero inoxidable

1) Para conectores unilaterales se debe aplicar un recubrimiento medio de al menos 400 g/m^2 .

2) Para uniones de madera con planchas de acero ubicadas externamente, los clavos o tornillos deben tener un recubrimiento medio de al menos 50 g/m^2 .

3) Ante solicitaciones climáticas extraordinarias se deben adoptar medidas adicionales, condicionadas por la solicitud.

4) Las planchas de acero de espesor, e , $e \leq 3 \text{ mm}$ se pueden usar sin el proceso de protección en sus bordes recortados con posterioridad al tratamiento.

5) Zincado medio en ambas caras.

6) Correspondiente a atmósferas rurales, ver Anexo P.

7) Correspondiente a atmósferas urbanas, ver Anexo P.

8) Correspondiente a atmósferas industriales, ver Anexo P.

9.5.2 En lugar de la protección anticorrosiva dada por Tabla 28, se acepta cualquier otra medida de efecto equivalente.

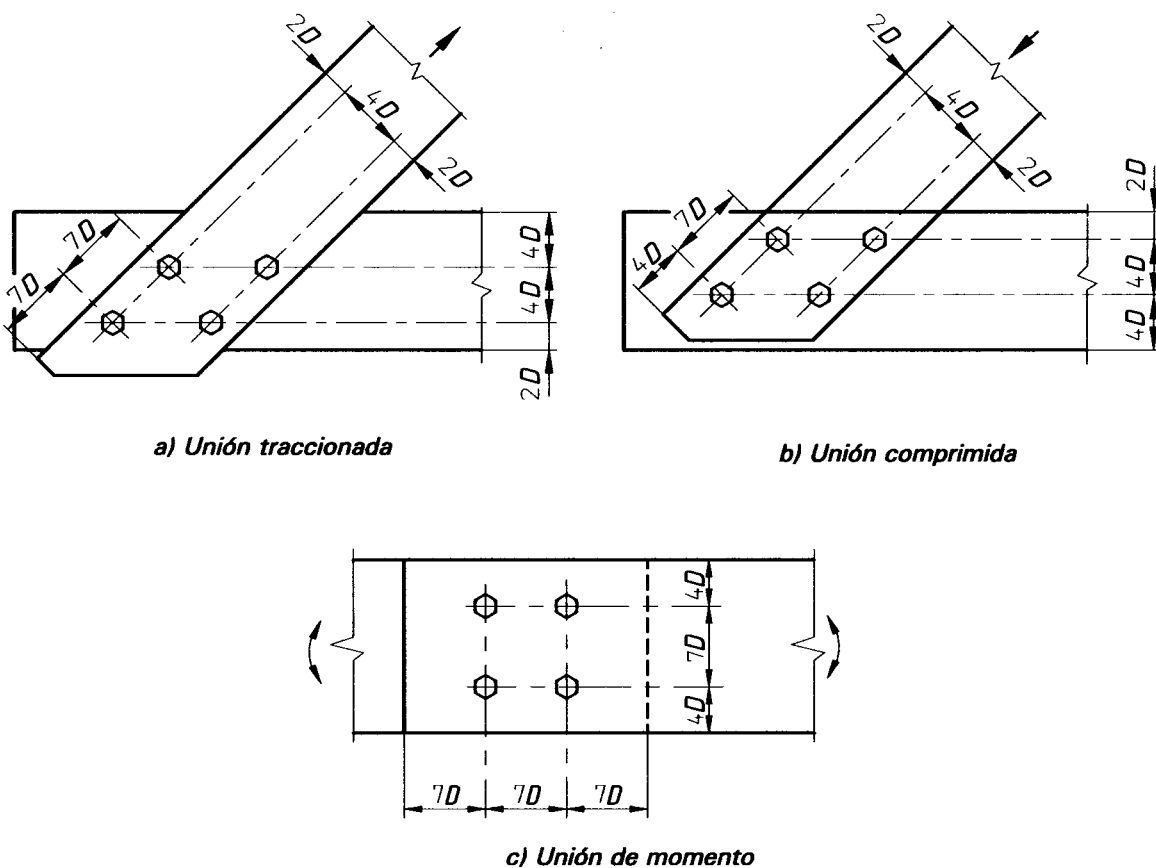
9.5.3 Los medios de unión constituidos de materiales resistentes a la corrosión pueden ser empleados en todos los campos de aplicación establecidos en Tabla 28.

9.6 Medios de unión de forma cilíndrica

9.6.1 Generalidades

9.6.1.1 Las siguientes especificaciones son aplicables sobre medios de unión cilíndricos de acero que atraviesan perpendicularmente los planos de cizalle de la unión y que quedan solicitados preponderantemente en flexión induciendo sobre la madera tensiones de aplastamiento.

9.6.1.2 Pernos



D: diámetro del vástago

Figura 23 - Espaciamientos mínimos entre pernos, pasadores y tirafondos y a los bordes

a) Estas especificaciones son aplicables a pernos que cumplen con NCh300 y asumen que los agujeros de los pernos se ejecutan con un diámetro que permite una colocación fácil de los mismos y que el centrado de los agujeros en el madero central y en las piezas laterales se realiza en forma cuidadosa y precisa.

- b) Los agujeros de los pernos se deben mayorar con respecto al diámetro de éstos, en una magnitud dependiente del tamaño del perno y de las condiciones de servicio, de acuerdo con lo establecido en Tabla 29.

Tabla 29 - Mayoración de los diámetros de los agujeros respecto al diámetro del perno, en mm

Diámetro del perno D mm	Humedad de la madera en condiciones de servicio			
	$H = 6\%$	$H = 12\%$	$H = 15\%$	$H \geq 20\%$
$D \leq 20$	1,6	0,8	0,8	0,8
$20 < D \leq 24$	2,5	1,6	0,8	0,8
$24 < D \leq 30$	2,5	1,6	1,6	0,8

- c) Para uniones estructurales se deben especificar arandelas (golillas) según Tabla 30.

Tabla 30 - Dimensiones mínimas de arandelas para uniones apernadas estructurales

Diámetro del perno D	mm	10	12	16	20	> 20
Espesor de arandela	mm	5	5	6	6	8
Diámetro externo (arandela circular)	mm	50	55	65	75	95
Lado (arandela cuadrada)	mm	45	50	60	65	85

- d) El diámetro nominal, D , de los pernos debe estar comprendido entre 10 mm y 25,4 mm, ambos valores inclusive.
- e) En cada unión estructural se exige una disposición mínima de dos pernos. Se exceptúa de esta cláusula a las uniones articuladas en las que resulta suficiente un único perno, cuando éste no queda solicitado en un porcentaje mayor que 50% de su capacidad de diseño.
- f) Los espaciamientos mínimos que se deben respetar en las uniones con pernos para poder desarrollar completamente las capacidades de cargas admisibles, que se esquematizan en Figura 23, se indican en Tablas 31 y 32.
- g) Los espaciamientos mínimos medidos según la dirección de la fibra se pueden reducir hasta $4 \cdot D$, cuando la capacidad admisible de carga se reduzca proporcionalmente.

Tabla 31 - Espaciamientos mínimos de pernos y pasadores a los bordes

Naturaleza del borde	Desangulación fuerza perno - fibra madera	
	0°	90°
Cargado	$s_{bcp} = 7 \cdot D$	$s_{bcn} = 4 \cdot D$
Descargado	$s_{bdp} = 4 \cdot D$	$s_{bdn} = 2 \cdot D$

Tabla 32 - Espaciamientos mínimos entre pernos y pasadores

Dirección	Designación
Según la dirección de la fibra	$s_p = 7 \cdot D$
Normal a la dirección de la fibra	$s_n = 4 \cdot D$

9.6.1.3 Pasadores

- a) Son barras cilíndricas de superficie lisa, con extremos biselados, que se colocan en agujeros previamente perforados.
- b) Se deben fabricar usando acero con un límite de fluencia de al menos 240 MPa.
- c) Los agujeros se perforan en la madera con el diámetro nominal, D , del pasador. En uniones acero-madera, el diámetro de los agujeros en las piezas de acero puede ser hasta 1 mm mayor que el diámetro del pasador. Ante una perforación simultánea de las maderas y las planchas de acero, el diámetro de la broca debe corresponder al diámetro del pasador. No se aceptan uniones con planchas de acero dispuestas exteriormente.
- d) El rango de diámetros sobre el que se aplican estas especificaciones varía entre 8 mm y 24 mm.
- e) Cada unión estructural debe incluir a lo menos cuatro secciones transversales de pasador sometidas a cizalle. En todo caso se exige una disposición mínima de dos pasadores por unión.
- f) Los espaciamientos mínimos que se deben respetar en las uniones con pasadores para poder desarrollar completamente las capacidades de cargas admisibles, que se esquematizan en Figura 23, se indican en Tablas 31 y 32.
- g) No se recomienda el empleo de pasadores en uniones de cizalle simple.

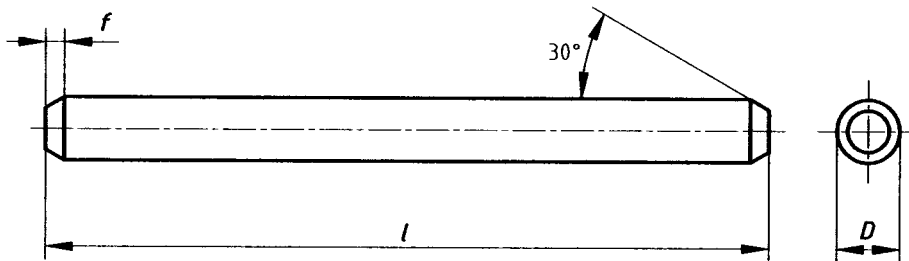


Figura 24 - Pasador

9.6.1.4 Tirafondos

- a) Las especificaciones de esta norma son aplicables sobre tirafondos cuyas características se indican en Anexo M.
- b) Las capacidades de carga admisible son aplicables sobre las especies o grupos de especie listadas en Tabla 33.
- c) Los tirafondos deben ser instalados en perforaciones guías con las características siguientes:
 - i) El agujero donde se alojará el vástago del tirafondo debe tener el mismo diámetro, D , de dicho vástago y una profundidad igual a la longitud, V , de la zona sin rosca del tirafondo.
 - ii) El agujero para la zona con rosca del tirafondo debe tener una profundidad de al menos igual a la longitud de la zona roscada del tirafondo, $R - P$, y un diámetro comprendido entre:

-40% -70% del diámetro del vástago para las especies del grupo A de Tabla 33;

-60% -75% de dicho diámetro para especies del grupo B;

-65% -85% para las de los grupos C y D.

Para tirafondos con diámetros mayores o iguales que $\frac{3}{4}$ " (ver Anexo M) usar los porcentajes del límite superior de los intervalos señalados.

Cuando los tirafondos con diámetro no mayor que $\frac{3}{8}$ " colocados en maderas de los grupos A y B son sometidos a extracción directa, se puede evitar la perforación guía si se respetan los espaciamientos mínimos especificados para pernos en Tablas 31 y 32.

La zona con rosca debe ser colocada en la perforación guía con una llave de tuerca. Se prohíbe la aplicación de golpes de martillo en esta operación.

Para facilitar la introducción y evitar daños en el tirafondo se acepta el empleo de lubricantes en la rosca o en la perforación.

- iii) Entre la cabeza del tirafondo y la madera se deben colocar arandelas según Tabla 30, excepto que se dispongan cubrejuntas metálicas.

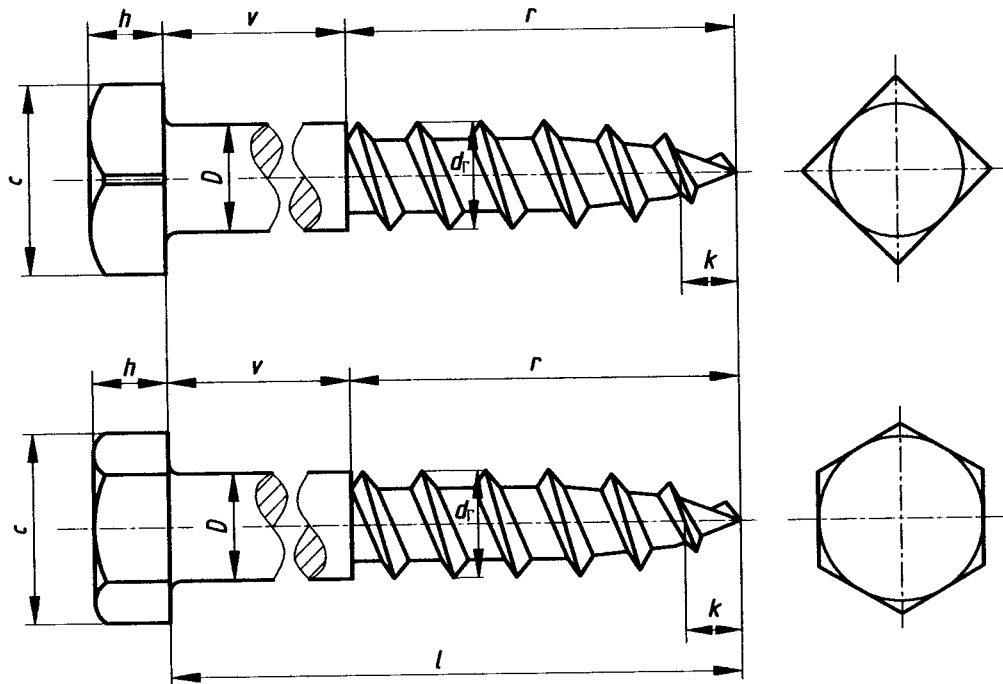


Figura 25 - Esquema general de un tirafondo (ver también Anexo M)

- d) La penetración mínima de la zona roscada del vástago, p , (sin incluir la longitud de la punta, k) en el madero principal de uniones de cizalle simple (ver Figura 26) o en el madero lateral de uniones de cizalle doble asciende a $p_{min.} = 8 \cdot D$. Si $p < 8 \cdot D$, la capacidad admisible de carga se debe reducir mediante el factor de modificación, K_{pct} , de expresión:

$$K_{pct} = \frac{p}{8 \cdot D}$$

Para efectos de cálculo no se aceptan penetraciones de atornillado, p , inferiores a $4 \cdot D$.

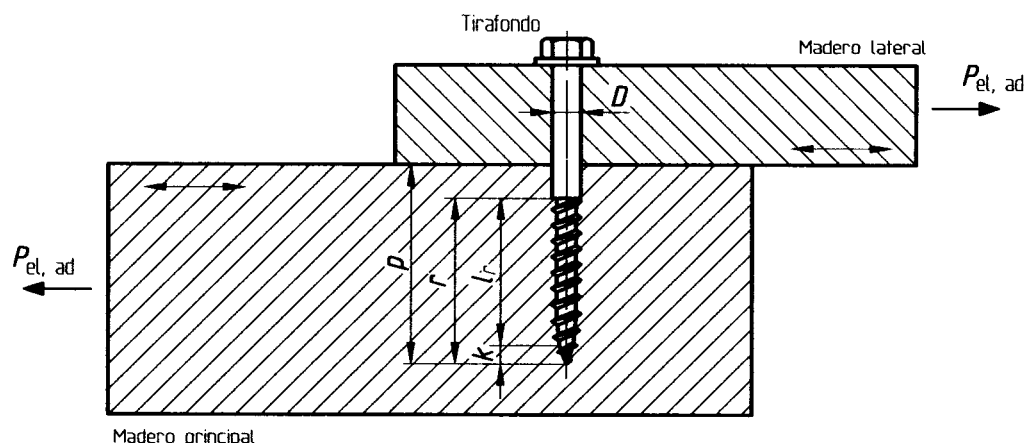


Figura 26 - Condiciones geométricas para el cálculo de la carga admisible de extracción lateral

- e) Los espaciamientos mínimos que se deben respetar en las uniones con tirafondo para poder desarrollar completamente las capacidades de cargas admisibles, son los establecidos para pernos de igual diámetro, que se esquematizan en Figura 23, e indican en Tablas 31 y 32.

Tabla 33 - Grupos de especies, según su densidad anhidra, a ser considerados en el diseño de uniones con tirafondos

Grupo	Densidad anhidra, ρ_o , valor medio en kg/m^3
A	$\rho_o \leq 400$
B	$400 < \rho_o \leq 500$
C	$500 < \rho_o \leq 600$
D	$600 < \rho_o$

NOTA - En Anexo E, aparecen valores de la densidad anhidra y de la densidad normal para las especies madereras comerciales de mayor uso en la construcción.

9.6.1.5 Tornillos

- a) Las especificaciones de esta norma son aplicables sobre tornillos según ANSI B, 18.6.1 con un diámetro nominal, D , de al menos 4 mm, cuyas características se indican en Anexo L.
- b) Las uniones atornilladas estructurales deben trabajar en cizalle simple y constar de al menos cuatro tornillos cuando $D < 10$ mm y de dos tornillos cuando $D \geq 10$ mm.
- c) Las piezas a unir se deben perforar con un diámetro D hasta una profundidad igual a la longitud lisa del vástago y con un diámetro $0,7 \cdot D$ hasta una profundidad igual al largo de la zona roscada.

- d) Para tornillos colocados en maderas de los grupos A y B sometidos a extracción directa, se puede evitar la perforación guía.
- e) Los tornillos se deben insertar en la perforación guía con atornillador u otra herramienta similar. No se permite la aplicación de golpes de martillo en esta operación.

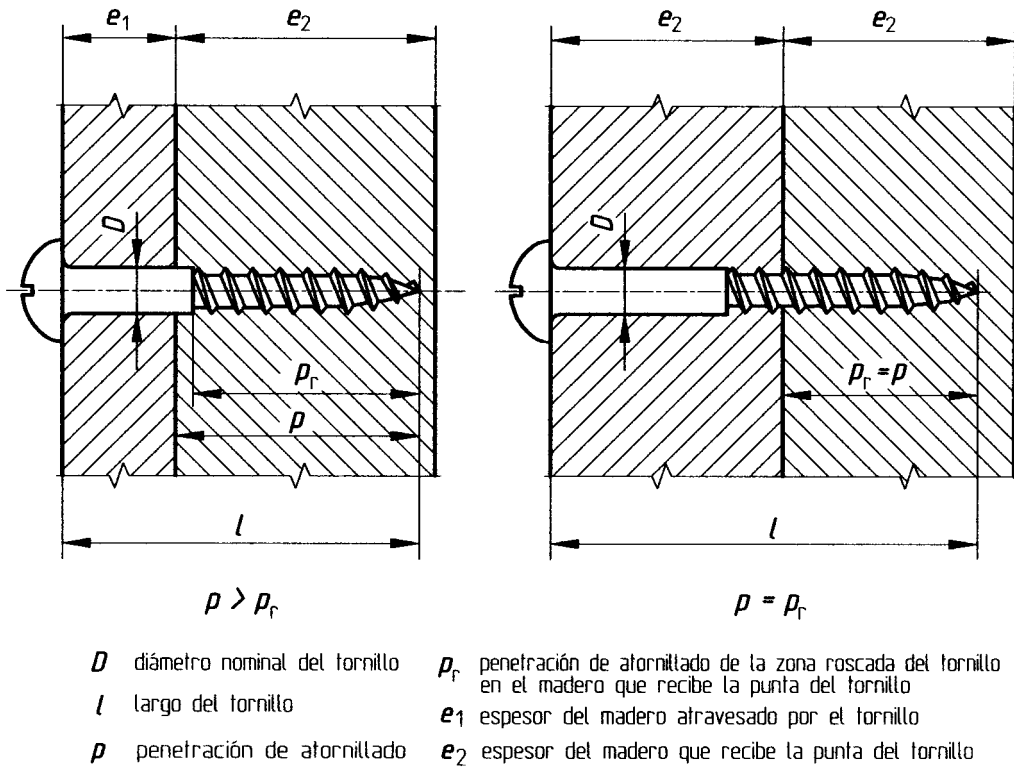


Figura 27 - Uniones con tornillos

- f) La penetración de atornillado p , en mm, (ver Figura 27) debe ascender a lo menos a $8 \cdot D$. Si $p < 8 \cdot D$, la capacidad admisible de carga se debe reducir mediante el factor de modificación, K_{pct} , de expresión:

$$K_{pct} = \frac{p}{8 \cdot D}$$

Para efectos de cálculo no se aceptan penetraciones de atornillado inferiores a $4 \cdot D$.

- g) Para tornillos solicitados a extracción lateral, los espaciamientos mínimos entre tornillos y a los bordes en la madera deben ser los especificados en Tabla 34 para clavos colocados con perforación guía.
- h) Para los espaciamientos mínimos entre tornillos y a los bordes en tableros derivados de la madera rige lo establecido para uniones clavadas en 9.6.1.6, letras u y v.

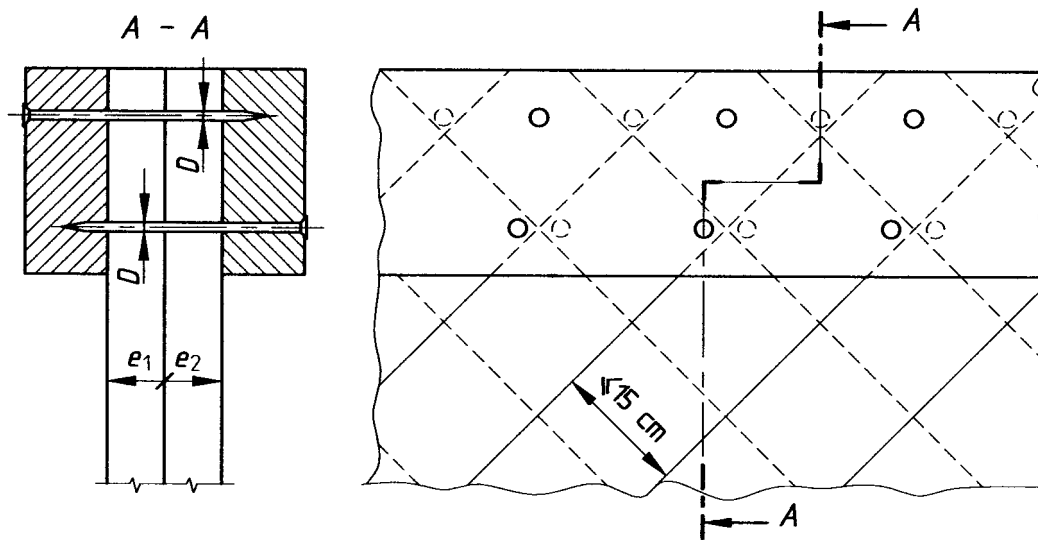
- i) En tornillos estructurales, la distancia máxima entre tornillos vecinos, medida según la dirección de la fibra de la madera y en cualquier dirección en tableros de madera, no debe exceder de $40 \cdot D$.
- j) La distancia máxima entre tornillos estructurales vecinos, medida normal a la dirección de la fibra de la madera, no debe exceder $20 \cdot D$.

9.6.1.6 Clavos

- a) Las especificaciones de esta norma son aplicables sobre uniones clavadas en construcciones de madera que emplean clavos fabricados según NCh1269 (ver Anexo N).
- b) Se permite el uso de clavos especiales (diferentes a los tipos especificados en NCh1269) si la aptitud y resistencia de éstos se puede comprobar por medio de un certificado de ensayo emitido por una institución oficial de ensayo de resistencia de materiales.
- c) En uniones con clavos solicitados en extracción lateral se exige la presencia de al menos cuatro clavos en cada uno de los planos de cizalle que se presentan en una unión clavada de dos o más piezas de madera. Esta exigencia no rige para la fijación de revestimientos, entablados y contraventaciones.
- d) Para poder desarrollar completamente las capacidades de cargas admisibles se debe respetar un espesor mínimo de madera, $e_{min.}$, de $7 \cdot D$, en uniones de clavado directo o bien, $6 \cdot D$ en uniones con perforación guía, en que $e_{min.}$ y D se expresan en mm.

En todo caso, para elementos constituyentes de uniones estructurales se deben usar espesores de al menos 18 mm, en uniones de clavado directo y 16 mm, en uniones con perforación guía.

En vigas compuestas de alma llena, constituida ésta por dos capas de entablados cruzados y considerando el efecto confinante generado por el clavado de cizalle doble de los cordones (ver Figura 28), el valor de $e_{min.}$ calculado con la expresión anterior puede ser reducido a dos tercios de su valor, siempre que el ancho individual de las tablas que conforman en alma no exceda de 150 mm.



$$e_1 \geq 2/3 e_{\text{mín.}}; \quad e_{\text{mín.}} = 7D$$

Figura 28 - Clavado de cordón a cizalle doble en vigas compuestas de alma llena

- e) La penetración efectiva de clavado en la pieza que recibe la punta, p , en mm, (ver Figura 29) debe ascender a lo menos a $12 \cdot D$, en uniones de cizalle simple y a $8 \cdot D$ en uniones de cizalle múltiple.

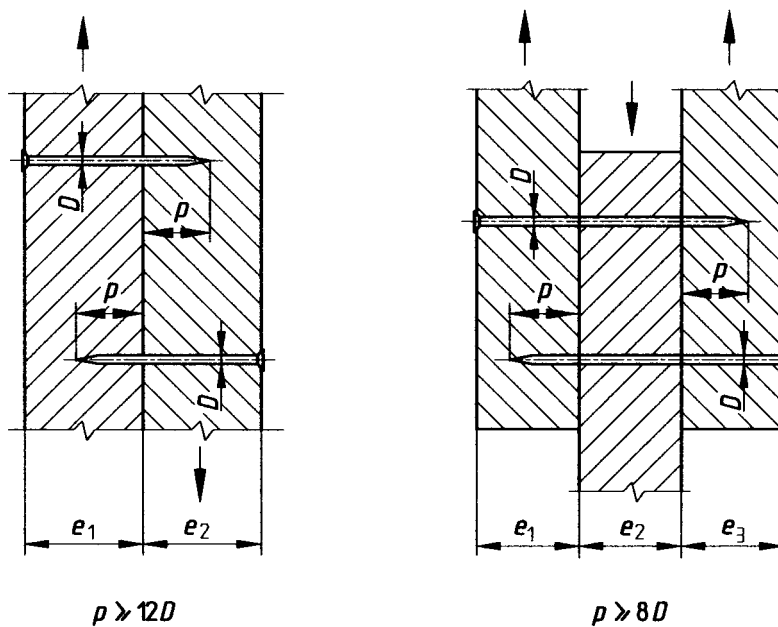


Figura 29 - Espesores de madera y penetraciones mínimas en uniones clavadas de cizalle simple

- f) Si $p < 12 \cdot D$, en uniones de cizalle simple, o si $p < 8 \cdot D$ en uniones de cizalle múltiple, la capacidad admisible de carga se debe reducir mediante el factor de modificación, K_{pct} , de expresión:

$$K_{pct} = \frac{P}{12 \cdot D} \text{ para uniones de cizalle simple}$$

$$K_{pct} = \frac{P}{8 \cdot D} \text{ para uniones de cizalle múltiple}$$

Para efectos de cálculo no se aceptan penetraciones efectivas, p , inferiores a $6 \cdot D$, en uniones de cizalle simple o inferiores a $4 \cdot D$, en uniones de cizalle múltiple.

- g) En uniones de cizalle múltiple la capacidad admisible de cada clavo, $P_{elm,ad}$, se calcula de acuerdo con la expresión:

$$P_{elm,ad} = (m - 0,25) \cdot P_{el,ad}$$

en que:

m : número de planos de cizalle que atraviesa el clavo; y

$P_{el,ad}$: capacidad admisible de carga condicionada por los modos de fluencia en cizalle simple.

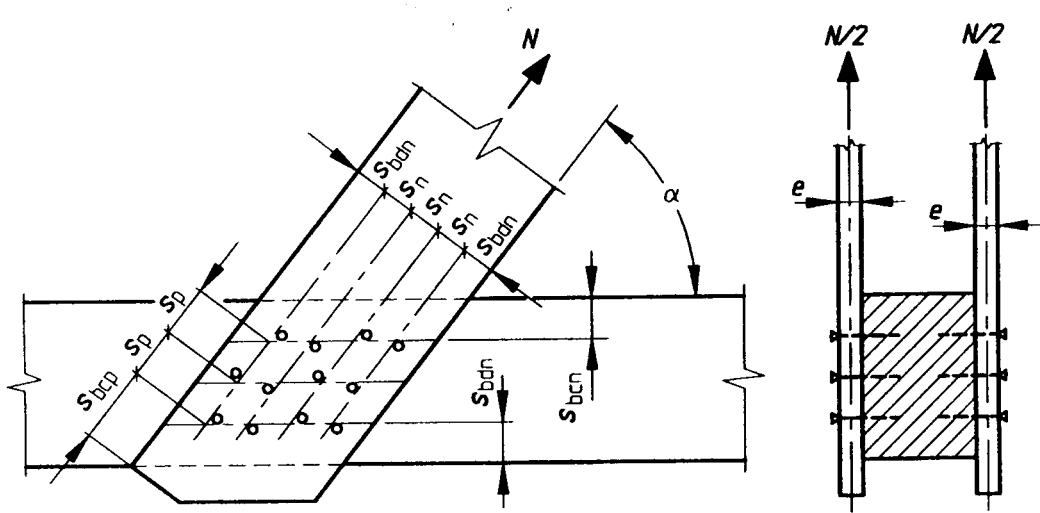
- h) En uniones clavadas de cizalle doble o múltiple, el clavado se debe ejecutar alternadamente desde ambos lados. En uniones de cizalle simple, y cuando resulte posible se deberá proceder en la misma forma.
- i) Si en un empalme o unión solicitado en tracción se disponen hileras de más de 10 clavos, en cada hilera se debe reducir en un tercio las capacidades de carga de los clavos adicionales a 10. Para efectos de cálculo se puede considerar un máximo de 30 clavos por hilera.
- j) Si los agujeros de clavado se perforan previamente con un diámetro de aproximadamente el 80% del diámetro del vástago, respetando la penetración mínima, p , establecida en e), se puede incrementar en un 20% la capacidad admisible de carga de cada clavo.
- k) En uniones de tablas y tablones con postes, rollizos o piezas de sección transversal circular, se deben reducir las capacidades admisibles de carga de los clavos en un tercio.
- l) Las uniones clavadas entre piezas de sección transversal circular no se aceptan como estructurales.

NCh1198

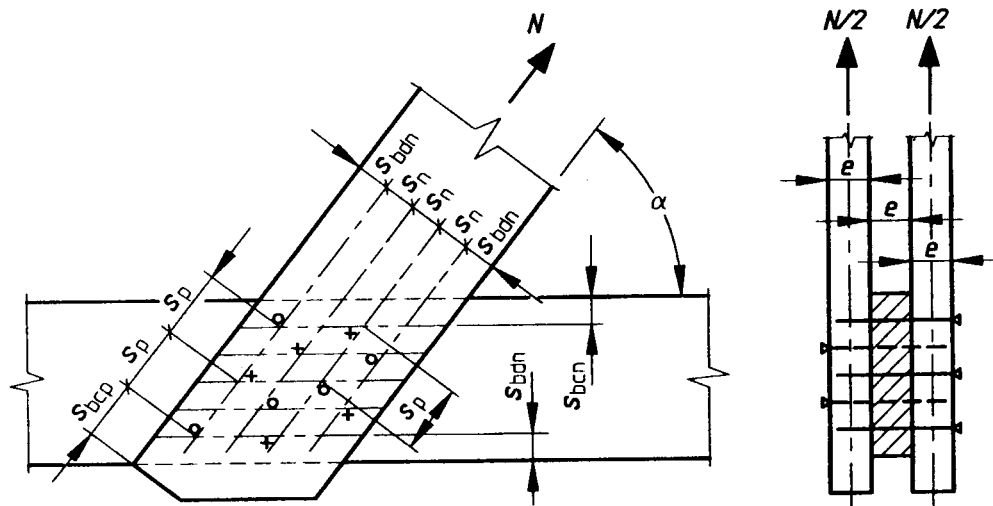
- m) Cuando los clavos queden expuestos a riesgos de corrosión, sólo se les podrá asignar su capacidad de carga admisible cuando ellos se hayan protegido de acuerdo con las exigencias establecidas en Tabla 28. Esta disposición no rige para construcciones provisorias.
- n) En uniones clavadas con uso de tableros contrachapados fenólicos constituidos de al menos cuatro chapas, el espesor de los tableros debe ascender al menos a $4 \cdot D$.
- o) En uniones clavadas con uso de tableros de partículas resistentes al agua y a la humedad, el espesor de los tableros debe ascender al menos a $6 \cdot D$. La cabeza de los clavos no se debe embutir en más de 2 mm con respecto a la superficie del tablero, recomendándose una hinca a ras con dicha superficie.
- p) La distribución de clavado se debe definir respetando los espaciamientos mínimos especificados en Tabla 34, y en Figuras 30 a) y 30 b) tomando en consideración el diámetro del clavo, D , y el ángulo, α , que forma la fibra con la dirección de la fuerza.

Tabla 34 - Espaciamientos mínimos de clavos de diámetro, D , en mm

Separación mínima		Clavado sin perforación guía				Clavado con perforación guía
		$0^\circ \leq \alpha < 30^\circ$		$30^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$		Para cualquier α
		$D \leq 4,2$	$D > 4,2$	$D \leq 4,2$	$D > 4,2$	Para cualquier D
Entre clavos	a fibra (s_p)	$10 \cdot D$	$12 \cdot D$	$10 \cdot D$	$12 \cdot D$	$5 \cdot D$
	⊥ a fibra (s_n)	$5 \cdot D$	$5 \cdot D$	$5 \cdot D$	$5 \cdot D$	$5 \cdot D$
Desde el borde cargado	a fibra (s_{bcp})	$15 \cdot D$	$15 \cdot D$	$15 \cdot D$	$15 \cdot D$	$10 \cdot D$
	⊥ a fibra (s_{bcn})	$5 \cdot D$	$7 \cdot D$	$7 \cdot D$	$10 \cdot D$	$5 \cdot D$
Desde el borde descargado	a fibra (s_{bdp})	$7 \cdot D$	$10 \cdot D$	$7 \cdot D$	$10 \cdot D$	$5 \cdot D$
	⊥ a fibra (s_{bdn})	$5 \cdot D$	$5 \cdot D$	$5 \cdot D$	$5 \cdot D$	$3 \cdot D$



a) Cizalle simple

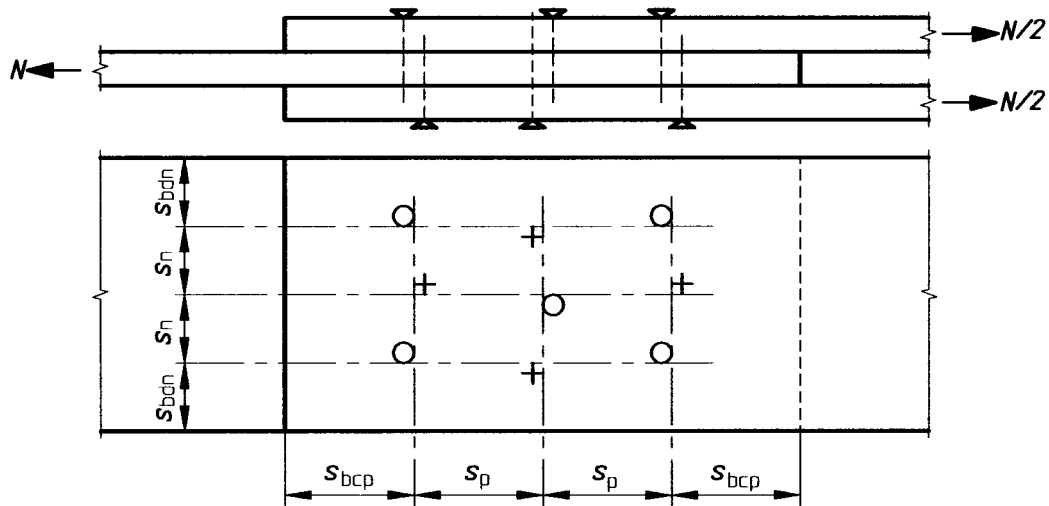


b) Cizalle doble

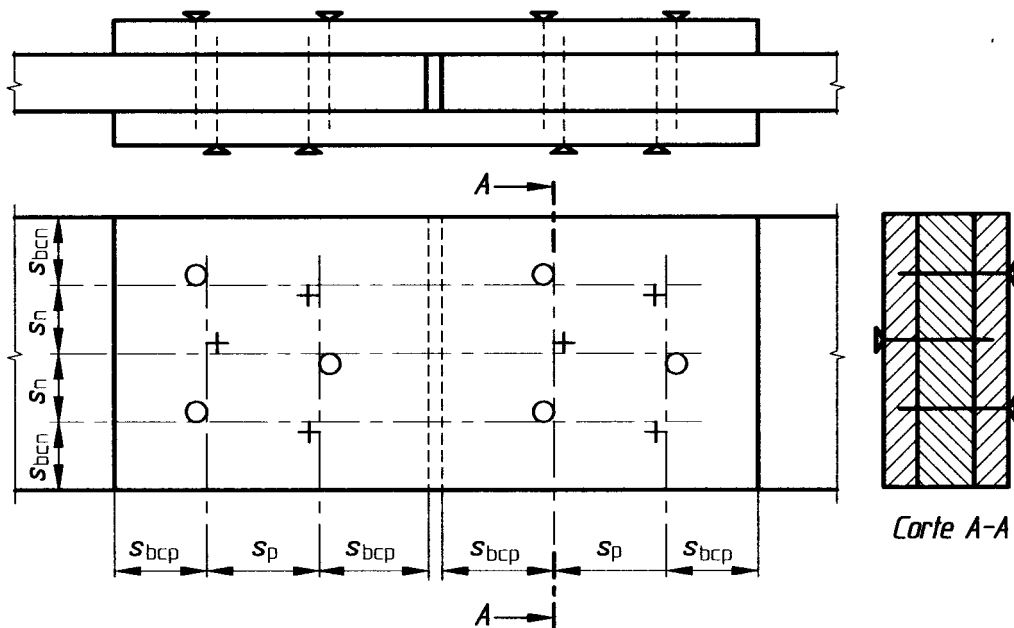
○ Cabeza del clavo + Punta del clavo

Figura 30 - Espaciamientos de clavos - Representación simplificada

q) En uniones resistentes a flexión, rigen los valores de Tabla 34, los que se deben aplicar atendiendo únicamente a la dirección de la fibra y considerando todos los bordes cargados (ver Figura 31).



a) Unión traccionada

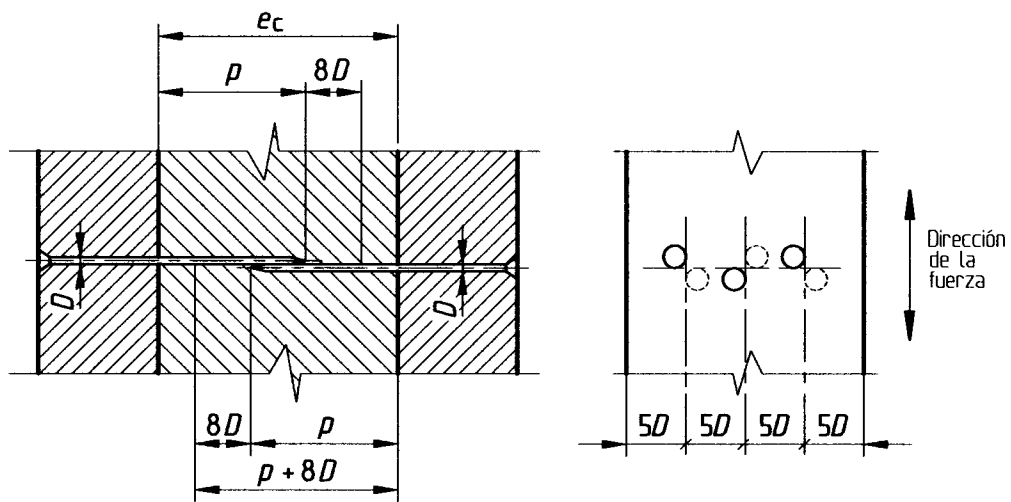


b) Unión de momento

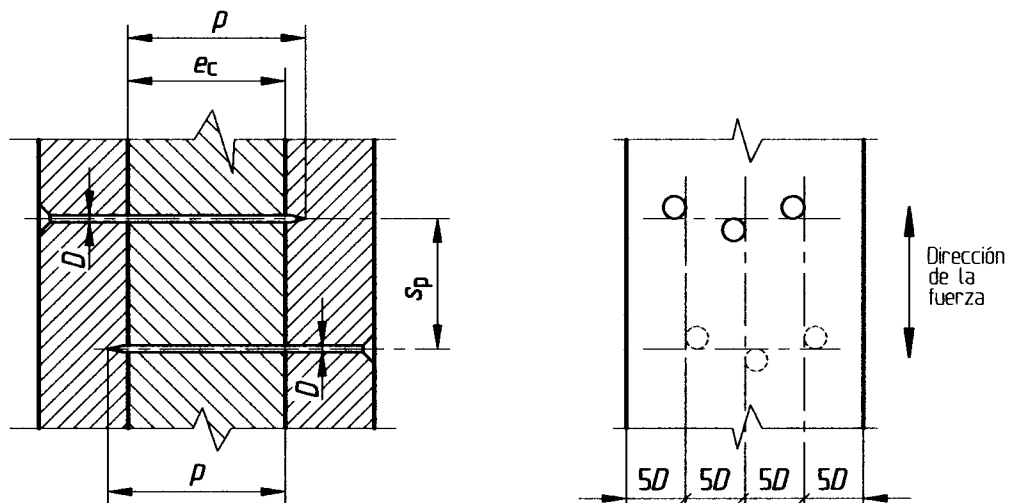
○ Cabeza del clavo + Punta del clavo

Figura 31 - Disposiciones de clavado - Representación simplificada

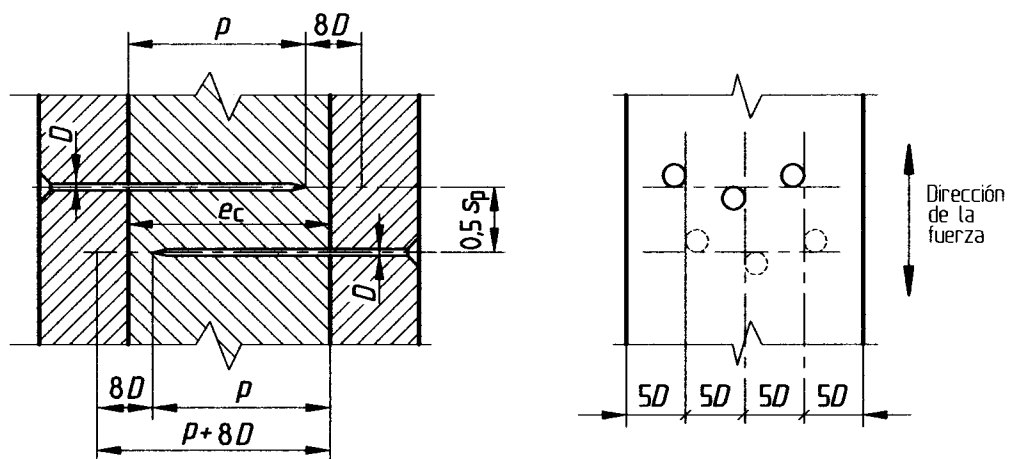
- r) En general los clavos se deben alternar según las disposiciones esquematizadas en Figuras 30 y 31, desplazándolos en un diámetro de clavo con respecto al gramil de clavado.
- s) Cuando en una unión de tres maderos, los clavos hincados desde lados opuestos (ver Figura 32), se traslapan en el madero central de la unión, se deben respetar las disposiciones siguientes:
- si la punta del clavo dista al menos $8 \cdot D$ de la superficie de cizalle de los clavos hincados en el lado opuesto, se puede repetir el mismo esquema de clavado desde ambos lados [ver Figura 32 a)];
 - si la penetración del clavo, p , excede el espesor del madero central, e_c , rigen los espaciamientos mínimos señalados en Tabla 34 [ver Figura 32 b)];
 - en situaciones intermedias, esto es, si $p < e_c < p + 8 \cdot D$ se deben respetar espaciamientos iguales al 50% de los señaladas para, s_p , en Tabla 34. Ver esquema de Figura 32 c).



a) Si $e_c \geq (p + 8D)$



b) Si $e_c \leq p$



c) Si $p < e_c < (p + 8D)$

Figura 32 - Espaciamientos de clavos traslapados

- t) el espaciamiento máximo entre clavos, no debe exceder de $40 \cdot D$ en la dirección de la fibra y de $20 \cdot D$ normal a dicha dirección.
- u) En uniones que incorporen tableros de materiales de madera, clavados a piezas de madera se deben respetar los espaciamientos mínimos siguientes:
- entre clavos, colocados en los tableros : $5 \cdot D$, salvo que los espaciamientos entre clavos en la madera resulten condicionantes
 - al borde cargado : $4 \cdot D$ en tableros contrachapados
 $7 \cdot D$ en tableros de partículas
 - al borde descargado : $2,5 \cdot D$
- v) En tableros estructurales de materiales de madera, el espaciamiento máximo entre clavos en cualquier dirección, no debe exceder de $40 \cdot D$. Si estos tableros cumplen exclusivamente funciones arriostrantes, se acepta un espaciamiento máximo de $80 \cdot D$.
- w) Los clavos lanceros se deben colocar según un ángulo de aproximadamente 30° con respecto a la cara de la pieza fijada, respetando un desplazamiento de aproximadamente un tercio de la longitud de clavo con respecto al extremo de la pieza (ver Figura 33).

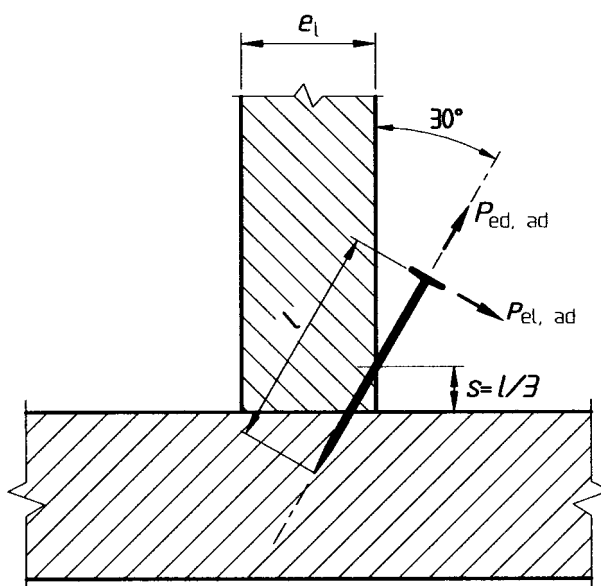


Figura 33 - Correcta forma de colocar un "clavo lancero"

9.6.1.7 Uniones clavadas con planchas de acero

- i) En la fijación de planchas planas de acero [ver Figuras 34 b) y 34 c)], de al menos 2 mm de espesor con uso de clavos redondos de vástago liso, los agujeros de clavado se deben perforar simultáneamente en las planchas y en la madera con un diámetro correspondiente al diámetro del clavo, hasta una profundidad igual a la requerida por la longitud del clavo.
- ii) En planchas de acero dispuestas sólo exteriormente [ver Figura 34 a)] no se requiere de una perforación previa de la madera.

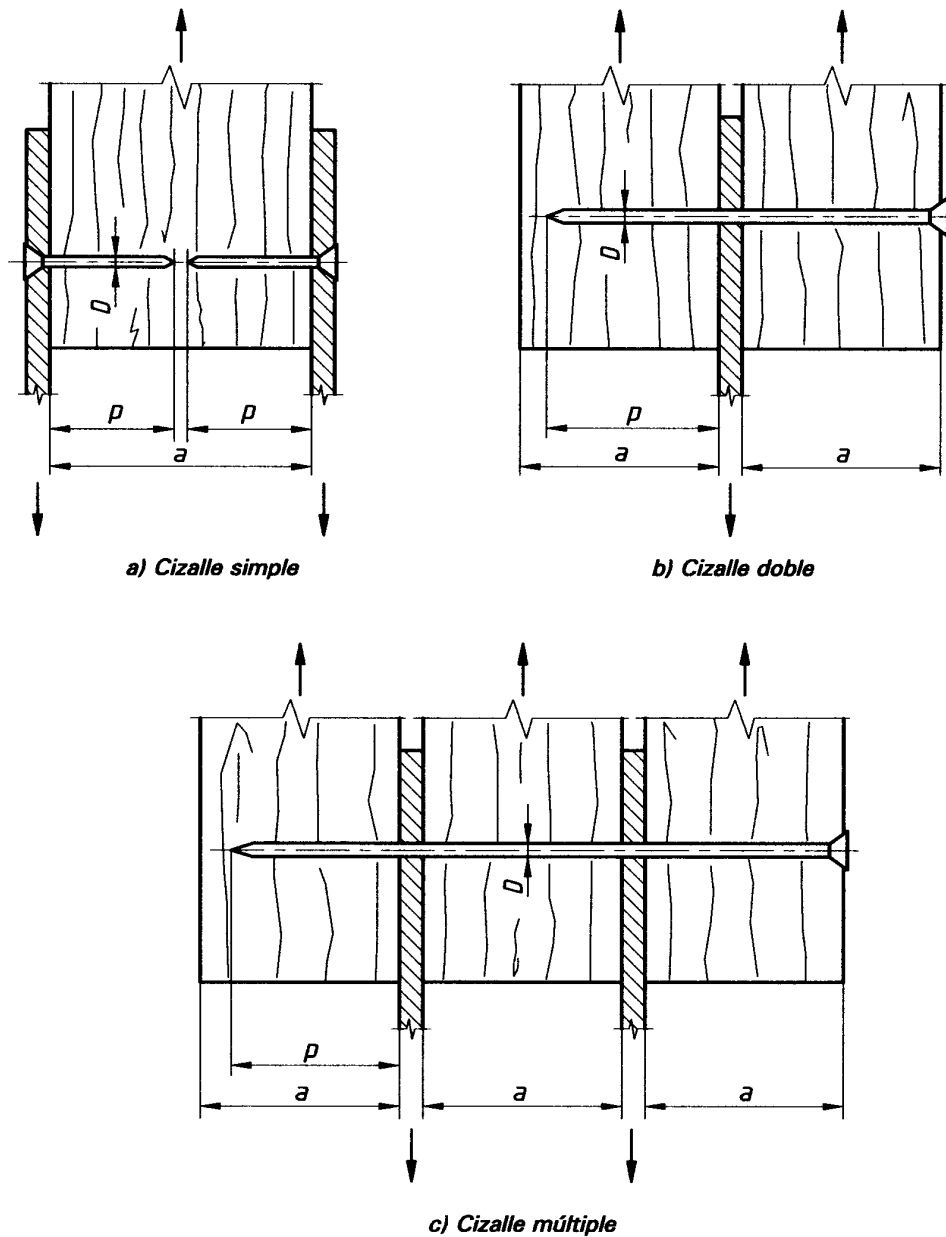


Figura 34 - Uniones de planchas de acero y madera

- iii) En uniones solicitadas en compresión se debe controlar la unión de contacto entre los maderos y eventualmente la adecuada seguridad al pandeo local de las planchas de acero. En uniones traccionadas se debe verificar la tensión de tracción en las planchas, considerando el debilitamiento inducido por las perforaciones.
- iv) En el clavado de planchas de acero dispuestas externamente se puede prescindir de una disposición alternada de los clavos alineados consecutivamente en la dirección de la fibra:
- a) Cuando se dispone una única plancha fijada con clavos de diámetros que no excedan de 4,2 mm y el espesor del madero equivale a la profundidad de clavado, sin resultar inferior a $10 \cdot D$.

Para clavos con $D > 4,2$ mm, el espesor del madero debe ascender al menos a 1,5 veces la profundidad de clavado, sin resultar inferior a $15 \cdot D$.

- b) Cuando se disponen dos planchas, una a cada lado del madero, fijadas con clavos hincados desde ambos lados con diámetros que no excedan de 4,2 mm y siempre que estos clavos no se traslapen en el madero central (ver Figura 35).

Las puntas de clavos con $D > 4,2$ mm, deben quedar desplazadas en al menos la profundidad de clavado, p , [ver Figura 35 b)].

- c) Cuando no se respeten las disposiciones de los puntos a) y b) para el madero central, los espaciamientos mínimos, s_p , según la dirección de la fibra, deben ser:

$$s = 10 \cdot D \text{ (para } D \leq 4,2 \text{ mm)}$$

$$s = 12 \cdot D \text{ (para } D > 4,2 \text{ mm)}$$

La distancia de los clavos al borde de las planchas debe ascender al menos a $2,5 \cdot D$ y en el caso de una disposición no alternada, a $2 \cdot D$.

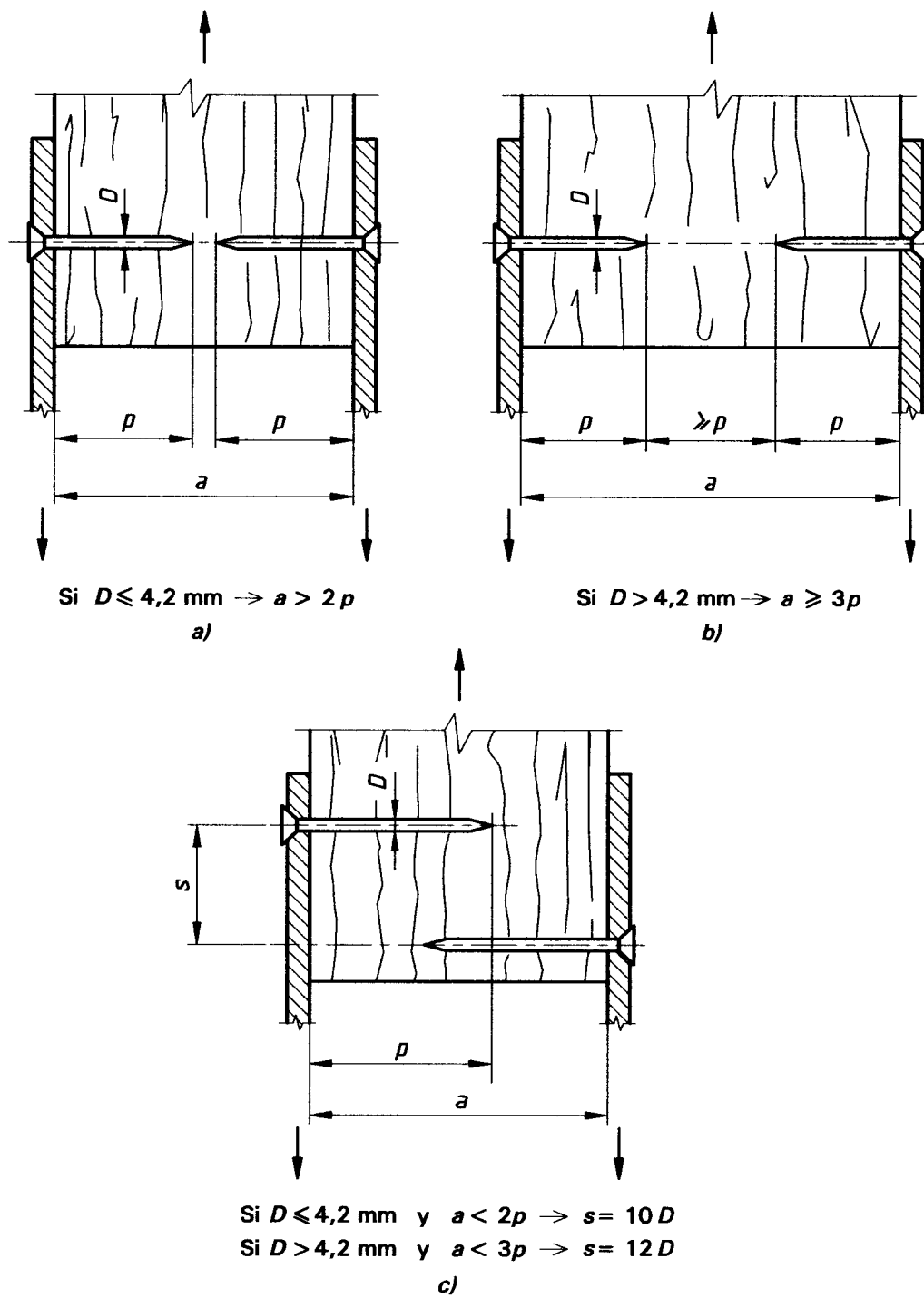
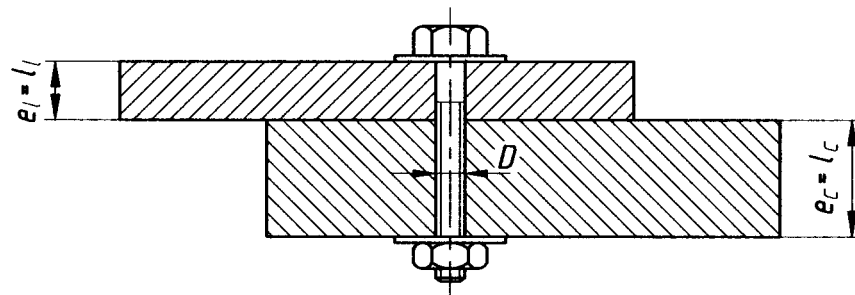


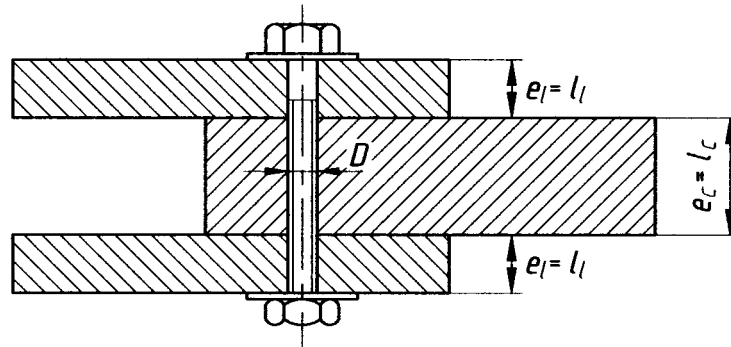
Figura 35 - Uniones de planchas de acero y madera con clavado sin disposición alternada

9.6.2 Cargas admisibles de extracción lateral

9.6.2.1 La capacidad admisible de carga de un medio de unión de tipo cilíndrico en una unión de cizalle simple o cizalle doble [ver Figuras 36 a) y 36 b)], según los esquemas de fluencia de Figura 37, corresponde al menor valor $P_{el, ad}$ resultante de las expresiones de los modos de fluencia que se indican en Tabla 35.



a) Unión apernada de cizalle simple



b) Unión apernada de cizalle doble

Figura 36 - Unión apernada

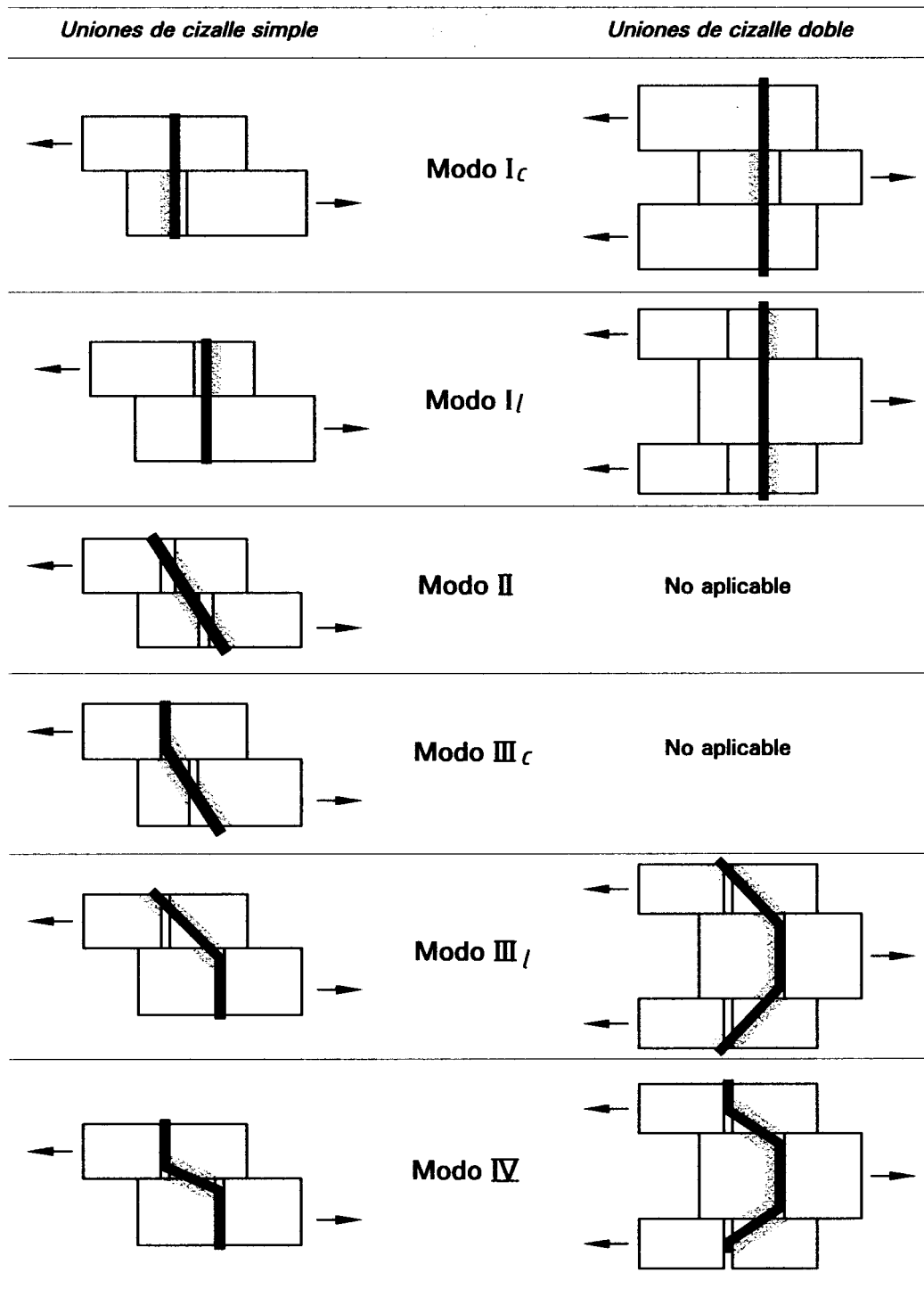


Figura 37 - Modos de fluencia en uniones de madera con elementos de fijación mecánicos

Tabla 35 - Modelo de fluencia para medios de unión solicitados en extracción lateral

Uniones de cizalle simple		Uniones de cizalle doble	
Modo I_c	$P_{el} = \frac{D \cdot l_c \cdot R_{ap,c}}{FA}$	Modo I_c	$P_{el} = \frac{D \cdot l_c \cdot R_{ap,c}}{FA}$
Modo I_l	$P_{el} = \frac{D \cdot l_l \cdot R_{ap,l}}{FA}$	Modo I_l	$P_{el} = \frac{2 \cdot D \cdot l_l \cdot R_{ap,l}}{2 \cdot K_\alpha}$
Modo II	$P_{el} = \frac{k_1 \cdot D \cdot l_l \cdot R_{ap,l}}{FA}$		-
Modo III_c	$P_{el} = \frac{k_2 \cdot D \cdot l_c \cdot R_{ap,c}}{(1 + 2 \cdot R_e) \cdot FA}$		-
Modo III_l	$P_{el} = \frac{k_3 \cdot D \cdot l_l \cdot R_{ap,c}}{(2 + R_e) \cdot FA}$	Modo III_l	$P_{el} = \frac{2 \cdot k_3 \cdot D \cdot l_l \cdot R_{ap,c}}{(2 + R_e) \cdot FA}$
Modo IV	$P_{el} = \frac{D^2}{FA} \sqrt{\frac{2 \cdot R_{ap,c} \cdot F_{ff}}{3 \cdot (1 + R_e)}}$	Modo IV	$P_{el} = \frac{2 \cdot D^2}{FA} \sqrt{\frac{2 \cdot R_{ap,c} \cdot F_{ff}}{3 \cdot (1 + R_e)}}$

con:

P_{el} : capacidad de carga admisible, N.

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2 \cdot (1 + R_t + R_t^2) + R_t^2 \cdot R_e^3} - R_e \cdot (1 + R_t)}{1 + R_e}$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2 \cdot (1 + R_e) + \frac{2 \cdot F_{ff} \cdot (1 + 2 \cdot R_e) \cdot D^2}{3 \cdot R_{ap,c} \cdot l_c^2}}$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2 \cdot (1 + R_e)}{R_e} + \frac{2 \cdot F_{ff} \cdot (2 + R_e) \cdot D^2}{3 \cdot R_{ap,c} \cdot l_l^2}}$$

$$R_e = \frac{R_{ap,c}}{R_{ap,l}} \quad R_t = \frac{l_c}{l_l}$$

l_c : longitud de apoyo del pasador en la pieza principal, mm;

l_l : longitud de apoyo del pasador en la pieza lateral, mm;

FA : factor de ajuste según Tabla 36;

$R_{ap,c}$: resistencia de aplastamiento del vástago en el madero principal, MPa;

$R_{ap,l}$: resistencia de aplastamiento del vástago en el madero secundario, MPa;

F_{ff} : tensión de fluencia en flexión del acero, MPa;

D : diámetro nominal del medio de unión, mm;

Tabla 36 - Factores de ajuste, FA

Diámetro medio de unión	Modo de fluencia	FA
$6,4 \text{ mm} \leq D \leq 25 \text{ mm}$	I_c, I_l	$4 \cdot k_\alpha$
	II	$3,6 \cdot k_\alpha$
	III_c, III_l, IV	$3,2 \cdot k_\alpha$
$D < 6,4 \text{ mm}$	$I_c, I_l, II, III_c, III_l, IV$	$k_d^{1)}$

NOTAS

$$k_\alpha = 1 + \frac{\alpha_{m\acute{a}x.}}{360^\circ}$$

con $\alpha_{m\acute{a}x.}$: máxima desangulación entre la dirección de la fuerza y de la fibra de cualquier pieza en la unión ($0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$)

$k_d = 2,2$ para $D \leq 4,3 \text{ mm}$

$$k_d = \frac{10 \cdot D + 12,7}{25,4} \quad \text{para } 4,3 \text{ mm} < D < 6,4 \text{ mm}$$

1) Para tornillos o tirafondos cuyo diámetro nominal sea mayor o igual que 6,4 mm y su diámetro de la zona roscada sea menor que 6,4 mm, $FA = k_d \cdot k_\alpha$.

Tabla 37 - Tensión admisible de aplastamiento nominal en las paredes de los agujeros, R_{ap} , en tableros estructurales de madera

Tablero estructural	Densidad anhidra media	Resistencia al aplastamiento en paredes de agujeros, R_{ap}
	Ton/m ³	MPa
Contrachapados	Estructural 1, Marino	30
	Otros grados	20
Tableros de hebra orientada	Todos los grados	30

La aplicación de estas expresiones exige que:

- las caras de las piezas unidas se encuentren en estrecho contacto;
- las cargas actúen perpendicularmente al eje del cilindro;
- se respeten los espaciamientos mínimos entre medios de unión y a los bordes, que se especifican en esta norma para cada tipo de medio de unión (ver 9.6.1.1 a 9.6.1.7);

- d) la profundidad de penetración del medio de unión en la pieza principal de uniones de cizalle simple o en la pieza lateral que fija la punta del medio de unión en uniones de cizalle doble es mayor o igual que la penetración mínima requerida (ver 9.6.1.2 a 9.6.1.7).

9.6.2.2 Resistencia de aplastamiento

9.6.2.2.1 La resistencia de aplastamiento nominal para pernos, pasadores y tirafondos de diámetro mayor o igual que 6,4 mm, R_{ap} , se determina mediante la expresión:

$$R_{ap,p} = 77,2 \cdot (\rho_o / 1000) \quad [\text{MPa}] \text{ para solicitudes paralelas a la fibra}$$

$$R_{ap,n} = \frac{212 \cdot (\rho_o / 1000)^{1,45}}{\sqrt{D}} \quad [\text{MPa}] \text{ para solicitudes normales a la fibra}$$

en que:

ρ_o : densidad anhidra media de la especie forestal, en kg/m^3 , según Anexo E, Tabla E.2;

D : diámetro del medio de unión.

Para pasadores se acepta incrementar el valor de R_{ap} en un 20%.

9.6.2.2.2 Cuando una pieza en unión se solicita según un ángulo con respecto a la dirección de la fibra, la resistencia de aplastamiento, $R_{ap,\theta}$, para la pieza se determinará aplicando la fórmula de Hankinson:

$$R_{ap,\theta} = \frac{R_{ap,p} \cdot R_{ap,n}}{R_{ap,p} \cdot \text{sen}^2 \theta + R_{ap,n} \cdot \text{cos}^2 \theta}$$

en que:

θ : ángulo (agudo) entre la dirección de la sollicitación y la dirección de la fibra (asociada al eje longitudinal de la pieza).

9.6.2.2.3 La resistencia de aplastamiento nominal en las paredes de agujeros para clavos y tirafondos de diámetro menor que 6,4 mm se determina, independientemente de la desangulación fuerza-fibra, mediante la expresión:

$$R_{ap} = 115 \cdot (\rho_o / 1000)^{1,84} \quad \text{MPa}$$

En las expresiones anteriores son:

ρ_o : densidad anhidra media, en kg/m^3 , según Anexo E, Tabla E.2.

9.6.2.2.4 La resistencia de aplastamiento nominal en las paredes de los agujeros, R_{ap} , en tableros estructurales de madera se indica en Tabla 37.

9.6.2.2.5 La resistencia de aplastamiento nominal de las paredes de agujeros de piezas de acero se determinará aplicando los criterios utilizados en el cálculo de estructuras de acero, considerando un factor de reducción 1,6 con el propósito de adecuarlo al criterio de diseño en madera.

9.6.2.2.6 La longitud de apoyo de los medios de unión en la(s) pieza(s) secundaria(s) y la pieza principal, l_l y l_c (ver Figura 36) representan la longitud del medio de unión que se apoya perpendicularmente a la dirección de la fuerza. Cuando la penetración resulte menor que $10 \cdot D$, esta longitud de apoyo no incluye el extremo correspondiente a la punta.

9.6.2.3 Tensión de fluencia de los medios de unión

Las tensiones de fluencia para los medios de unión, F_{ff} , en MPa se determinarán sobre la base de la tensión de fluencia derivada usando los métodos definidos en ASTM F 1575 o ASTM F 606. Conservadoramente se pueden considerar los valores 480 MPa para medios de unión de diámetro $D=6,4\text{mm}$, 410 MPa para el diámetro $D=8\text{mm}$ y 310 MPa para diámetros $D \geq 9,5\text{mm}$. Para clavos y tornillos con diámetro $D < 6,4\text{mm}$ se puede aplicar la expresión:

$$F_{ff} = 896 - 58 \cdot D \quad [\text{MPa}]$$

en que:

D : diámetro del vástago, en mm.

9.6.2.4 El valor D que se debe considerar en el cálculo de las cargas de los modelos de fluencia corresponde al diámetro del vástago liso en el caso de pernos y pasadores, y al diámetro del núcleo de la zona ranurada, D_r , en el caso de tirafondos y tornillos (ver Anexos L y M). Se permitirá el uso de D en lugar de D_r cuando la longitud de apoyo de la zona ranurada no excede $\frac{1}{4}$ de la longitud total de apoyo en la pieza que soporta las ranuras.

9.6.2.5 Uniones de tres piezas de cizalle doble asimétricas

La capacidad admisible de carga, $P_{el,ad}$, para uniones asimétricas de tres maderos, se determinarán como el menor valor calculado para los modos de fluencia de uniones simétricas de cizalle doble, considerando la menor longitud de apoyo del medio de unión en las piezas laterales como l_l y el menor diámetro de vástago, D , que se presente en cualquiera de los dos planos de contacto entre maderos.

9.6.2.6 Uniones de cizalle múltiple

Para una unión con cuatro o más piezas (ver Figura 38), cada plano de cizalle se analizará como una unión de cizalle simple. La capacidad admisible de carga de la unión será la menor capacidad admisible de carga asignada a los distintos planos de cizalle multiplicada por el número de planos de cizalle.

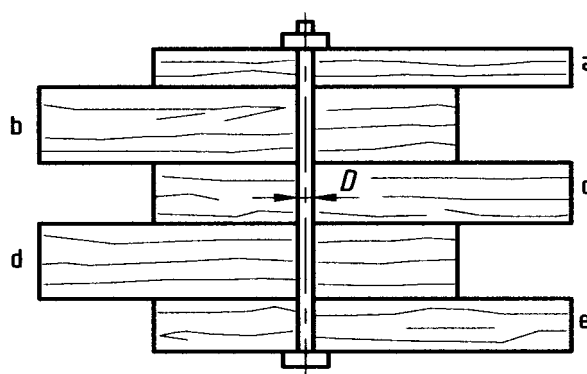


Figura 38 - Cizalle múltiple

9.6.2.7 Solicitación desangulada con respecto al eje del perno

9.6.2.7.1 Cuando en una unión de cizalle simple (constituida de dos piezas) la carga aplicada actúa según un ángulo (distinto de 90°) con respecto al eje del medio de unión, las longitudes del vástago en los dos maderos se designarán como l_1 y l_c (ver Figura 39). La componente de la carga que actúa a 90° con respecto al eje del vástago no debe exceder la capacidad de carga admisible para unión de cizalle simple en que las piezas de espesores l_1 y l_c se disponen a 90° con respecto al eje del perno.

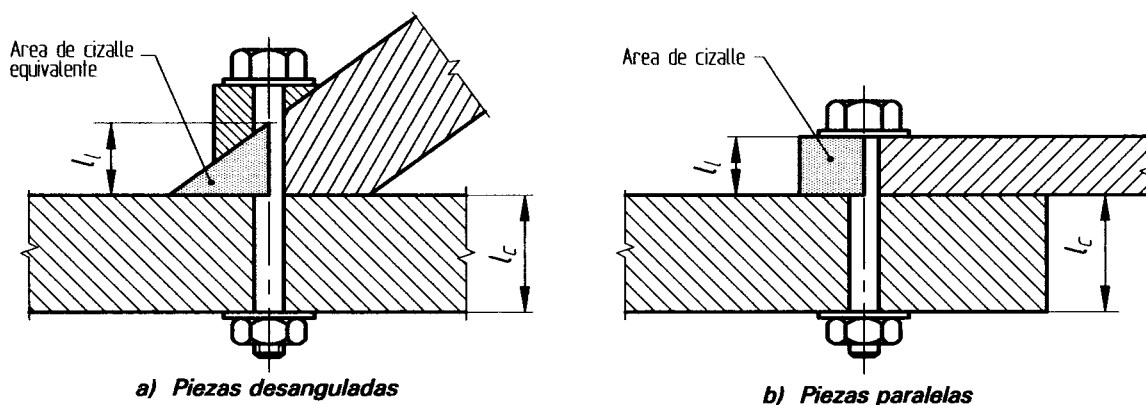


Figura 39 - Unión de piezas

Se debe proveer de suficiente área de apoyo bajo las arandelas para resistir la componente de la sollicitación que resulta paralela al eje del perno y cumplir con 7.5.

NCh1198

9.6.2.7.2 Para uniones con clavos lanceros se debe considerar para l_l el menor valor entre $l/3$ y e_l , con l , largo del clavo y e_l , espesor del madero adyacente a la cabeza del clavo (ver Figura 33).

9.6.3 Cargas admisibles de extracción directa

9.6.3.1 Tirafondos

9.6.3.1.1 La capacidad admisible de carga a extracción directa de tirafondos colocados con su eje normal a las fibras de la madera, se determina con la expresión:

$$P_{ed,ad} = \frac{\rho_o^{1,5} \cdot D^{0,75} \cdot l_r}{978} 10^{-3} \text{ [kN]}$$

con $l_r \leq l_{r,crit}$ según Tabla 38

en que:

- $P_{ed,ad}$: carga admisible de extracción directa, en kN;
- ρ_o : densidad anhidra promedio de la madera, en kg/m^3 , (ver Anexo E, Tabla E.1);
- D : diámetro del vástago del tirafondo;
- l_r : penetración efectiva de la zona roscada del tirafondo ($l_r = r - k$) en la madera, en mm (ver Figura 26);
- $l_{r,crit}$: longitud de penetración de la zona roscada que desarrolla la capacidad admisible de tracción en la sección transversal crítica del tirafondo, según Tabla 38.

Tabla 38 - Longitud de penetración de la zona roscada que desarrolla la capacidad admisible de tracción del tirafondo $l_{r,crít}$

Grupo de especie definido en Tabla 33	Longitud de penetración crítica, $l_{r,crít}$
D	$7 \cdot D_r$
C	$8 \cdot D_r$
B	$10 \cdot D_r$
A	$11 \cdot D_r$

NOTAS

1) D_r : diámetro de la zona roscada del vástago, en mm (ver Anexo M).

2) Para efectos de cálculo, el excedente de $l_{r,crít}$ no se debe considerar.

9.6.3.1.2 Cuando un tirafondo se coloca en el extremo de una pieza (con su eje dispuesto paralelo a la dirección de la fibra) la capacidad admisible de carga se debe multiplicar por el factor de extremo, $C_e = 0,75$.

9.6.3.2 Tornillos

9.6.3.2.1 La capacidad admisible de carga a extracción directa de un tornillo colocado en cualquier especie maderera, según 9.6.1.4 c) con su eje normal a las fibras de la madera, se determina con la expresión 9.6.1.5 e) y f):

$$P_{ed,ad} = 3 \cdot p_r \cdot D \cdot 10^{-3} \text{ (kN)}$$

en que:

$P_{ed,ad}$: carga admisible de extracción directa, en kN;

D y p_r : en mm, se definen en Figura 27.

La capacidad de carga admisible se aplica a madera seca en servicio, independientemente del contenido de humedad de la madera durante la construcción. Para otras condiciones de humedad de servicio, ver Tabla 26.

Para efectos de cálculo no se aceptan profundidades de atornillado, p_r , inferiores a $4 \cdot D$. Tampoco se debe considerar el excedente de $12 \cdot D$.

NCh1198

9.6.3.2.2 En la fijación de tableros de fibra y de partículas en piezas de madera se debe respetar que el espesor del tablero sea mayor o igual que 12 mm.

Para espesores menores y debido al riesgo de punzonamiento, la capacidad admisible a extracción directa se limita a 0,150 kN.

9.6.3.2.3 Los tornillos colocados con su eje paralelo a las fibras de la madera y solicitados en extracción directa no deben ser considerados en el cálculo estructural.

9.6.3.3 Clavos

9.6.3.3.1 El diseño estructural debe evitar el uso de clavos solicitados por fuerzas orientadas según la dirección del eje del clavo. Cuando esto no sea posible, se deben aplicar las disposiciones que se indican en 9.6.3.3.2 y 9.6.3.3.3.

9.6.3.3.2 Si se cumple que:

- los clavos son colocados con su eje perpendicular a las fibras de la madera;
- la madera está verde y se mantendrá en ese estado, o la madera está seca y no alterará su contenido de humedad mientras dure la unión, entonces

la carga admisible de extracción directa se obtendrá de la expresión:

$$P_{ed,ad} = 9 \cdot \rho_{o,k}^{5/2} \cdot D^{3/2} \cdot p \cdot 10^{-3} \text{ [kN]}$$

en que:

$P_{ed,ad}$: carga admisible de extracción directa, en kN;

$\rho_{o,k}$: densidad anhidra característica calculada con el percentil del 5% de exclusión, en g/cm³ (ver Anexo E, Tabla E.1);

D : diámetro del clavo, en mm;

p : penetración del clavo en la pieza de madera que recibe la punta de él, en mm.

9.6.3.3.3 Cuando las condiciones de humedad de la madera corresponden a las indicadas en Tabla 26, la capacidad de carga admisible al arranque de clavos colocados con su eje perpendicular a la fibra de la madera calculada según 9.6.3.3.2 debe ser modificada por el factor K_{UH} establecido en dicha tabla.

9.6.3.3.4 Los clavos colocados con su eje paralelo a las fibras de la madera y solicitados en extracción directa no deben ser considerados en el cálculo estructural.

9.6.4 Solicitaciones combinadas

9.6.4.1 Tirafondos

Cuando un tirafondo queda sometido a una combinación de esfuerzos de extracción directa y lateral, situación que se produce cuando el tirafondo se coloca con su vástago orientado perpendicular a la dirección de la fibra y la carga actúa según un ángulo θ con respecto a la superficie de la madera (ver Figura 40), se deben analizar independientemente ambas solicitaciones. La componente de extracción directa de la carga aplicada no debe exceder la carga de diseño de extracción directa calculada según 9.6.3.1, y la componente de extracción lateral de la carga aplicada no debe ser mayor que la carga de diseño para extracción lateral calculada según 9.6.1.4 y 9.6.2.

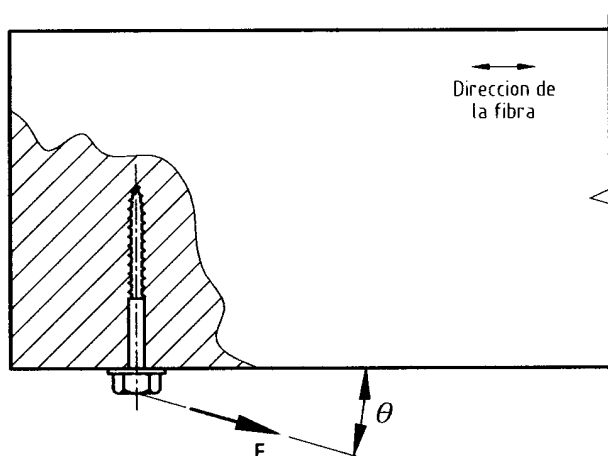


Figura 40 - Solicitación combinada sobre tirafondo

9.6.4.2 Tornillos

Al actuar simultáneamente sobre un tornillo solicitaciones de extracción directa y lateral rige la expresión de 9.6.4.3 con $m = 2$.

9.6.4.3 Clavos

En clavos sometidos a una acción simultánea de extracción lateral y de extracción directa se debe verificar que:

$$\left[\frac{P_{el, tr}}{P_{el, dis}} \right]^m + \left[\frac{P_{ed, tr}}{P_{ed, dis}} \right]^m \leq 1$$

en que:

$P_{el, tr}$: sollicitación de trabajo a extracción lateral de una superficie de clavo;

$P_{ed, dis}$: capacidad de carga de diseño a extracción lateral de una superficie de cizalle de clavo, calculada según 9.6.2;

NCh1198

$P_{ed, tr}$: sollicitación de trabajo a extracción directa del clavo;

$P_{ed, dis}$: capacidad de carga de diseño a extracción directa, calculada según 9.6.3.3.2;

m : 1 para clavos redondos de vástago liso;

m : 1,5 para clavos redondos de vástago liso usados en empalmes de traslapes de sistemas de costaneras de techo continuas.

9.6.4.4 Clavos lanceros

9.6.4.4.1 La carga admisible de extracción directa para un clavo colocado como clavo lancero, para cualquier contenido de humedad de la madera, será igual al 65% de los valores que se calculan con la expresión de 9.6.3.3.2, para igual penetración del clavo en el madero que recibe su punta.

9.6.4.4.2 La carga admisible de extracción lateral de un clavo colocado como clavo lancero, será igual al 80% del valor que se determina en 5.3.2 correspondiente a cizalle simple, para igual penetración del clavo.

9.6.5 Factor de modificación por colocación en el extremo de una pieza

9.6.5.1 Cuando los tirafondos sean solicitados a extracción directa y se coloquen en el extremo de una pieza de madera con su eje dispuesto paralelo a la dirección de la fibra de la madera, la capacidad, P_{ed} , se deberá multiplicar por el factor de modificación por colocación en extremo $K_{ce} = 0,75$.

9.6.5.2 Cuando los medios de unión de forma cilíndrica se coloquen en el extremo de una pieza de madera con su eje dispuesto paralelo a la dirección de la fibra de la madera, la capacidad, P_{el} , se deberá multiplicar por el factor de modificación por colocación en extremo $K_{ce} = 0,67$.

9.7 Uniones con conectores de anillo

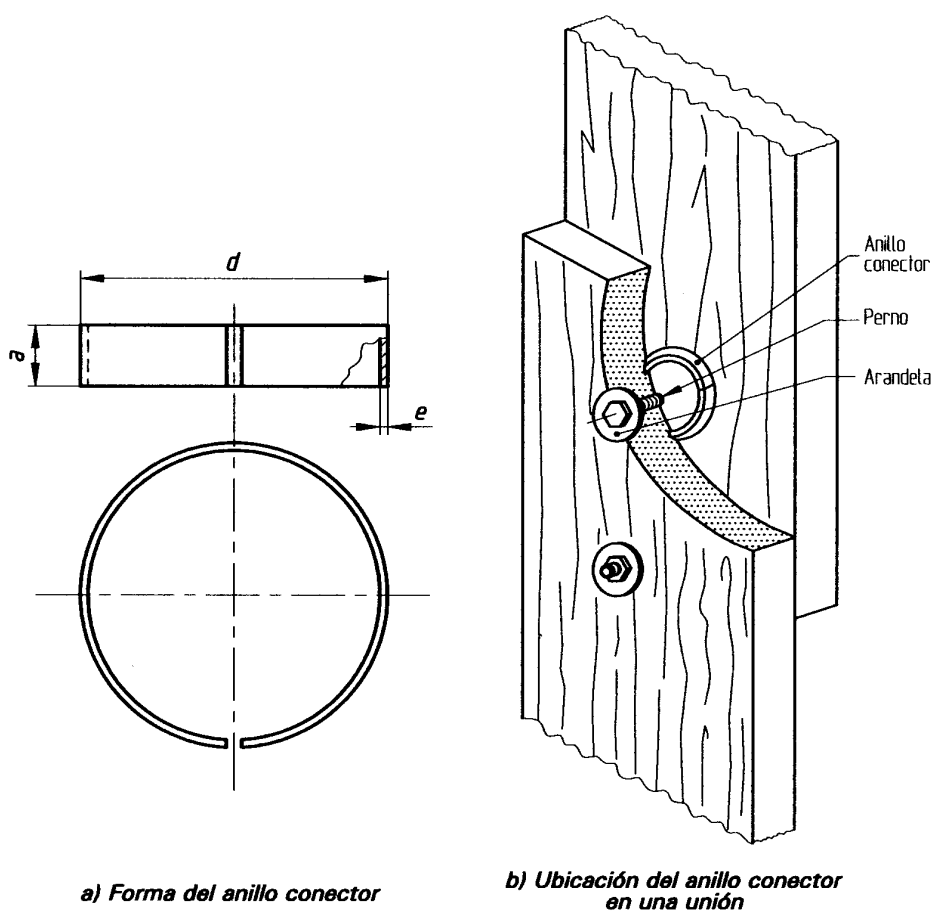


Figura 41 - Unión con conectores de anillo abierto

9.7.1 Generalidades

9.7.1.1 Dimensiones

Las especificaciones de esta sección se aplican sólo a uniones con conectores que tengan la forma de anillo abierto, con las dimensiones especificadas en Tabla 39, y que sean fabricados a partir de tubos metálicos rectificadas en sus bordes y cortados según una generatriz [ver Figura 41 a)].

Tabla 39 - Tamaños de conectores de anillo abierto y dimensiones mínimas de arandelas

Conector			Perno	Tamaño mínimo de arandela	
Diámetro exterior d	Espesor e	Altura a	Diámetro D	Diámetro o lado	Espesor
mm	mm	mm	mm	mm	mm
66,5	3,5	19	12	50	4
108,5	4,5	25	16	75	5

9.7.1.2 Pernos y arandelas

Los diámetros de los pernos que se deben utilizar en las uniones se indican en Tabla 39. Los agujeros de los pernos se deberán perforar con un diámetro mayorado según Tabla 29.

Se deben insertar golillas cuadradas o redondas entre la cabeza del perno o la tuerca y la madera. El tamaño mínimo de arandela que se debe usar se indica en Tabla 39.

Para los efectos de aplicación de estas especificaciones se entiende por conector de anillo el elemento de unión formado por un anillo de acero, un perno y sus respectivas arandelas [ver Figura 41 b)].

9.7.1.3 Ejecución de uniones

La perforación de los agujeros se debe realizar siguiendo uno de los dos procedimientos que se establecen a continuación:

- fijar las piezas que integran la unión en su posición definitiva por medio de un prensado y posteriormente perforar los agujeros en forma simultánea a través de todos los maderos;
- perforar los agujeros en cada una de las piezas individuales empleando plantillas o moldes que aseguren la correcta posición de los agujeros.

Las superficies de contacto entre las piezas se deben ranurar de acuerdo a las exigencias geométricas establecidas en Tabla 40.

Cuando se adopte el procedimiento de construcción b), las ranuras para los anillos abiertos se pueden ejecutar simultáneamente con la perforación de los agujeros para los pernos.

Con anterioridad a la inserción de los conectores en las ranuras se deben eliminar de éstas los restos de viruta y de partículas.

9.7.2 Sección transversal neta

La sección transversal neta de cada pieza en una unión se debe determinar deduciendo del área bruta el área proyectada de la o las ranuras y el área proyectada de la parte del agujero del perno no comprendida en el área anterior. Las profundidades de ranuras de conectores se indican en Tabla 40.

Tabla 40 - Dimensiones de ranuras circulares para conectores de anillo

Dimensión de ranuras		
	Anillo de 66,5 mm	Anillo de 108,5 mm
Diámetro interior, mm	67,5	110,5
Ancho, mm	4,6	5,3
Profundidad, mm	9,5	12,5
Area a descontar, mm ² /ranura	729	1 514

En la estimación de la sección transversal neta de uniones con conectores dispuestos alternadamente en dos o más hileras, se debe tener presente lo establecido en 9.2.1.3.

9.7.3 Uniones de cizalle simple - Capacidad admisible de carga

En Tabla 41 se indican las capacidades admisibles de carga según las direcciones paralela y perpendicular a la fibra aplicables sobre uniones construidas con piezas de madera que cumplen con las exigencias de los grados ES 2 a ES 6.

9.7.4 Solicitaciones inclinadas con respecto a la fibra

9.7.4.1 El ángulo de inclinación, θ , es el ángulo agudo comprendido por la dirección de la fuerza con que el conector actúa sobre una pieza y la fibra de esa pieza, la que se puede suponer coincidente con su eje axial.

9.7.4.2 La carga admisible, $P_{\theta, ad}$, se determina en función de los valores admisibles para cargas paralelas $P_{p, ad}$ ($\theta = 0^\circ$) y normal $P_{n, ad}$ ($\theta = 90^\circ$) a la fibra, aplicando la fórmula de Hankinson:

$$P_{\theta, ad} = \frac{P_{p, ad} \cdot P_{n, ad}}{P_{p, ad} \cdot \text{sen}^2 \theta + P_{n, ad} \cdot \text{cos}^2 \theta}$$

en que:

$P_{\theta, ad}$: valor admisible para un ángulo θ entre cargas y la fibra, en kN;

$P_{p, ad}$: valor admisible para carga paralela a la fibra, en kN;

$P_{n, ad}$: valor admisible para carga normal a la fibra, en kN.

Tabla 41 - Capacidades admisibles de carga de un conector de anillo en uniones de cizalle simple, en kN

Diámetro exterior	Dimensiones mínimas de las piezas			Capacidades admisibles de carga			
				$P_{cp, ad}$	$P_{cn, ad}$	$P_{cp, ad}$	$P_{cn, ad}$
	Ancho	Espesor pieza		Grupos ES 6 y ES 5	Grupos ES 4 a ES 2		
Laterales		Central					
mm	mm	mm	mm				
66,5	90	20	32	6,100	2,300	10,600	3,700
-	-	20	45	6,550	2,750	11,400	4,450
-	-	32	70	8,000	3,700	13,900	6,000
-	-	≥ 45	≥ 90	9,850	3,700	15,550	6,000
108,5	140	32	45	12,400	-	19,200	-
-	-	32	70	19,100	7,100	29,100	10,200
-	-	≥ 45	≥ 90	20,500	8,950	31,550	13,100

9.7.5 Espaciamientos

9.7.5.1 Definiciones

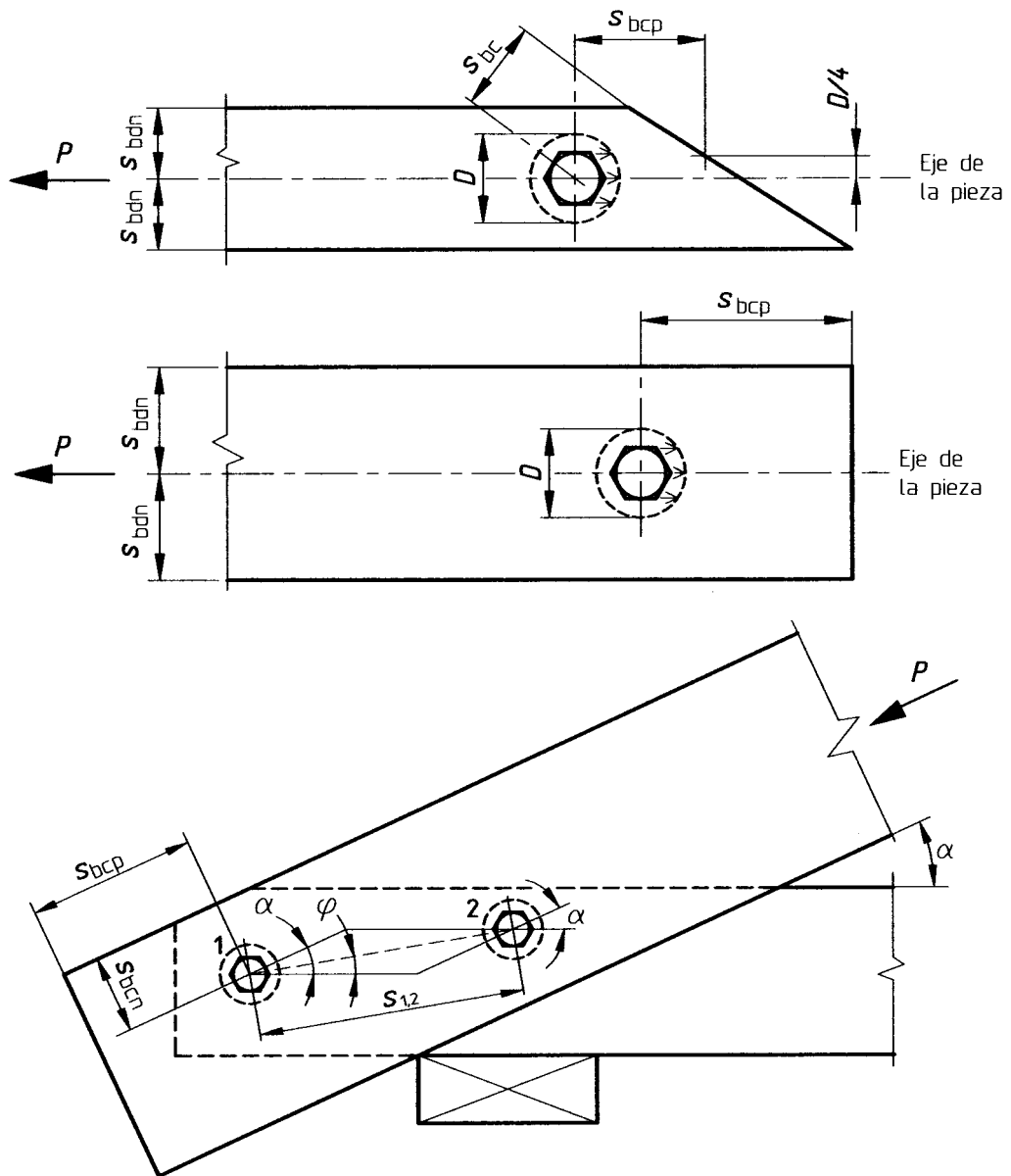
Espaciamientos básicos, s_c : distancias entre conectores o a los bordes, que permiten utilizar las capacidades admisibles de los conectores definidas en esta cláusula, que dependen del diámetro de éstos y del ángulo formado por las direcciones de la fuerza solicitante y la fibra de la madera.

Espaciamientos mínimos, s_{min} : menor distancia aceptada, entre conectores y a los bordes, cuyo uso exige la aplicación de un factor de modificación sobre la carga admisible.

9.7.5.2 Espaciamientos al borde

Los espaciamientos básicos y mínimos se determinan de acuerdo a Figura 42 y Tablas 42 y 43.

Si el borde tiene una inclinación respecto al eje de la pieza, la distancia al borde cargado, s_{bcp} , se mide paralelamente a la dirección de la fibra desde un punto desplazado en $D/4$ respecto al eje del conector, según se esquematiza en Figura 42.



- D diámetro del conector
- $S_{i,j}$ espaciamiento
- α ángulo formado por la dirección de la carga y la fibra de la madera
- S_{bc} distancia al borde cargado
- S_{bcp} distancia al borde cargado medido en la dirección paralela a la fibra
- S_{bdp} distancia al borde descargado medido en dirección paralela a la fibra
- φ ángulo formado por la línea que une el centro de dos conectores y la fibra de la madera
- S_{bdn} distancia al borde descargado medido en dirección normal a la fibra
- S_{bcn} distancia al borde cargado medido en dirección normal a la fibra

Figura 42 - Distancia al extremo, al borde y espaciamiento de conectores

Tabla 42 - Espaciamientos básicos y mínimos a los bordes de los maderos medidos según la dirección de la fibra

Diámetro exterior	Espaciamientos, en mm, según la dirección de la fibra			
	Básicos		Mínimos	
	Al borde cargado	Al borde descargado	Al borde cargado	Al borde descargado
D mm	$s_{c,bcp}$	$s_{c,bdp}^*)$	$s_{min,bcp}$	$s_{min,bdp}$
66,5	145	$105 + 0,44 \alpha^*)$	70	$65 + \alpha / 18^*)$
108,5	185	$145 + 0,44 \alpha^*)$	90	$85 + \alpha / 18^*)$

*) α = ángulo formado por las direcciones de la fuerza y la fibra, en grados (°).

Tabla 43 - Espaciamientos básicos y mínimos a los bordes de los maderos medidos normal a la dirección de la fibra

Diámetro exterior	Espaciamientos, en mm, perpendiculares a la dirección de la fibra				
	Básicos			Mínimos	
	Al borde cargado $s_{c,bcn}^*)$		Al borde descargado	Al borde cargado	Al borde descargado
D mm	$\alpha < 45^\circ$	$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$s_{c,bdn}$	$s_{min,bcn}$	$s_{min,bdn}$
66,5	$\frac{5\alpha}{9} + 45$	70	45	45	45
108,5	$\frac{5\alpha}{9} + 70$	95	70	70	70

*) α = ángulo formado por las direcciones de la fuerza y la fibra, en grados (°).

9.7.5.3 Espaciamientos entre conectores

Los espaciamientos básicos entre conectores vecinos, s_c , se determinan de acuerdo a la expresión:

$$s_c = \frac{s_{cp} \cdot s_{cn}}{\sqrt{s_{cp}^2 \cdot \text{sen}^2 \phi + s_{cn}^2 \cdot \text{cos}^2 \phi}}$$

en que:

- s_{cp} : espaciamiento básico entre dos conectores dispuestos consecutivamente según la dirección de la fibra;
- s_{cn} : espaciamiento básico entre dos conectores dispuestos consecutivamente según la dirección normal a la fibra;
- ϕ : ángulo formado por las direcciones de la recta que une los centros de conectores vecinos y la fibra.

Los valores de los espaciamientos básicos s_{cp} y s_{cn} y mínimos, entre conectores, se indican en Tabla 44.

Tabla 44 - Espaciamientos básicos y mínimos entre conectores vecinos, en mm

Diámetro exterior	Espaciamientos básicos, s_c				Espaciamientos mínimos
	Para conectores dispuestos consecutivamente según				
	La dirección de la fibra, s_{cp}		La dirección normal a la fibra, s_{cn}		
D mm	$0^\circ \leq \alpha^*) \leq 60^\circ$	$\alpha^*) > 60^\circ$	$0^\circ \leq \alpha^*) \leq 60^\circ$	$\alpha^*) > 60^\circ$	
66,5	$175 - 85 \alpha/60$	90	$90 + \alpha/3$	110	90
108,5	$230 - 5 \alpha/3$	130	$130 + 5 \alpha/12$	155	130

*) α = desangulación entre la fuerza y la fibra de la madera.

9.7.5.4 Factores de modificación por espaciamiento, K_{sc}

Cuando se materialicen espaciamientos, s , inferiores a los básicos, s_c o s_{bc} , las capacidades admisibles de carga se deben multiplicar por el menor valor K_{sc} que resulte de lo establecido en Tabla 45, según corresponda.

Tabla 45 - Factor de modificación por espaciamiento, K_{sc}

Diámetro exterior D mm	Desangulación, α , entre la fuerza y la fibra de la madera	Espaciamiento al borde medido		Espaciamiento entre conectores vecinos
		Según la dirección de la fibra	Según la dirección normal a la fibra	
66,5	$\alpha = 0^\circ$	$0,25 + 0,75 s/s_c$	-	$0,75 + 0,25 \left(\frac{s-90}{s_c-90} \right)$
	$\alpha < 45^\circ$	-	$\left(1 - \frac{\alpha}{265} \right) + \frac{\alpha}{265} \left(\frac{s-45}{s_c-45} \right)$	
	$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	-	$0,83 + 0,17 \left(\frac{s-45}{s_c-45} \right)$	
108,5	$\alpha = 0^\circ$	$0,25 + 0,75 s/s_c$	-	$0,75 + 0,25 \left(\frac{s-130}{s_c-130} \right)$
	$\alpha < 45^\circ$	-	$\left(1 - \frac{\alpha}{265} \right) + \frac{\alpha}{265} \left(\frac{s-70}{s_c-70} \right)$	
	$45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	-	$0,83 + 0,17 \left(\frac{s-70}{s_c-70} \right)$	

9.7.5.5 Cuando los conectores se empleen en maderas latifoliadas en condición verde, el espaciamiento básico al borde medido según la dirección de la fibra, se debe mayorar en un 50%.

9.8 Uniones con placas metálicas dentadas

9.8.1 Las siguientes especificaciones rigen para planchas de acero con tratamiento anticorrosivo, de al menos 1 mm de espesor nominal, e , que poseen un punzonado en forma de conector o clavo conformando un sistema de dientes ubicados perpendicularmente con respecto al plano de la plancha, con una misma dirección y sentido (ver Figura 43).

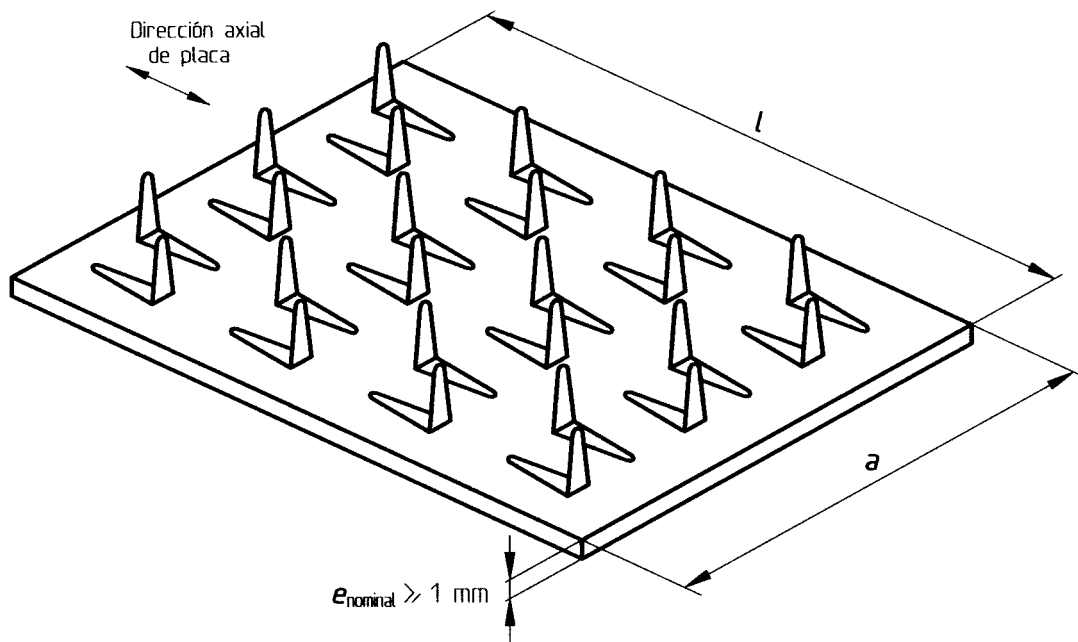


Figura 43 - Placa metálica dentada

9.8.2 Las placas metálicas dentadas se deben fabricar de acero que cumpla con las propiedades mínimas siguientes:

- Tensión de ruptura en tracción : 310 MPa
- Tensión de fluencia : 230 MPa
- Elongación en la ruptura según ASTM 446 : 20%

9.8.3 El diseño de uniones con placas metálicas dentadas exige:

- a) que existan dos placas actuando como cubrejuntas, las que se deben incrustar simultáneamente sobre las dos caras de los extremos de las piezas de madera que convergen a una unión o empalme, que sean de igual tamaño y queden dispuestas simétricamente respecto a los ejes de los maderos que se unen;
- b) que la placa metálica no se deforme durante su instalación, para lo cual se debe usar una prensa que haga penetrar completa y simultáneamente los dientes en la madera. No se acepta el uso de martillos o similares;
- c) que el eje del diente sea hincado perpendicularmente a la superficie de la madera;
- d) que la madera ubicada bajo la placa metálica dentada no presente arista faltante (canto muerto), nudos sueltos, agujeros o uniones endentadas (finger-joints);
- e) que las piezas de madera estén en condición seca ($H < 20\%$);
- f) que los maderos que se unen en un elemento constructivo tengan el mismo espesor, aceptándose una tolerancia menor o igual que 1 mm en el sector de la unión;
- g) que el espesor de las piezas que se unen sea mayor o igual que el doble de la penetración del diente;
- h) que exista un estrecho contacto de las superficies comunes entre las piezas individuales que se unen. Las uniones y empalmes de compresión deben asegurar el traspaso de las fuerzas sólo por medio del contacto directo entre las piezas.

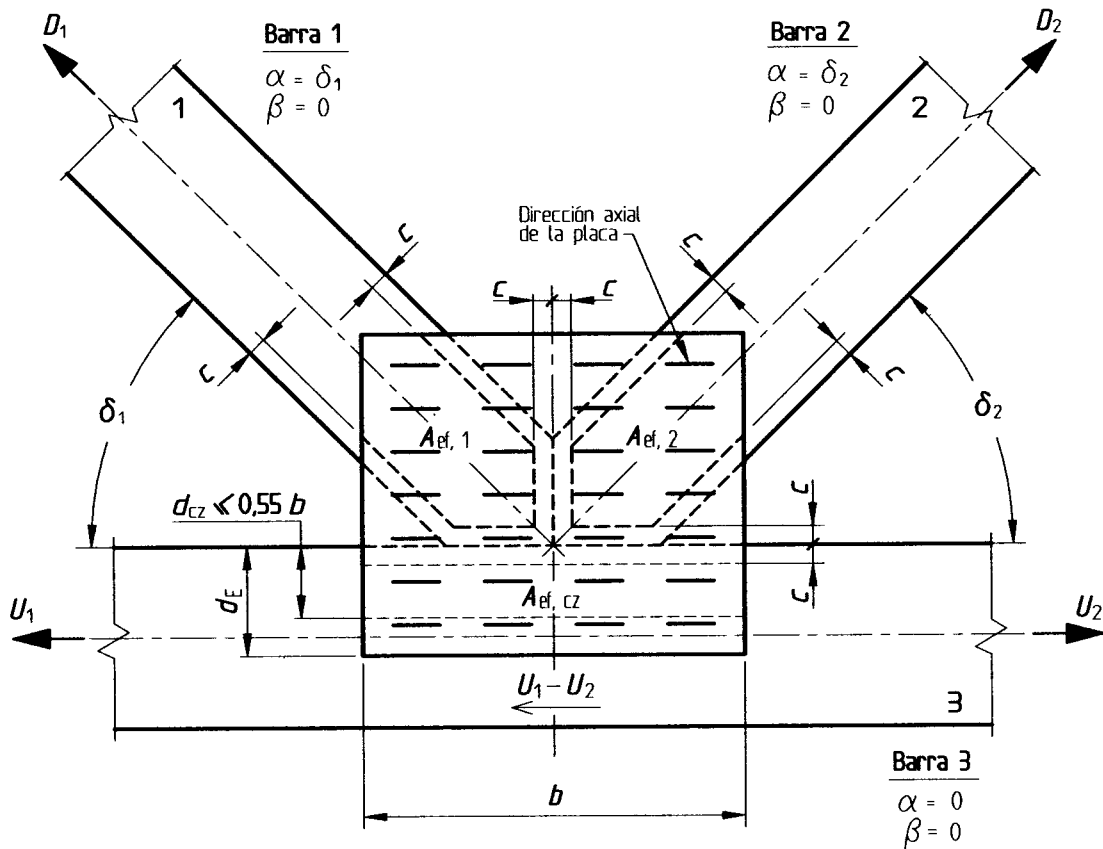
9.8.4 Las uniones con placas metálicas dentadas se pueden usar sólo en componentes constructivos que queden solicitados predominantemente por cargas estáticas.

9.8.5 El efecto de eventuales excentricidades en las uniones se debe considerar de acuerdo con lo especificado en 7.1.4, a excepción de lo establecido en 9.9.4.

9.8.6 Las placas metálicas dentadas requieren para su uso, de un certificado emitido por una institución oficial de ensayo de resistencia de materiales en el que consten la geometría, características del material y las capacidades de carga siguientes:

- a) capacidad admisible del endentado de la placa, $P_{el,ad}$, expresada en N por unidad de superficie de anclaje efectiva de placa, en función del ángulo α formado por la dirección de la fuerza con el eje axial de la placa (ver Figura 44) y del ángulo β formado por la dirección de la sollicitación y la dirección de la fibra de la madera, tomando debida consideración de la especie maderera.

NOTA - El eje axial de la placa se orienta paralelamente a la dirección de las ranuras en el caso de placas ranuradas, y al eje de simetría que condiciona la mayor resistencia de tracción en la placa para el caso de otro tipo de configuraciones de endentado.



- b intersección de la placa con la junta de unión solicitada a cizalle
- α ángulo formado por la dirección de la fuerza con el eje axial de la placa
- β ángulo formado por la dirección de la fuerza con la fibra de la madera
- c ancho de la franja de borde ($c = 10 \text{ mm}$)
- A_{ef} área efectiva de anclaje
- d_E profundidad de anclaje de la placa en el cordón. Se exige $d_E \gg 35 \text{ mm}$
- d_{cz} distancia de la superficie de contacto entre placa y madera hasta la cual se supone efectivo el trabajo estructural del anclaje

Figura 44 - Determinación del área efectiva de anclaje

- b) capacidad admisible de la placa en tracción o compresión, $P_{p, c/t, ad}$ expresada en N por unidad de longitud de sección transversal de placa, en función del ángulo α formado por la dirección de la fuerza con el eje axial de la placa;
- c) capacidad admisible de la placa en cizalle, $P_{p, cz, ad}$, expresada en N por unidad de longitud de cizalle de placa, en función del ángulo α formado por la dirección de la fuerza con el eje axial de la placa (ver Figura 45).

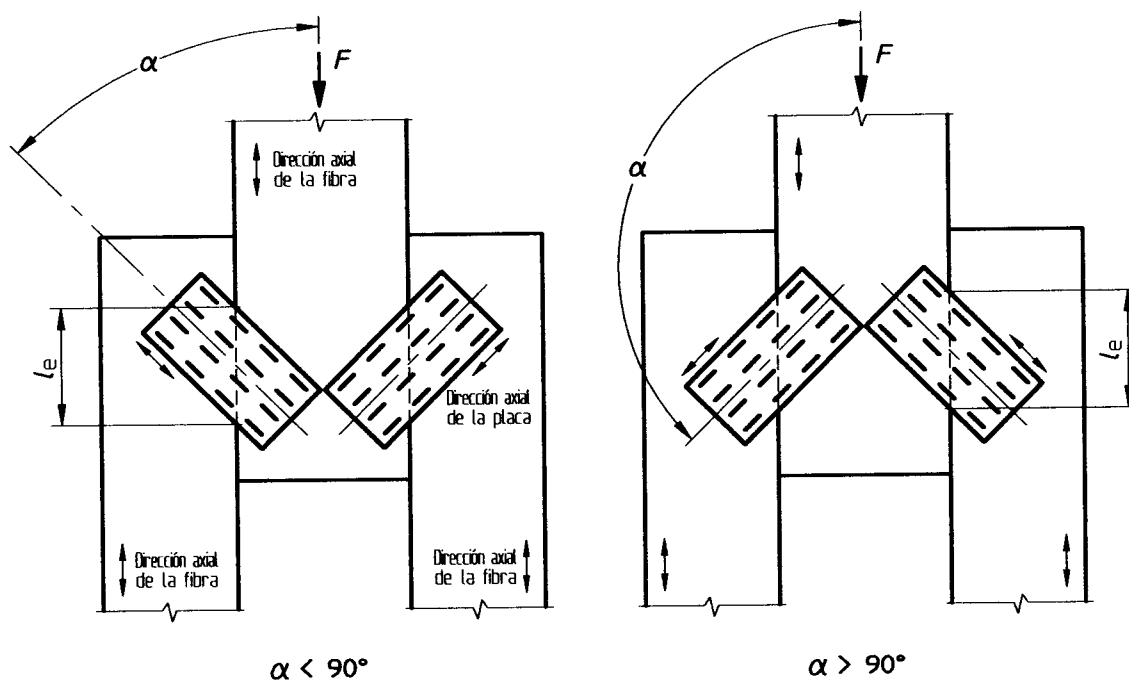


Figura 45 - Ángulo α , formado entre la dirección de la fuerza y el eje axial de la placa

9.9 Capacidad de carga de diseño del endentado de placa

9.9.1 La capacidad de carga de diseño del endentado de placa, $P_{el, dis}$, se determina de acuerdo con la expresión:

$$P_{el, dis} = P_{el, ad} \cdot K_D \cdot K_{Ue} \cdot K_{UH}$$

en que:

- $P_{el, ad}$: capacidad admisible de carga del endentado, según 9.8.6 a), en MPa;
- K_D : factor de modificación por duración de la carga, según 6.1.2;
- K_{UH} : factor de modificación por contenido de humedad, según 9.4.3;
- K_{Ue} : factor de modificación por excentricidad, aplicable en los casos establecidos en 9.9.4.

9.9.2 En el diseño de uniones con placas dentadas, se deben verificar tanto las solicitaciones actuantes sobre el endentado de las placas en cada uno de los maderos que convergen a la unión, como también las tensiones que se desarrollan en las placas en su sección transversal más solicitada.

9.9.3 Verificación del endentado de placa

9.9.3.1 En cada placa se debe controlar que el área efectiva de anclaje permita traspasar las fuerzas de tracción, compresión y/o cizalle que actúan sobre la unión o empalme, sin que se exceda la capacidad de carga de diseño del endentado, $P_{el,dis}$.

9.9.3.2 El área efectiva de anclaje de una placa sobre cada madero, A_{ef} , se calcula deduciendo de la superficie bruta de contacto entre la placa y la barra, las franjas de borde del madero, considerando para estos efectos aquellos bordes o extremos que queden en contacto con los restantes maderos que integran la unión y los bordes libres (ver Figura 44). El ancho c de estas franjas debe ascender al menos a 10 mm, salvo que en el certificado de ensayo de la placa se establezca algo diferente.

9.9.3.3 En uniones comprimidas de tope, rectas y perpendiculares, en las que intervengan sólo dos maderos, la fuerza total se debe poder traspasar por contacto directo entre los maderos. Sin embargo, para asegurar la fijación posicional de los maderos, las placas se diseñan para la mitad de la fuerza a traspasar.

9.9.3.4 Para solicitaciones de cizalle la verificación se desarrolla considerando un área efectiva de cizalle, $A_{ef,cz}$, dado que sólo para los dientes suficientemente próximos a la junta de cizalle es posible suponer una eficiencia de trabajo estructural completa.

Consecuentemente se supone efectivo únicamente el sector de la superficie de contacto entre placa y madera adyacente a la junta de unión, hasta una distancia, d_{cz} , no mayor que 55% de la intersección de la placa con la junta de unión solicitada a cizalle (ver Figura 44).

9.9.3.5 Solicitaciones combinadas de tracción y cizalle

Ante una interacción de solicitaciones de tracción y cizalle se deben evaluar separadamente las tensiones de trabajo de tracción, $f_{el,t,tr}$, y cizalle, $f_{el,cz,tr}$, que se inducen en el endentado, bajo consideración de las áreas efectivas de anclaje A_{ef} y $A_{ef,cz}$, respectivamente, de acuerdo con lo establecido en 9.9.3.1, 9.9.3.2 y 9.9.3.4. Las componentes tensionales, $f_{el,t,tr}$ y $f_{el,cz,tr}$, permiten calcular tanto la magnitud de la tensión de trabajo resultante, $f_{el,r,tr}$, como la dirección de esta última, orientación que determina la capacidad de carga admisible del endentado, $P_{el,ad}$, en cada madero, en función de las correspondientes desangulaciones α y β .

$$f_{el,r,tr} = \sqrt{f_{e,t,tr}^2 + f_{e,cz,tr}^2}$$

$$\phi = \text{arc tg} \frac{f_{e,t,tr}}{f_{e,cz,tr}}$$

en que:

ϕ : ángulo entre la resultante y el plano de contacto entre maderos.

9.9.3.6 Solicitaciones combinadas de compresión y cizalle

El procedimiento es análogo al establecido para la interacción de tracción y cizalle en 9.9.3.5, pudiendo incorporarse en la evaluación de la tensión de trabajo de compresión, las consideraciones relativas a uniones comprimidas indicadas en 9.9.3.3.

9.9.4 Excentricidades en la unión

En la unión del tijeral con la cuerda horizontal en el nudo de apoyo de una cercha y en consideración a la coexistencia en dicho sector de las máximas fuerzas y las mayores excentricidades, se debe aplicar sobre la capacidad admisible de carga del endentado el factor de modificación por excentricidad, K_{Ue} , que se obtiene de la expresión:

$$K_{Ue} = 0,85 - 0,05 (12 \cdot \operatorname{tg} \phi - 2)$$

$$\text{debiendo respetarse } 0,65 \leq K_{Ue} \leq 0,85$$

En la expresión anterior ϕ corresponde al ángulo de incidencia del tijeral sobre el cordón horizontal.

El factor de modificación por excentricidad considera las exigencias de franja de borde para las placas de la unión de apoyo, por lo que las exigencias de área efectiva de anclaje establecidas en 9.9.3.2 no son aplicables sobre las placas de esta unión. En consecuencia, las tensiones efectivas de anclaje se calculan considerando las áreas brutas de anclaje en cada pieza.

9.9.5 Verificación de la placa metálica dentada

9.9.5.1 Cada placa debe tener en su sección transversal más solicitada la capacidad resistente suficiente en tracción, compresión y/o cizalle para traspasar las fuerzas que solicitan la unión. Para estos efectos se debe controlar que las solicitaciones de placa en tracción o compresión, como también en cizalle, evaluados considerando la fuerza solicitante de tracción, compresión o cizalle y la longitud de la sección transversal crítica, l_e , sin deducir los debilitamientos de sección inherentes al endentado (ver Figura 45), no excedan las correspondientes capacidades admisibles de carga indicadas en 9.8.6 b) y c).

9.9.5.2 En uniones comprimidas de tope, rectas y perpendiculares en las que intervengan sólo dos maderos, rige lo establecido en 9.9.3.3.

9.9.5.3 Si una sección transversal de placa queda solicitada simultáneamente por fuerzas de tracción o compresión y cizalle, se debe verificar adicionalmente que:

$$\left(\frac{f_{p,t/c,tr}}{P_{p,t/c,dis}} \right)^2 + \left(\frac{f_{p,cz,tr}}{P_{p,cz,dis}} \right)^2 \leq 1$$

en que:

$f_{p,t/c,tr}$: solicitación de trabajo en tracción/compresión en la sección transversal de la placa, evaluada según 9.9.5.1, en N/mm;

- $f_{p,cz,tr}$: sollicitación de trabajo en cizalle en la sección transversal de la placa, evaluada según 9.9.5.1, en N/mm;
- $P_{p,t/c,dis}$: capacidad de carga de diseño de placa en tracción/compresión, ver 9.8.6 b), en N/mm;
- $P_{p,cz,dis}$: capacidad de carga de diseño de placa en cizalle, ver 9.8.6 c), en N/mm.

9.9.6 Verificación de sollicitaciones de tracción perpendicular a la dirección de la fibra en la madera

9.9.6.1 La tensión efectiva de trabajo en tracción perpendicular a la fibra, $f_{m,tr}$ evaluada de acuerdo al método que se describe en 9.9.6.2, no debe exceder la tensión de diseño en tracción perpendicular a la fibra, $F_{m,dis}$. En todo caso y para evitar sollicitaciones inconvenientes para la madera, las placas se deben ubicar en las uniones, de manera que su proyección, d_E , en los maderos, medida desde la junta de unión, no resulte menor que 35 mm (ver Figura 44).

La tensión admisible en tracción normal a la dirección de la fibra se puede estimar considerando los valores indicados en Tabla B.1 de Anexo B para la resistencia característica y aplicando un factor de ajuste 4,1. El Pino radiata se puede asociar a la clase de densidad $\rho - 400$.

9.9.6.2 El control de la tensión efectiva, $f_{m,tr}$ se lleva a cabo considerando una sección longitudinal equivalente de madera, de acuerdo a la expresión:

$$f_{m,tr} = \frac{T_n}{b [w + 0,5 (l_1 + l_2)]}$$

debiendo cumplirse que $l_1 \leq 4 (d_E - c)$; $l_2 \leq 4 (d_E - c)$ y $d_E - c \leq 0,6 H$

en que:

- T_n : sollicitación de tracción normal a las fibras, en N;
- b : espesor de la madera, en mm;
- $[w + 0,5 (l_1 + l_2)]$: largo equivalente de sección longitudinal (plano de espesor, b , desarrollo paralelo a la dirección de la fibra y tangente al área de anclaje) sometida a un régimen de tensiones de tracción perpendicular a la fibra de magnitud constante (ver Figura 46), en mm;

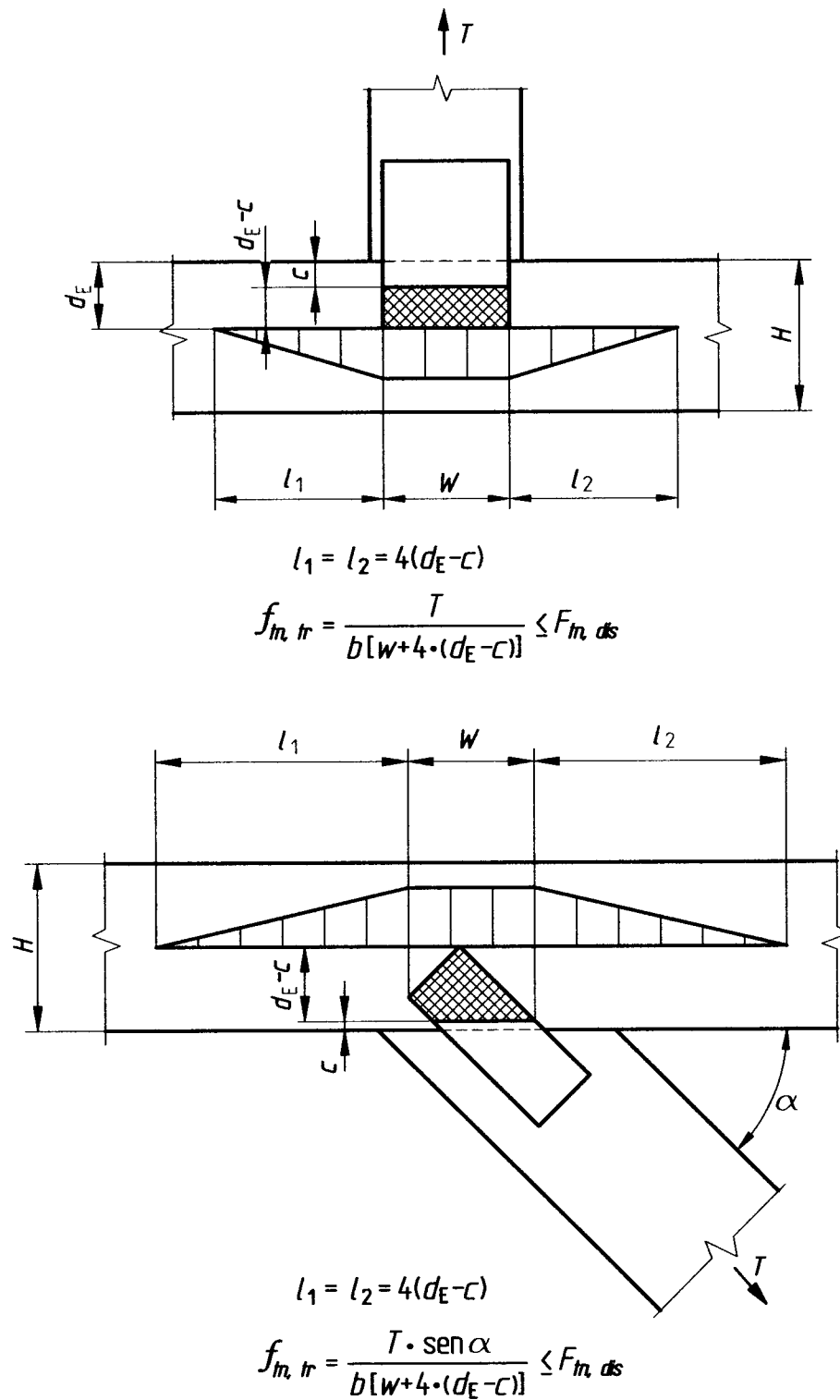
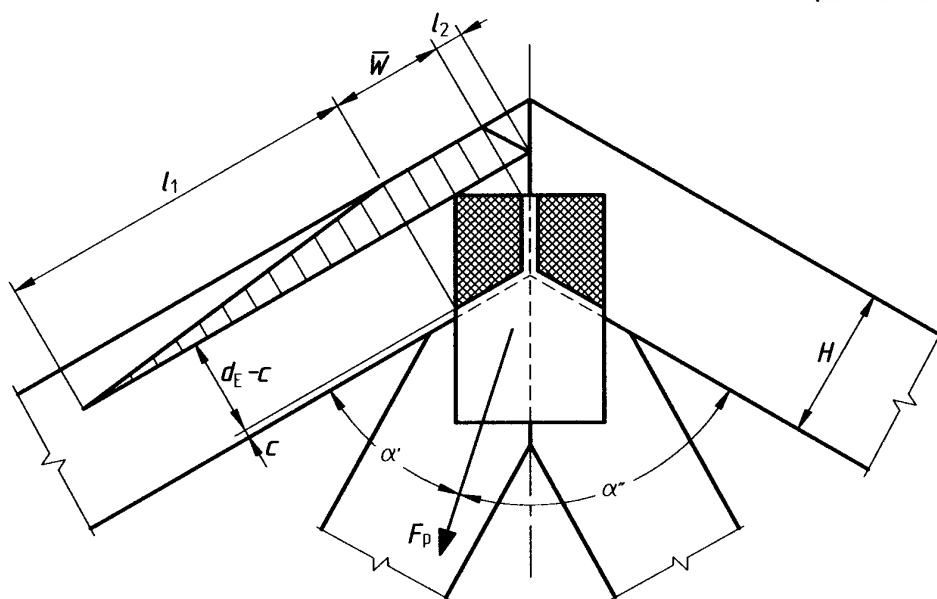


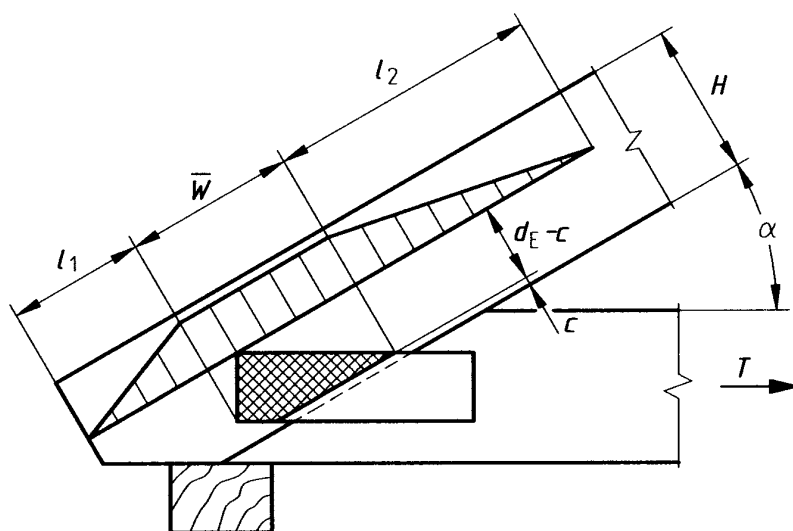
Figura 46 - Distribución de las tensiones de tracción normal a la fibra y condiciones de verificación (continúa)

(continuación)



$$l_1 = 4(d_E - c)$$

$$f_{m, tr} = \frac{F_p \cdot \text{sen } \alpha'}{b[w + 2 \cdot (d_E - c) + 0,5 l_2]} \leq F_{m, ds}$$



$$l_2 = 4(d_E - c)$$

$$f_{m, tr} = \frac{F_p \cdot \text{sen } \alpha}{b[w + 2 \cdot (d_E - c) + 0,5 l_1]} \leq F_{m, ds}$$

Figura 46 - Distribución de las tensiones de tracción normal a la fibra y condiciones de verificación (conclusión)

9.10 Uniones de contacto entre piezas de madera

9.10.1 Uniones de tope, rectas e inclinadas

9.10.1.1 En uniones de tope rectas con superficies de contacto perpendiculares a la dirección de la fibra se debe respetar lo establecido en 7.3.4.

9.10.1.2 En uniones de tope ortogonales en que una pieza queda solicitada según la dirección normal a la fibra de la madera se debe respetar lo establecido en 7.5.

9.10.1.3 Las tensiones de diseño de compresión para uniones inclinadas según un ángulo α con respecto a la dirección de la fibra de la madera (ver Figura 47) se obtienen interpolando con la expresión de Hankinson entre los valores de diseño en compresión paralela y compresión normal a la dirección de la fibra de la madera $F_{cp,dis}$ y $F_{cn,dis}$, respectivamente:

$$F_{ca,dis} = \frac{F_{cp,dis} \cdot F_{cn,dis}}{F_{cp,dis} \cdot \text{sen}^2 \alpha + F_{cn,dis} \cdot \text{cos}^2 \alpha}$$

9.10.1.4 Las deformaciones de la unión según la dirección de la fuerza, en uniones de tope rectas o inclinadas, se pueden suponer de 1,0 mm a 1,5 mm.

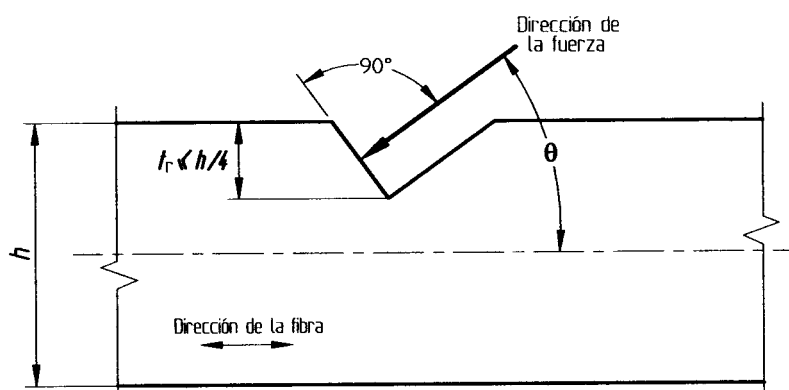


Figura 47 - Unión de tope inclinada

9.10.2 Embarbillados

9.10.2.1 Para el traspaso de una fuerza de compresión que solicita la superficie frontal de embarbillado (ver Figura 48), se deben satisfacer las siguientes condiciones relativas a la profundidad de rebaje, t_r , y a la longitud de saliente, l_s .

a) Condición para la profundidad del rebaje, t_r ,

$$t_r \geq \frac{P \cdot \cos(\alpha - \gamma) \cdot \cos \gamma}{b \cdot F_{c\delta, dis}} \text{ (mm)}$$

b) Condición para la longitud de saliente, l_s :

$$l_s \geq \frac{P \cdot \cos(\alpha - \gamma) \cdot \cos \gamma}{b \cdot F_{cz, dis}} \text{ (mm)}$$

en que:

- P : compresión que solicita la barra diagonal incidente, en N;
- b : menor espesor de los maderos, en mm;
- α : ángulo agudo que forman las barras constituyentes de la unión, en grados;
- γ : ángulo agudo formado entre el plano frontal del embarbillado y el plano vertical, en grados;
- δ : mayor valor entre los ángulos, " $\alpha - \gamma$ " y " γ ", en grados;
- $F_{c\delta, dis}$: tensión de diseño en compresión inclinada en ángulo con respecto a la dirección de la fibra, en MPa;
- $F_{cz, dis}$: tensión de diseño en cizalle, en MPa.

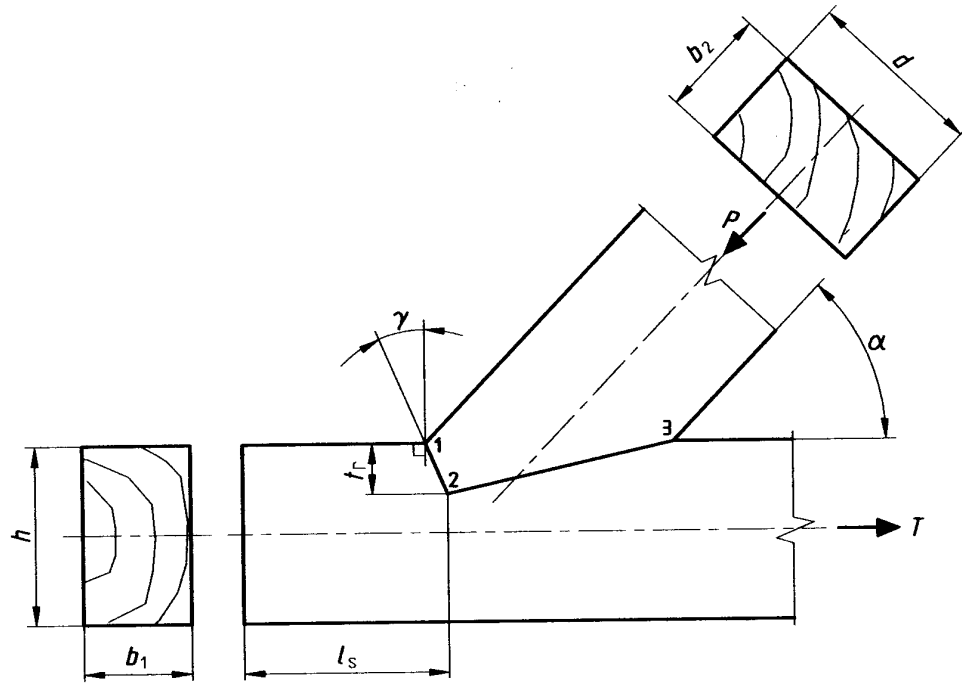
9.10.2.2 La profundidad máxima de rebaje, t_r , no debe debilitar en más del 25% la altura efectiva de la sección transversal del madero base, cuando las desangulaciones α no resultan superiores a 50° . Para desangulaciones superiores a 60° , el debilitamiento máximo se limita a la sexta parte de la altura de dicha sección. En situaciones intermedias, el debilitamiento admisible se puede estimar por medio de una interpolación entre ambos límites.

Cuando sobre un madero base inciden barras desde lados opuestos, independientemente de la desangulación α , el rebaje máximo permitido t_r asciende a la sexta parte de la dimensión transversal debilitada (ver Figura 49).

En ningún caso se aceptan rebajes t_r , inferiores a 15 mm.

9.10.2.3 Con el propósito de asegurar la unión contra eventuales desplazamientos laterales entre las piezas, el madero incidente se debe fijar al madero de apoyo por medio de un perno, cubrejuntas laterales clavadas o cualquier disposición de efecto equivalente (ver Figura 50).

9.10.2.4 La deformación de la unión en un embarbillado se puede estimar en 1,0 mm a 1,5 mm.



- | | | | |
|------------|------------------------------------|-------|------------------------|
| 1-2 | superficie frontal de embarbillado | d | altura puntal |
| 2-3 | superficie dorsal de embarbillado | h | altura de madero base |
| b_1, b_2 | ancho de las piezas | t_r | profundidad del rebaje |
| | | l_s | longitud de saliente |

Figura 48 - Geometría y designaciones en un embarbillado simple

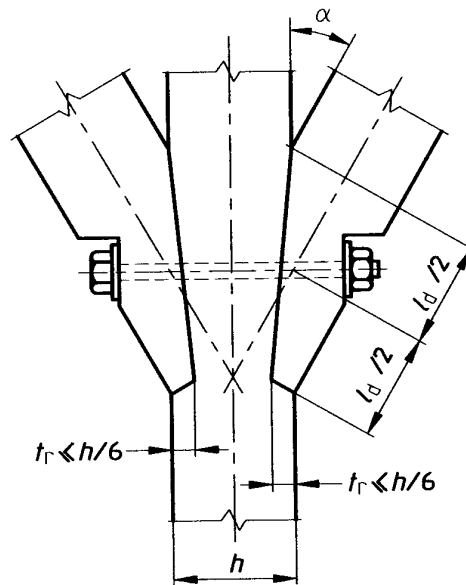


Figura 49 - Embarbillado doble

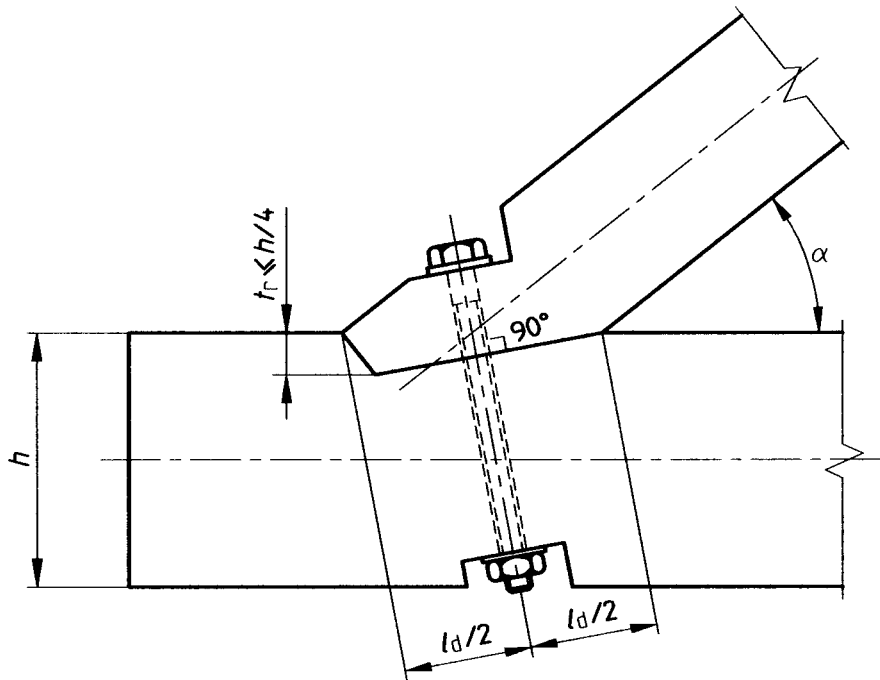


Figura 50 - Disposición de perno de sujeción

9.11 Módulos de corrimiento para el cálculo de flecha

9.11.1 Para el cálculo de flechas y contraflechas de elementos de construcción de sección transversal compuesta con ligazón flexible, solicitadas en flexión y de los corrimientos en empalmes y uniones materializadas con medios de unión mecánicos, se pueden usar los valores indicados en Tabla 46 para los módulos de corrimiento (C), o bien corrimientos calculados matemáticamente bajo la acción de solicitaciones de peso propio y cargas eventuales, valores que en ningún caso podrán resultar inferiores a 1,25 veces los valores de Tabla 14.

9.11.2 Si la solicitación de cálculo de una unión es mayor que la capacidad de carga admisible, la deformación δ , según Tabla 46 se debe amplificar en la razón formada por la solicitación efectiva y la capacidad de carga admisible.

9.11.3 Ante solicitaciones menores que la capacidad de carga admisible, se puede reducir el corrimiento δ en forma proporcional.

Tabla 46 - Valores de cálculo para módulos de corrimiento C, en N/mm, y corrimientos δ , en mm, para P_{ad} ¹⁾, de medios de unión, en uniones y empalmes

Medio de unión	Tipo de unión		Módulo de corrimiento C N/mm	Corrimiento, δ para P_{ad} mm	
Conectores de presión y precisión	Uniones con conectores de anillo		$1,0 \cdot P_{ad}$	1	
Pasadores y pernos	Unión con pasadores y pernos en coníferas		$1,2 \cdot P_{ad}$	0,8	
	Unión con pasadores y pernos en latifoliadas		$1,5 \cdot P_{ad}$	0,67	
	M.L.E. y planchas de acero		$0,7 \cdot P_{ad}$	1,4	
Clavos	Uniones de cizalle simple	Sin perforación guía	$5 \cdot P_{ad} / d_c$	$0,2 d_c$	
		Con perforación guía	$10 \cdot P_{ad} / d_c$	$0,1 d_c$	
	Uniones de cizalle múltiple con y sin perforación guía		$10 \cdot P_{ad} / d_c$	$0,1 d_c$	
	Uniones de cizalle simple y múltiple de tableros contrachapados con M.A. y M.L.E.		$5 \cdot P_{ad} / d_c$	$0,2 d_c$	
	Uniones de cizalle simple de tableros de partículas con M.A. y M.L.E.		$6,7 \cdot P_{ad} / d_c$	$0,15 d_c$	
	Uniones clavadas con planchas de acero	Cizalle simple	Sin perforación guía ²⁾	$5 \cdot P_{ad} / d_c$	$0,2 d_c$
			Con perforación guía	$10 \cdot P_{ad} / d_c$	$0,1 d_c$
		Cizalle múltiple con perforación guía		$20 \cdot P_{ad} / d_c$	$0,05 d_c$
Tornillos	Uniones de cizalle simple en madera aserrada y madera laminada encolada		$10 \cdot P_{ad} / d_t$	$0,10 d_t \leq 0,8$	
	Uniones de cizalle simple de materiales derivados de la madera con M.A. y M.L.E.		$12,5 \cdot P_{ad} / d_t \leq 1,25 P_{ad}$	$0,08 d_t \leq 0,8$	
	Uniones de cizalle simple de piezas de acero con madera aserrada y M.L.E.		$0,7 \cdot P_{ad}$	1,4	

1) Para P_{ad} se debe suponer la carga de diseño válida para un estado de cargas principal. Aquí se deben considerar todas las reducciones y mayoraciones pertinentes, como por ejemplo, los efectos del contenido de humedad y de la desangulación entre las direcciones de la fuerza y la fibra, las reducciones por concepto de disposición acumulativa de medios de unión según la dirección de la fuerza, el incremento de la capacidad admisible por perforación guía en clavos, y similares.

2) Los valores correspondientes a esta línea rigen también para contenidos de humedad de la madera superiores a 20% durante la fabricación, pero que en servicio no exceda 18%. Si el contenido de humedad de equilibrio excede 18% se debe considerar:

$$C = 10 P_{ad} / d_c \text{ y } \delta = 0,10 d_c$$

M.A. = madera aserrada

M.L.E. = madera laminada encolada

d_c = diámetro del clavo

d_t = diámetro del tornillo.

10 Madera laminada encolada

10.1 Generalidades

10.1.1 Las disposiciones contenidas en esta cláusula se deben aplicar al diseño estructural de elementos de madera laminada encolada cuyo proceso de fabricación asegure el cumplimiento de los requisitos establecidos en NCh2148.

10.1.2 A menos que en esta cláusula se especifique de otra forma, los procedimientos de diseño estructural establecidos para la madera aserrada, deben ser aplicados también a los elementos estructurales de madera laminada.

10.1.3 Los requisitos y cargas admisibles establecidos para los elementos de unión actuando en madera aserrada, se deben aplicar también cuando ellos actúan en madera laminada encolada.

10.1.4 El cálculo de elementos estructurales de madera laminada encolada debe considerar el efecto de las solicitaciones especiales producidas por la fabricación, transporte, montaje, etc.

10.1.5 En la fabricación de elementos estructurales de madera laminada, es posible combinar láminas de distintos grados de calidad (ver NCh2165).

10.2 Tensiones admisibles y módulos elásticos

Las tensiones admisibles y los módulos de elasticidad que se deben asignar a la madera laminada estructural fabricada con láminas conformadas con madera aserrada clasificada según NCh2150, son las especificadas en NCh2165.

10.3 Factores de modificación

10.3.1 Los factores de modificación a considerar en la determinación de las tensiones de diseño que se deben asignar a los elementos estructurales en madera laminada encolada, son los siguientes:

10.3.1.1 Por duración de carga, K_D , calculado según 6.1.2; por temperatura, K_T , según 6.1.4 y por tratamiento químico, K_Q , según 6.1.5.

10.3.1.2 Por volcamiento, K_{λ_v} , calculado según 7.2.2.4; pero reemplazando F_{fE} por $F_{fE,ml}$, con:

$$F_{fE,ml} = \frac{0,61 \cdot E_{dis}}{\lambda_v^2}$$

La tensión admisible de flexión $F_{f,dis}^*$ incorporada en la expresión de $K_{\lambda v}$ se determina según NCh2165 y se pondera por todos los factores de modificación aplicables, excepto K_v y $K_{\lambda v}$.

10.3.1.3 Por esbeltez, K_{λ} , calculado según 7.3.2.3, pero considerando para las constantes A, B las expresiones siguientes:

$$A = \frac{\frac{F_{cEml}}{F_{cp,dis}} \cdot \left(1 + \frac{\lambda}{300}\right) + 1}{1,8}$$

$$B = \frac{F_{cEml}}{0,9 \cdot F_{cp,dis}}$$

en que:

$F_{cp,dis}$: tensión de diseño en compresión paralela, calculada según NCh2165, MPa;

F_{cEml} : $\frac{5,0 \cdot E_{dis}}{\lambda^2}$, en MPa;

E_{dis} : módulo de elasticidad de diseño, calculado según NCh2165, en MPa;

λ : esbeltez reguladora del diseño.

10.3.1.4 Por volumen, K_v , aplicable sólo a la tensión admisible de flexión en vigas que funcionan en laminación horizontal.

$$K_v = \left(\frac{6,40}{L}\right)^{1/10} \cdot \left(\frac{300}{h}\right)^{1/10} \cdot \left(\frac{135}{b}\right)^{1/10} \leq 1,0$$

en que:

L : longitud de la viga entre puntos de inflexión de momento, en m;

h : altura de la sección transversal, en mm;

b : ancho de la sección transversal, en mm.

10.3.1.5 Por concentración de tensiones, K_{ct}

El factor de modificación por concentración de tensiones, K_{ct} , se especifica en Tabla 19.

10.3.2 El factor de modificación por volumen, K_v , no es acumulativo con $K_{\lambda v}$ (factor de modificación por volcamiento) pues reduce tensiones de flexión en cantos diferentes. K_v afecta al canto traccionado y $K_{\lambda v}$ al comprimido.

10.4 Flexión y compresión paralela

Las piezas sometidas a una combinación de flexión respecto a uno o ambos ejes principales y a compresión axial (ver Figura 16) se deben dimensionar de manera que se verifique la expresión siguiente:

$$\left(\frac{f_c}{F_{c\lambda,dis}}\right)^2 + \frac{f_{fx}}{\left(1 - \frac{f_c}{F_{cEx}}\right) \cdot F_{fx,dis}} + \frac{f_{fy}}{\left[1 - \frac{f_c}{F_{cEy}} - \left(\frac{f_{fx}}{F_{fE}}\right)^2\right] \cdot F_{fy,dis}} \leq 1$$

$$f_c < F_{cEx} = \frac{5 \cdot E_{x,dis}}{\lambda_x^2} \quad \text{para flexión simple y desviada;}$$

$$f_c < F_{cEy} = \frac{5 \cdot E_{y,dis}}{\lambda_y^2} \quad \text{para flexión desviada;}$$

$$f_{fx} < F_{fE} = \frac{0,61 \cdot E_{y,dis}}{\lambda_v^2} \quad \text{para flexión desviada;}$$

en que:

- f_c : tensión efectiva de compresión paralela a la fibra, en MPa;
- f_{fx} : tensión efectiva de flexión de canto (carga de flexión aplicada sobre el canto de la pieza), en MPa;
- f_{fy} : tensión efectiva de flexión de cara (carga de flexión aplicada sobre la cara de la pieza), en MPa;
- $F_{c\lambda,dis}$: tensión de diseño admisible en compresión paralela modificada por la esbeltez mayor, en MPa;
- $F_{fx,dis}$: tensión de diseño admisible en flexión para cargas aplicadas sobre el canto, en MPa;
- $F_{fy,dis}$: tensión de diseño admisible en flexión para cargas aplicadas sobre la cara, en MPa;

$\lambda_x = \frac{L_{Px}}{i_x}$: esbeltez condicionada por los puntos de apoyo que restringen el pandeo en el plano de flexión inducida por cargas actuantes sobre el canto;

$\lambda_y = \frac{L_{Py}}{i_y}$: esbeltez condicionada por los puntos de apoyo que restringen el pandeo en el plano de flexión inducida por cargas actuantes sobre la cara;

$\lambda_v = \sqrt{\frac{l_v \cdot h}{b^2}}$: esbeltez de volcamiento, calculada según 7.2.1.8;

F_{fE} : tensión de diseño de volcamiento elástico en vigas, en MPa.

10.5 Deformaciones

10.5.1 Las vigas de madera laminada pueden ser fabricadas con una contraflecha destinada a compensar la deformación derivada de las cargas permanentes. Para considerar la deformación permanente que se presenta con las cargas de larga duración, se acepta, como práctica usual, una contraflecha mínima igual a 1,5 veces la deformación instantánea calculada con las cargas permanentes.

10.5.2 Para incluir las deformaciones por corte se asume para el módulo de corte, G , el valor dado por la expresión siguiente:

$$G = \frac{E_f}{15}$$

en que:

E_f : módulo de flexión del elemento obtenido de NCh2165.

10.6 Rebajes

El borde flexo-traccionado de vigas no se debe rebajar, excepto en los extremos, para la materialización de apoyos, aceptándose profundidades de rebaje de hasta $1/10$ de la altura de la pieza, con un máximo de 75 mm.

El borde flexo-comprimido no se debe rebajar, excepto en los extremos de las piezas, donde se aceptan rebajes de hasta $2/5$ de la altura de la pieza, con un desarrollo máximo de $1/3$ de la luz.

10.7 Vigas curvas y vigas rectas con altura variable

10.7.1 Tensiones

10.7.1.1 En la zona con curvatura o en la sección transversal de la cumbrera de vigas curvas o vigas rectas con altura variable, respectivamente, según los esquemas de Figuras 51 a 53 se deben verificar tanto las tensiones de tracción o compresión normal a la dirección de la fibra como las tensiones de flexión. En vigas rectas y curvas con altura de sección variable según Figuras 52 y 53 se debe verificar adicionalmente las interacciones tensionales en el borde inclinado con respecto a la dirección de la fibra.

10.7.1.2 La determinación de las tensiones máximas de tracción o compresión normal a la fibra y de flexión inducidas por el momento flector en la zona con curvatura, para vigas según Figura 51 y en la sección de la cumbrera, para vigas de geometría, según Figuras 52 y 53 con inclinaciones de borde con respecto a los planos de laminación $\phi_i \leq 20^\circ$, con respecto a los planos de laminación se puede llevar a cabo, cuando se desee prescindir de un cálculo exacto, aplicando las expresiones establecidas en 10.7.1.3 y 10.7.1.4, respectivamente.

En la verificación de la interacción de tensiones según 10.7.1.6 se debe considerar la tensión máxima de flexión que se produce en la viga, exceptuando la sección transversal de la cumbrera.

10.7.1.3 Tensiones normales a la dirección de la fibra

En vigas de altura variable, rectas o curvas se debe verificar que, en la cumbrera, el valor máximo de la tensión normal a la dirección de la fibra, $f_{m,máx}$, satisface la condición:

$$f_{m,máx} = k_r \cdot \frac{6 \cdot M_m}{b \cdot h_m^2} \leq F_{m,dis} \quad \text{o} \quad F_{cn,dis}$$

donde

$$k_r = A + B \left(\frac{h_m}{R_m} \right) + C \left(\frac{h_m}{R_m} \right)^2$$

en que:

$$A = 0,2 \cdot \tan \phi_i ;$$

$$B = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \phi_i + 2,6 \cdot \tan^2 \phi_i ;$$

$$C : 2,1 \cdot \tan \phi_i - 4 \cdot \tan^2 \phi_i ;$$

$F_{m,dis}$: tensión de diseño de tracción normal a la fibra, en MPa;

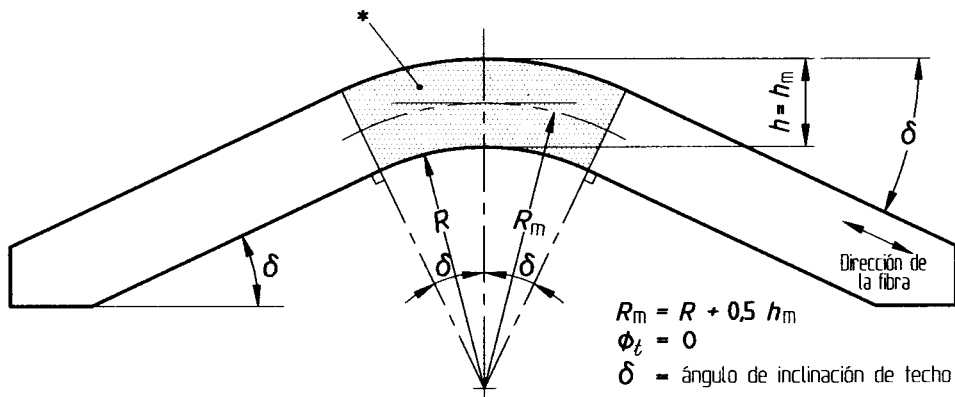
$F_{cn,dis}$: tensión de diseño de compresión normal a la fibra, en MPa.

Para madera laminada encolada de pino radiata $F_{tn,dis}$ se deriva aplicando una razón de resistencia $RR = 0,25$ sobre la correspondiente propiedad básica definida en NCh2165 (0,43 MPa). Para madera laminada de otras especies $F_{m,dis}$ se determina aplicando un factor de ajuste 4,1 sobre la resistencia característica correspondiente a la densidad normal característica de la especie indicada en Anexo B, Tabla B.1.

Cuando la tensión de tracción normal a la dirección de la fibra $f_{n,máx}$ resulta mayor que la tensión de diseño $F_{tn,dis}$, la totalidad de las fuerzas inducidas por las tensiones de tracción normal a la dirección de la fibra deberán neutralizarse por medio de refuerzos constructivos, de acuerdo con el procedimiento de diseño establecido en Anexo U.

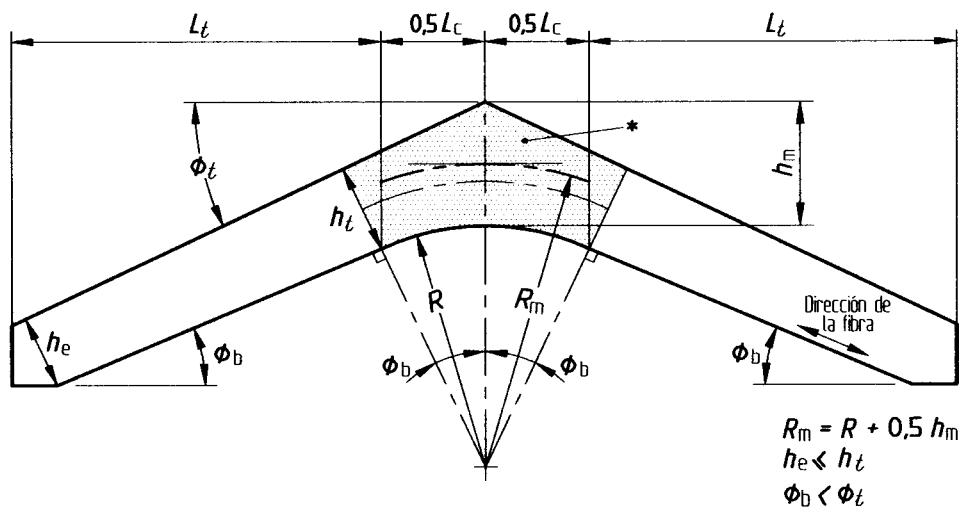
En vigas de altura variable, rectas o curvas, cuyo contenido de humedad en servicio puede exceder el nivel 20%, se deberán disponer refuerzos constructivos en la zona sensible al desarrollo de tensiones de tracción normal a la dirección de la fibra, para neutralizar la totalidad de las fuerzas inducidas por dichas tensiones. El diseño de los refuerzos se puede llevar a cabo de acuerdo con el procedimiento establecido en Anexo U.

En vigas de altura variable, rectas o curvas, cuyo contenido de humedad en servicio no sobrepasa el límite $H = 20\%$, pero en las que la tensión máxima de tracción normal a la dirección de la fibra, $f_{tn,máx}$, excede el 75% de $F_{tn,dis}$, se deberán disponer refuerzos constructivos para la neutralización de las tensiones de tracción normal a la fibra inducidas por el clima ambiental, de acuerdo con lo establecido en Anexo U. En caso contrario no se requerirá de refuerzos.



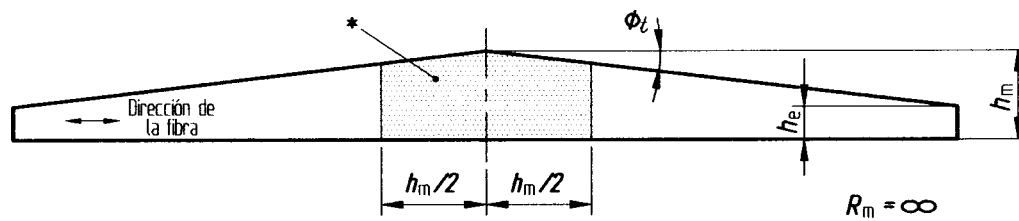
* Zona solicitada por tensiones de tracción normal a la dirección de la fibra

Figura 51 - Viga curva de sección transversal constante



* Zona solicitada por tensiones de tracción normal a la dirección de la fibra

Figura 52 - Viga curva de sección transversal variable



* Zona solicitada por tensiones de tracción normal a la dirección de la fibra

Figura 53 - Viga recta con altura de sección transversal variable

10.7.1.4 Tensiones de flexión en el borde interior u horizontal, según proceda

La tensión de flexión, f_f , se determina por medio de la expresión:

$$f_{f, \text{máx.}} = k_{\theta} \cdot \frac{M}{W_m}$$

en que:

$$k_{\theta} = D + E \left(\frac{h_m}{R_m} \right) + F \left(\frac{h_m}{R_m} \right)^2 + G \left(\frac{h_m}{R_m} \right)^3$$

en que:

$$D : 1 + 1,4 \cdot \tan \phi_t + 5,4 \cdot \tan^2 \phi_t ;$$

$$E : 0,35 - 8 \cdot \tan \phi_t ;$$

$$F : 0,6 + 8,3 \cdot \tan \phi_t - 7,8 \cdot \tan^2 \phi_t ;$$

$$G : 6 \cdot \tan^2 \phi_t .$$

Las tensiones de flexión en el borde exterior o inclinado, según corresponda, se pueden calcular considerando $k_{\theta} = 1,0$.

Los valores determinados mediante la expresión anterior no pueden exceder la tensión de diseño de flexión.

10.7.1.5 Situaciones particulares

En vigas rectas de altura variable, dado que el radio de curvatura $R_m = \infty$, se anula el factor (h_m / R_m) .

En vigas curvas de altura constante no existe desangulación entre el borde y los planos de laminación, por lo que $\phi_t = 0$.

10.7.1.6 Interacción de tensiones

Cuando la dirección de la fibra se desarrolla en forma desangulada con respecto al borde de la viga se inducen, adicionalmente a las tensiones de flexión, f_f , tensiones normales a la dirección de la fibra, f_n , y tensiones de cizalle, f_{cz} , debiendo controlarse que:

para un borde flexo-traccionado.

$$\left(\frac{f_{f, \text{máx.}}}{F_{f_t, \text{dis}}}\right)^2 + \left(\frac{f_{tn, \text{máx.}}}{1,25 \cdot F_{tn, \text{dis}}}\right)^2 + \left(\frac{f_{cz}}{1,33 \cdot F_{cz, \text{dis}}}\right)^2 \leq 1$$

y para un borde flexo-comprimido

$$\left(\frac{f_{f, \text{máx.}}}{F_{fv, \text{dis}}}\right)^2 + \left(\frac{f_{cn}}{F_{cn, \text{dis}}}\right)^2 + \left(\frac{f_{cz}}{2,66 \cdot F_{cz, \text{dis}}}\right)^2 \leq 1$$

Las tensiones normales y de cizalle se pueden determinar a partir de la tensión de flexión, aplicando las condiciones de equilibrio de cuerpo libre sobre un elemento de borde típico, como el esquematizado en Figura 54.

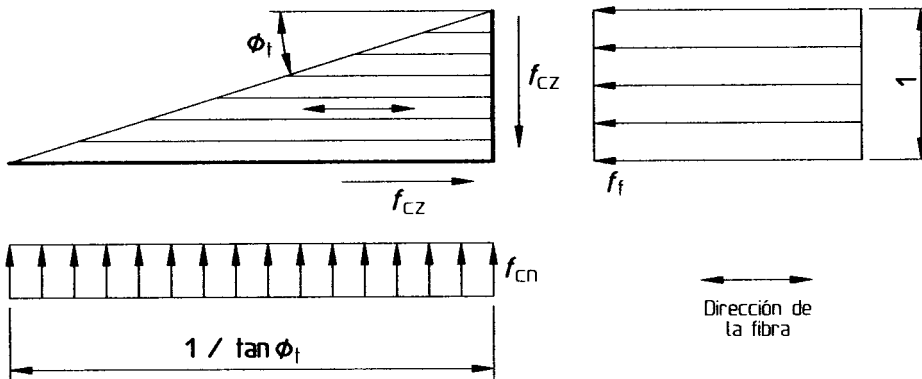


Figura 54 - Tensiones longitudinales, normales y de cizalle en un elemento triangular de un borde flexo-comprimido

$$f_{f, \text{máx.}} \frac{6 \cdot M'}{b' \cdot h'^2} \leq F_{fv, \text{dis}};$$

$$f_{cz} = f_{f, \text{máx.}} \cdot \tan \phi_t \leq F_{cz, \text{dis}};$$

$$f_{cn/tn} = f_{f, \text{máx.}} \cdot \tan^2 \phi_t \leq F_{cn/tn, \text{dis}}$$

El índice, ', designa la sollicitación y las dimensiones transversales en la sección transversal crítica.

10.7.2 Radio de curvatura

La razón entre el radio de curvatura de una lámina individual, R , y el espesor de lámina individual, e , no debe ser menor que 200, esto es:

$$R \geq 200 \cdot e$$

10.7.3 Factor de modificación por curvatura K_{cl}

Debido a las tensiones que se inducen al doblar las láminas para llevarlas a la curvatura deseada, las tensiones de diseño de flexión se deben modificar por medio del factor:

$$K_{cl} = 1 - 2\,000 \cdot \left(\frac{e}{R}\right)^2$$

10.7.4 Deformaciones en vigas curvas de altura de sección variable

El descenso máximo, δ_c , que experimenta una viga curva solicitada por una carga uniformemente distribuida, q , se puede estimar, en forma aproximada, mediante la expresión:

$$\delta_c = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{32 \cdot E_{f,dis} \cdot b \cdot h_{c\delta}^3} \text{ (mm)}$$

en que:

L : luz;

$h_{c\delta} = (h_e + h_c) \cdot (0,5 + 0,735 \cdot \text{tg } \phi_t) - 1,41 \cdot h_c \cdot \text{tg } \phi_b$, en mm;

h_c : altura de viga en el centro, en mm;

h_e : altura de viga en los extremos, en mm;

ϕ_b : desangulación entre la zona recta del canto inferior o de la tangente del canto inferior en el apoyo, con respecto a la horizontal, en grados;

b : ancho de sección transversal, en mm.

Se debe contemplar, para efectos del diseño de los apoyos, que un descenso vertical, δ_c , induce un corrimiento horizontal en el apoyo móvil δ_h , de magnitud aproximada:

$$\delta_h = \frac{4 \cdot H \cdot \delta_c}{L}$$

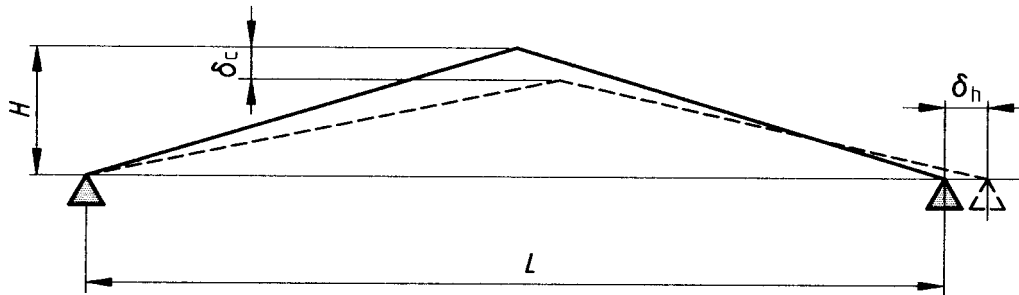


Figura 55 - Corrimiento lateral en el apoyo móvil de vigas de altura variable

10.8 Arcos y marcos

10.8.1 Definición

Estructuras que preferentemente se consideran, triarticuladas, con rótulas en los apoyos a la fundación y en la cumbre.

10.8.2 Tensiones

10.8.2.1 Las expresiones para las tensiones aplicables en el método de diseño son:

a) Corte en los apoyos:

$$f_{cz} = \frac{3 \cdot Q}{2 \cdot b \cdot h_A} \cdot 10^3 \leq F_{cz, dis}$$

en que:

f_{cz} : tensión de cizalle, en MPa;

$F_{cz, dis}$: tensión de diseño en cizalle, en MPa;

Q : esfuerzo de corte máximo en los apoyos, en kN;

b : ancho o espesor del elemento laminado, en mm;

h_A : altura de la sección transversal en el apoyo, en mm.

b) En cualquier punto del eje de la estructura:

$$\frac{f_{cp}}{F_{cp,dis}} + \frac{f_f}{F_{f,dis}} \leq 1$$

en que:

$f_{cp} = \frac{N}{A_t}$: tensión axial de compresión (tracción) en el punto en estudio en MPa;

N : fuerza axial de compresión o tracción en el punto que se analiza, en N;

A_t : sección transversal analizada, en mm²;

$f_f = \frac{M}{W}$: tensión de flexión, en MPa;

M : momento de flexión en la sección transversal en estudio, en N · mm;

W : módulo resistente a la flexión, en mm³;

$F_{cp,dis}$: tensión de diseño en compresión (tracción) paralela, en MPa;

$F_{f,dis}$: tensión de diseño en flexión, en MPa.

10.8.3 Arriostramientos

El diseño de arriostramientos de elementos comprimidos debe considerar lo establecido en 7.3.5.

Anexo A (Normativo)

Agrupamiento de las maderas crecidas en Chile

A.1 Al aplicar el procedimiento recomendado por NCh1989 para agrupar las especies madereras que crecen en Chile, de acuerdo a las resistencias medias obtenidas en ensayos normalizados de probetas libres de defectos en estado verde y seco al aire ($H = 12\%$), resultan los grupos que se señalan en Tabla A.1.

Tabla A.1 - Agrupamiento de las maderas crecidas en Chile

Contenido de humedad de la madera			
$H \geq 30\%$		$H = 12\%$	
Grupo	Especie maderera	Grupo	Especie maderera
E 2	Eucalipto	ES 2	Eucalipto
E 3	Ulmo	ES 3	Lingue
E 4	Araucaria Coigüe Coigüe (Chiloé) Coigüe (Magallanes) Raulí Roble Roble (Maule) Tineo	ES 4	Araucaria Coigüe Coigüe (Chiloé) Laurel Lenga Mañío Hojas Largas Roble Roble (Maule) Tineo Ulmo
E 5	Alerce Canelo (Chiloé) Ciprés de la Cordillera Ciprés de las Guaitecas Laurel Lenga Lingue Mañío Macho Olivillo Pino Oregón Tepa	ES 5	Alerce Canelo Canelo (Chiloé) Ciprés de la Cordillera Coigüe (Magallanes) Mañío Macho Olivillo Pino Insigne Pino Oregón Raulí Tepa
E 6	Alamo Pino Insigne	ES 6	Alamo Ciprés de las Guaitecas Mañío Hembra

Anexo B (Normativo)

Constantes elásticas de la madera

B.1 El módulo de elasticidad de un elemento es una medida de su resistencia a la deformación bajo carga. El módulo de elasticidad más usado es aquel que se mide en dirección paralela a las fibras, el cual es designado como E_L o simplemente E_f y cuyos valores se indican en Tablas 4 a) y 4 b).

B.2 En algunas aplicaciones (tales como estructuras con contrachapados) es necesario conocer el módulo de elasticidad perpendicular a las fibras, el cual se identifica por E_T si la deformación es en la dirección tangencial (tangente a los anillos de crecimiento) o por E_R si la deformación se produce en la dirección radial (normal a los anillos de crecimiento). No se han determinado valores exactos para E_T y E_R de las maderas que crecen en el país. Sin embargo, se pueden estimar tales valores mediante las expresiones siguientes:

$$E_R \approx 0,08 E_L \quad \text{Para especies coníferas} \quad E_R \approx 0,14 E_L \quad \text{Para especies latifoliadas}$$

$$E_T \approx 0,05 E_L \quad \text{Para especies coníferas} \quad E_T \approx 0,08 E_L \quad \text{Para especies latifoliadas}$$

B.3 En las aplicaciones en las cuales una pieza queda sometida a cizalle, a veces resulta necesario conocer el módulo de elasticidad en cizalle, G , conocido también como módulo de corte. Para identificar el plano de la deformación, a este módulo se le agregan subíndices, por ejemplo G_{LT} que identifica la deformación que se produce en el plano longitudinal, L y tangencial, T . La información sobre los distintos valores de G es aún incompleta, pudiendo obtenerse una aproximación de estos valores con las expresiones siguientes:

$$G_{LT} \approx 0,065 E_L \quad \text{Para especies coníferas} \quad G_{LT} \approx 0,07 E_L \quad \text{Para especies latifoliadas}$$

$$G_{LR} \approx 0,065 E_L \quad \text{Para especies coníferas} \quad G_{LR} \approx 0,1 E_L \quad \text{Para especies latifoliadas}$$

$$G_{RT} \approx 0,006 E_L \quad \text{Para especies coníferas} \quad G_{RT} \approx 0,032 E_L \quad \text{Para especies latifoliadas}$$

B.4 Resistencias características de tracción normal a la fibra

B.4.1 Los valores de resistencias características de tracción normal a la dirección de la fibra se señalan en Tabla B.1

Tabla B.1 - Valores de resistencias características de tracción normal a la dirección de la fibra, en MPa

Clase de densidad				
ρ -300	ρ -400	ρ -500	ρ -600	ρ -800
0,3	0,4	0,5	0,6	0,8

NCh1198

B.4.2 La clase de la densidad se determina con la densidad normal característica ($\rho_{12,k}$), cuyos valores para las diferentes maderas aparecen en Anexo E, Tabla E.2, los que se deben clasificar de acuerdo a Tabla B.2.

Tabla B.2 - Clases de densidades - Densidades normales características

Clase de densidad	ρ -300	ρ -400	ρ -500	ρ -600	ρ -800
Densidad normal característica, $\rho_{12,k}$	300	400	500	600	800

B.4.3 Una especie forestal o agrupamiento forestal puede ser asignado a una clase de densidad cuando su densidad normal característica corresponde al menos, al valor de la clase.

Anexo C (Normativo)

Deformación total bajo la acción de cargas permanentes

C.1 Los módulos de elasticidad tabulados en esta norma son aplicables para el cálculo de la *deformación instantánea* producida por una carga o combinación de cargas.

C.2 Para cargas permanentes, en la madera se presenta el flujo plástico (*creep*) a raíz del cual las piezas de madera experimentan deformaciones adicionales, dependientes del tiempo, que se desarrollan habitualmente con bajos pero constantes incrementos durante largos períodos de tiempo.

C.3 Las velocidades de *creep* son proporcionales a la magnitud de carga aplicada y resultan superiores para piezas construidas en estado verde, y que se secan bajo carga o que quedan expuestas a condiciones variables de temperatura y humedad relativa del aire, en comparación con piezas sometidas a condiciones ambientales constantes y por lo tanto, a un contenido de humedad constante.

C.4 Bajo la acción de cargas de larga duración, una pieza flexionada puede llegar a experimentar descensos permanentes de hasta dos veces el descenso instantáneo.

Anexo D (Normativo)

Humedades de equilibrio de diferentes regiones geográficas de Chile

D.1 De acuerdo a las medias anuales de temperatura y de humedad relativa ambiental, se puede obtener una aproximación del valor de la humedad de equilibrio de una localidad, usando un método analítico.

D.2 En Tabla D.1 aparecen los datos climáticos de estaciones meteorológicas chilenas y la humedad de equilibrio calculada con los datos anteriores.

Tabla D.1 - Temperaturas, humedades relativas medias anuales y humedades de equilibrio para diferentes regiones del país

Estación	Temperatura media anual °C	Humedad relativa media anual %	Humedad de equilibrio %
Arica	18,7	76	16
Iquique	17,9	80	17
Los Córdoros	15,5	72	15
Cauchones	16,7	52	10
Colonia Pintados	16,7	52	12
Antofagasta	17,0	72	15
Refresco	14,4	48	9
Taltal	17,4	69	14
Chañaral	16,4	70	14
Potrerrillos	11,3	27	6
Caldera	16,1	80	17
Isla de Pascua	20,4	81	18
Copiapó	16,3	68	14
Vallenar	16,0	63	12
La Serena	14,8	80	17
Punta Tortuga	14,7	83	18
Vicuña	15,5	61	12
Ovalle	15,2	71	14
Zapallar	14,2	83	18
Baños de Jahuel	15,6	60	12
Quintero	13,9	82	17
Llay-Llay	14,3	69	14
Los Andes	15,4	60	10
Juncal	9,3	52	12
Quillota	14,4	80	17

(continúa)

Tabla D.1 - Temperaturas, humedades relativas medias anuales y humedades de equilibrio para diferentes regiones del país (continuación)

Estación	Temperatura media anual °C	Humedad relativa media anual %	Humedad de equilibrio %
Punta Angeles	14,8	76	16
El Belloto	15,5	73	15
Quilpué	14,4	79	16
Peñablanca	14,9	75	15
Colina	16,1	64	13
Santiago	13,9	72	14
Los Cerrillos	13,8	70	14
Lo Espejo	13,5	72	14
El Bosque	15,8	64	13
Isla Juan Fernández	15,3	76	16
San José de Maipo	12,9	60	12
Sewell	9,5	50	9
Rancagua	14,7	72	14
Rengo	14,1	74	15
San Fernando	13,4	78	16
Curico	14,3	76	16
Molina	13,2	78	16
Constitución	13,9	78	16
Talca	14,8	70	14
Punta Carranza	12,7	85	18
Panimávida	13,4	78	16
Linares	13,9	76	16
Cauquenes	14,9	70	14
Chillán	14,0	69	14
Punta Tumbes	12,3	84	18
Talcahuano	12,6	83	18
Concepción	12,4	87	19
Isla Santa María	12,2	87	19
Punta Lava Pie	13,3	82	17
Los Angeles	13,7	75	15
Lebu	13,0	35	7
Angol	12,8	69	14
Contulmo	12,6	82	17
Victoria	12,4	76	15
Traiguén	12,0	78	16
Isla Mocha W	12,6	88	20
Isla Mocha E	12,7	81	17

(continúa)

Tabla D.1 - Temperaturas, humedades relativas medias anuales y humedades de equilibrio para diferentes regiones del país (conclusión)

Estación	Temperatura media anual °C	Humedad relativa media anual %	Humedad de equilibrio %
Lonquimay	8,6	75	15
Temuco	12,0	80	17
Puerto Domínguez	11,5	83	17
Valdivia	11,9	83	17
Punta Galera	11,3	87	19
Río Bueno	11,3	81	17
Osorno	12,5	80	17
Frutillar	10,3	82	17
Puerto Montt	11,2	85	18
Punta Corona	10,7	87	19
Pudeto	11,0	84	18
Castro	11,6	82	17
Quellón	10,6	80	16
Isla Guafo	9,7	86	18
Río Cisnes	7,6	72	14
Puerto Aysén	9,0	86	18
Coyhaique	9,0	71	14
Balmaceda	7,3	68	13
Chile Chico	11,5	58	11
Cabo Raper	8,6	89	19
San Pedro	8,2	91	20
Puerto Edén	7,2	84	17
Cerro Guido	7,7	61	11
Puerto Bories	6,8	70	13
Evangelistas	6,4	83	17
Punta Dungeness	7,1	75	14
Punta Arenas	6,7	74	14
San Isidro	5,9	81	16
Navarino	5,9	84	17
Base Antártica "G.G.V."	3,3	74	13

Anexo E
(Normativo)

Densidades de especies forestales

E.1 Los valores de la *densidad anhidra* que se pueden adoptar para algunas especies madereras de interés comercial son los que se señalan en Tabla E.1.

Tabla E.1 - Densidad anhidra de algunas maderas crecidas en Chile

Grupo	Especie nombre común	Densidad anhidra kg/m ³		Nombre botánico de la especie
		Valor medio ρ_o	Valor característico $\rho_{o,k}$ *)	
A	Alamo	370	357	<i>Populus nigra</i>
B	Alerce	460	385	<i>Fitzroya cupressoides</i>
	Canelo	470	440	<i>Drymis winteri</i>
	Ciprés de la Cordillera	470	393	<i>Austrocedrus chilensis</i>
	Ciprés de las Guaitecas	470	390	<i>Pilgerodendron uvifera</i>
	Pino radiata	450	370	<i>Pinus radiata</i>
	Pino oregón	410	326	<i>Pseudotsuga menziesii</i>
	C	Araucaria	570	477
Coigüe de Chiloé		590	505	<i>Nothofagus nitida</i>
Laurel		510	427	<i>Laurelia sempervirens</i>
Lenga		540	476	<i>Nothofagus pumilio</i>
Lingue		596	498	<i>Persea lingue</i>
Manío hojas punzantes		520	435	<i>Podocarpus nubigenus</i>
Olivillo		550	460	<i>Aextoxicon punctatum</i>
Raulí		510	426	<i>Nothofagus alpina</i>
Tepa		520	442	<i>Laurelia philippiana</i>
D	Algarrobo	740	619	<i>Prosopis chilensis</i>
	Coigüe	650	400	<i>Nothofagus dombeyi</i>
	Coigüe de Magallanes	620	518	<i>Nothofagus betuloides</i>
	Eucalipto	800	543	<i>Eucalyptus globulus</i>
	Roble	630	527	<i>Nothofagus oblicua</i>
	Roble del Maule	680	605	<i>Nothofagus glauca</i>
	Tineo	700	583	<i>Weinmannia thrischosperma</i>
	Ulmo	630	525	<i>Eucryphia cordifolia</i>

*) Definido con el percentil de 5% de exclusión.

E.2 Los valores de la *densidad normal* que se pueden adoptar para algunas especies madereras de interés comercial son los que se señalan en Tabla E.2

Tabla E.2 - Densidad normal de algunas maderas crecidas en Chile

Grupo	Especie maderera nombre común	Densidad normal, kg/m ³	
		Valor medio ρ_{12}	Valor característico $\rho_{12,k}$ *)
A	Alamo	399	385
B	Alerce	492	412
	Canelo	502	470
	Ciprés de la Cordillera	502	420
	Ciprés de las Guaitecas	502	417
	Pino radiata	476	391
	Pino oregón	441	350
C	Araucaria	603	505
	Coigüe de Chiloé	623	533
	Laurel	543	455
	Lenga	573	505
	Lingue	629	526
	Mañío hojas punzantes	553	463
	Olivillo	583	488
	Raulí	543	454
	Tepa	552	469
D	Algarrobo	771	645
	Coigüe	691	425
	Coigüe de Magallanes	653	546
	Eucalipto	830	564
	Roble	668	559
	Roble del Maule	712	634
	Tineo	736	613
	Ulmo	660	550

*) Definido con el percentil de 5% de exclusión.

Anexo F
(Normativo)

**Coefficientes de contracción de algunas maderas comerciales
crecidas en Chile**

F.1 Los coeficientes de contracción determinados experimentalmente para las especies que se indican en Tabla F.1, se utilizan en la determinación de las dimensiones que alcanza una pieza de madera a contenidos de humedad inferiores a 20%.

Para ello se debe emplear la fórmula que aparece al pie de la tabla.

Tabla F.1 - Coeficientes de contracción, k , de algunas maderas comerciales
crecidas en Chile

Especie	Dirección ¹⁾	Coeficiente de contracción lineal, k %
Alamo	T	0,29
	R	0,12
Alerce	T	0,17
	R	0,08
Algarrobo	T	0,13
	R	0,08
Araucaria	T	0,40
	R	0,21
Avellano	T	0,25
	R	0,14
Canelo	T	0,31
	R	0,11
Ciprés de la Cordillera	T	0,23
	R	0,14
Coigüe	T	0,39
	R	0,15
Eucalipto	T	0,42
	R	0,24
Laurel	T	0,28
	R	0,12
Lenga	T	0,34
	R	0,15

(continúa)

Tabla F.1 - Coeficientes de contracción, k , de algunas maderas comerciales
crecidas en Chile (conclusión)

Especie	Dirección ¹⁾	Coeficiente de contracción lineal, k %
Lingue	T	0,29
	R	0,13
Luma	T	0,41
	R	0,23
Mañío	T	0,24
	R	0,13
Olivillo	T	0,32
	R	0,15
Pino radiata	T	0,29
	R	0,20
Pino oregón	T	0,33
	R	0,20
Raulí	T	0,28
	R	0,16
Roble	T	0,36
	R	0,21
Tamarugo	T	0,23
	R	0,14
Tepa	T	0,33
	R	0,15
Tineo	T	0,48
	R	0,18
Ulmo	T	0,35
	R	0,22

1) T = Tangencial; R = Radial;

$$\text{Dimensión}_H = \text{Dimensión}_{20} \cdot \left(1 - \frac{k \cdot \Delta H}{100} \right), \text{ en mm}$$

en que:

H : contenido de humedad entre 20% y 0%;

k : coeficiente de contracción lineal, (%);

ΔH : $(20 - H)$.

Anexo G (Normativo)

Efectos de la duración de la carga

G.1 Cargas de duración normal

Las tensiones admisibles que entregan Tablas 4 y 5 son aplicables cuando la pieza está solicitada *con cargas de duración normal*, las cuales contemplan:

- i) la aplicación de las cargas máximas de diseño y sollicitación total de la pieza de modo que en ella se alcance la tensión admisible durante un período de 10 años, contabilizado éste en forma continua o acumulada; y/o
- ii) la permanente aplicación del 90% de las cargas máximas de diseño sin que se altere el factor de seguridad de la estructura.

G.2 Modificaciones para otras duraciones de la carga

Los ensayos experimentales han demostrado que la madera tiene la propiedad de resistir cargas mayores si ellas son aplicables durante períodos cortos, en comparación con aquellas que se aplican durante períodos de larga duración, ver Figura G.1. Por tal motivo, las tensiones admisibles entregadas para cargas de duración normal deben ser modificadas cuando las cargas reales tienen una duración distinta a la normal. Los ajustes son los siguientes:

- a) Cuando la pieza queda totalmente solicitada con la tensión admisible por efecto de una carga máxima de diseño aplicada permanentemente o durante un período mayor que 10 años (continuo o acumulado), se debe usar el 90% de los valores de las tensiones admisibles señalados en Tablas 4 y 5.
- b) Asimismo, cuando la duración de la carga máxima no excede los períodos que se señalan a continuación, se deben ajustar las tensiones admisibles entregadas para cargas de duración normal llevándolas a un nivel diferente, mediante los incrementos siguientes:
 - 15% para dos meses de duración (por ejemplo, nieve);
 - 25% para siete días de duración (por ejemplo, sobrecargas de servicio en techos);
 - 60% para viento o sismo;
 - 100% para impactos.

Las tensiones admisibles para condiciones normales de carga pueden ser usadas sin considerar los efectos de impactos, si las tensiones inducidas por dichos impactos no exceden las tensiones admisibles que se definen para las condiciones normales de carga.

G.3 Combinación de cargas de distinta duración

Los ajustes señalados en cláusula G.2 no son acumulativos. Las dimensiones requeridas para una pieza no pueden ser determinadas sólo para una carga de duración particular. Se debe considerar la carga total que resulta de combinar cargas de distintas duraciones y que pueden actuar simultáneamente. En este caso, las dimensiones del elemento se determinan con la carga total de las cargas que se combinan y el factor de ajuste que se debe aplicar a las tensiones admisibles es el correspondiente a la carga de menor duración que interviene en la combinación. Sin embargo, en algunos casos, este procedimiento puede originar tensiones excesivas por causa de las cargas de larga duración.

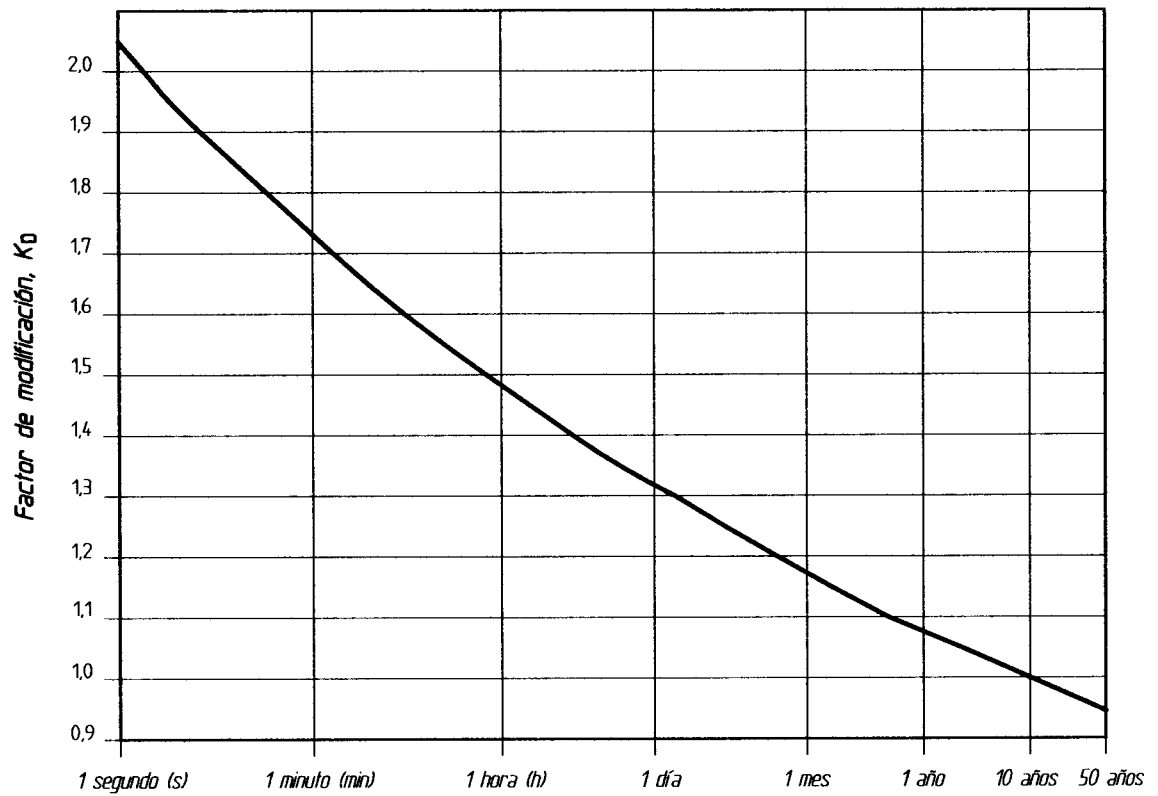
Para asegurar que esto no ocurra, se recomienda el procedimiento alternativo siguiente:

- a) Determinar la magnitud de cada carga que pueda solicitar al elemento estructural y calcular la suma de tales cargas para cada una de las distintas combinaciones que se puedan presentar.
- b) Dividir la carga total resultante para cada combinación por el factor de modificación o de ajuste correspondiente a la carga de menor duración que interviene en la combinación que se analiza.

Los factores de modificación o de ajuste son para:

- carga permanente	0,90
- carga normal	1,00
- dos meses	1,15
- siete días	1,25
- viento o sismo	1,60
- impacto	2,00

- c) El mayor valor de la razón así determinada indica cual es la combinación crítica de carga, que debe ser usada en el dimensionamiento del elemento estructural, usando las tensiones admisibles sin ajuste o modificación.



$$K_0 = \frac{1,747}{t^{0,0464}} + 0,295$$

t = duración de la carga, en segundos

Figura G.1 - Factor de modificación por duración de la carga

Anexo H (Normativo)

Efectos de la temperatura sobre la resistencia de la madera

H.1 Cuando la madera se enfría con respecto a una temperatura normal (20°C), su resistencia aumenta. Al ser calentada por sobre dicha temperatura normal, su resistencia disminuye. Este efecto térmico es inmediato y su magnitud depende del contenido de humedad de la madera. Hasta 67°C, el efecto inmediato es reversible, es decir, la pieza recuperará esencialmente la totalidad de su resistencia al reducirse la temperatura al nivel normal (20°C). Un calentamiento prolongado a temperaturas superiores a 67°C puede originar reducciones de resistencia permanentes.

H.2 Es posible que los elementos estructurales queden ocasionalmente expuestos a temperaturas elevadas. Sin embargo, para tales condiciones la humedad relativa es generalmente baja, lo que condiciona que el contenido de humedad de la madera sea igualmente bajo. El efecto inmediato de estas exposiciones periódicas a temperaturas elevadas resulta menos pronunciado debido a esta sequedad. Independientemente de los cambios de temperatura, las propiedades resistentes de la madera generalmente se incrementan al disminuir el contenido de humedad. En consideración a la neutralización recíproca de estos efectos se acepta que los valores de diseño establecidos en esta norma se apliquen a madera con temperatura no mayor que 50°C y calentamientos ocasionales de corta duración a temperaturas no mayor que 67°C.

H.3 Cuando las piezas estructurales de madera se enfrían a bajas temperaturas con contenido de humedad elevados o se calientan a temperaturas de hasta 67°C durante períodos de tiempo prolongados, se hace necesario modificar los valores de diseño establecidos en esta norma. Como una orientación para la aplicación de estos ajustes se puede recurrir a los factores promedio indicados en Tabla H.1

Tabla H.1 - Incremento o decremento de los valores de resistencia por cada 1°C de incremento o decremento de temperatura

Propiedad	Contenido de humedad	Incremento por enfriamiento bajo 20°C (no menor que -180°C)	Decremento por calentamiento sobre 20°C (no mayor que 67°C)
	%	C_t	C_t
Módulo de elasticidad	0	+ 0,000 7	- 0,000 7
	12	+ 0,002 7	- 0,003 8
Otras propiedades	0	+ 0,003 1	- 0,003 1
	12	+ 0,005 8	- 0,008 8

NOTA - Para información adicional ver *Wood Handbook Wood as Engineering Material*, by Forest Products Laboratory, U.S. Department of Agriculture, 1999.

Anexo I (Normativo)

Efectos de los tratamientos químicos sobre la resistencia de la madera

I.1 Los preservantes creosotados y el pentaclorofenol disueltos en aceites derivados del petróleo son prácticamente inertes a la madera y no tienen una influencia química que pueda afectar su resistencia.

I.2 Los preservantes hidrosolubles que contienen cromo, cobre, arsénico y amonio son reactivos con la madera. Ellos, potencialmente pueden dañar las propiedades resistentes de la madera y pueden causar la corrosión de los conectores metálicos. Pero, en los niveles de retención requeridos para proteger la madera en contacto con el suelo, su resistencia no es alterada con excepción de la carga máxima en flexión, las propiedades resistentes al impacto y de flexión dinámica, las cuales se reducen en una baja cantidad. Las altas retenciones que son necesarias para proteger la madera en aplicaciones marinas puede reducir la resistencia a la flexión en un 10% o más.

I.3 Otras reducciones en las propiedades mecánicas pueden ser observadas si el método de preservación y el posterior proceso de secado no es controlado dentro de límites aceptables.

Los factores que influyen el efecto del método de preservación sobre la resistencia son: la especie maderera, el tamaño y contenido de humedad de la madera preservada, la fuente de calor usada y su temperatura, la duración del período de calentamiento al acondicionar la madera para el tratamiento y la presión usada en la impregnación. El factor más importante de los enumerados es la severidad y la duración del calentamiento usado.

El efecto de la temperatura sobre la resistencia de la madera se incluye en Anexo H.

I.4 Cuando el método de preservación contempla incisiones en la madera para ayudar a la penetración del preservante o cuando se usan ignífugos aplicados con el método de vacío y presión, el factor de modificación por tratamiento químico se puede obtener de Tabla I.1.

Tabla I.1 Factor de modificación por tratamiento químico, K_Q

Para madera aserrada, previamente sometida a incisiones y cuyo espesor es 89 mm o menos			Para madera tratada con ignífugos mediante procesos de vacío y presión	
Condiciones en servicio	K_Q		K_Q	
	Para módulo de elasticidad	Para otras propiedades		
Verde	0,95	0,85	Madera aserrada	0,90
Seco	0,90	0,70	Postes	0,90
			Madera laminada	0,90

NCh1198

I.5 Se debe tener presente los efectos de los tratamientos con productos químicos ignífugos sobre las propiedades resistentes de la madera.

Los valores de diseño tanto para tensiones y módulos elásticos, como para capacidades admisibles de cargas de medios de unión, en madera aserrada y madera laminada encolada a presión con productos químicos retardantes de la acción del fuego deberán ser establecidos y avalados por las empresas que brinden los servicios de tratamiento.

Anexo J
(Normativo)

Expresiones de tensiones efectivas y momento de inercia eficaz en casos particulares de vigas de sección transversal compuesta según 7.2.5

J.1 Secciones transversales tripartitas con doble simetría

$$E_r = E_2 \quad ; \quad n_1 = E_1/E_2 \quad ; \quad n_2 = 1$$

$$f_{f1} = f_{f3} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \left(\gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} + \frac{h_1}{2} \cdot \frac{I_1}{I_{1n}} \right) \cdot n_1 \cdot 10^6 \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{f2} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \frac{h_2}{2} \cdot \frac{I_2}{I_{2n}} \cdot 10^6 \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{g1} = f_{g3} = \pm \frac{M}{I_{ef}} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} \cdot n_1 \cdot 10^6 \quad [\text{MPa}]$$

$$I_{ef} = 2 \cdot n_1 \cdot I_1 + I_2 + 2 \gamma \cdot n_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 \quad [\text{mm}^4]$$

$$\gamma = \frac{1}{1+k} \quad k = \frac{\pi^2 E_1 \cdot A_1 \cdot s'}{L^2 \cdot C}$$

$$t_{cz,ef} = \frac{Q_{\text{máx.}}}{I_{ef}} \cdot \gamma \cdot n_1 \cdot S_1 \quad [\text{MPa}]$$

$$s'_{\text{req}} = \frac{N_{\text{dis}}}{t_{cz,ef}} \quad [\text{mm}]$$

$$f_{cz \text{ máx.}} = \frac{Q_{\text{máx.}}}{b_2 I_{ef}} (\gamma n_1 S_1 + S_2) \quad [\text{MPa}]$$

$$S_1 = b_1 h_1 \cdot a_1 ; \quad S_2 = b_2 \cdot \frac{h_2^2}{8} \quad [\text{mm}^3]$$

J.2 Secciones transversales bipartitas con simetría simple y doble

$$E_r = E_2 \quad ; \quad n_1 = E_1/E_2 \quad ; \quad ; \quad n_2 = 1$$

$$f_{f1} = -\frac{M}{I_{ef}} \left(\gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} + \frac{h_1}{2} \cdot \frac{I_1}{I_{1n}} \right) \cdot n_1 \cdot 10^6 \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{f2} = +\frac{M}{I_{ef}} \left(a_2 \cdot \frac{A_2}{A_{2n}} + \frac{h_2}{2} \cdot \frac{I_2}{I_{2n}} \right) \cdot n_1 \cdot 10^6 \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{g1} = -\frac{M}{I_{ef}} \cdot \gamma \cdot a_1 \cdot \frac{A_1}{A_{1n}} \cdot n_1 \cdot 10^6 \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{g2} = +\frac{M}{I_{ef}} \cdot a_2 \cdot \frac{A_2}{A_{1n}} \cdot n_2 \cdot 10^6 \quad [\text{MPa}]$$

$$I_{ef} = n_1 I_1 + I_2 + \gamma n_1 \cdot A_1 \cdot a_1^2 + A_2 \cdot a_2^2 \quad [\text{mm}^4]$$

$$\gamma = \frac{1}{1+k}; \quad k = \frac{\pi^2 E_1 \cdot A_1 \cdot s'}{L^2 C}$$

$$a_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{A_2 (h_1 + h_2)}{\gamma n_1 \cdot A_1 + A_2}; \quad a_2 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_1 \quad [\text{mm}]$$

$$t_{cz,ef} = \frac{Q_{\text{máx.}}}{I_{ef}} \cdot \gamma \cdot n_1 \cdot S_1 \quad [\text{MPa}]$$

$$s'_{req} = \frac{N_{1dis}}{t_{cz,ef}} \quad [\text{mm}]$$

$$f_{cz \text{ máx.}} = \frac{Q_{\text{máx.}}}{b_2 I_{ef}} (\gamma n_1 S_1 + S_2) \quad [\text{MPa}]$$

$$S_1 = b_1 h_1 \cdot a_1 \quad [\text{mm}^3]$$

$$S_2 = b_2 \left(\frac{h_2}{2} - a_2 \right)^2 / 2 \quad [\text{mm}^3]$$

Anexo K (Normativo)

Longitudes efectivas de pandeo - Fórmulas aproximadas

K.1 Cuando debido a la acción de elementos constructivos, la barra comprimida quede asegurada en sus extremos contra desviaciones laterales, se puede suponer un apoyo rotulado en ambos extremos.

Si en una pieza comprimida existen puntos intermedios apoyados contra otros puntos fijos, se puede suponer como longitud efectiva de pandeo en el sentido en que los apoyos son efectivos, la distancia entre los puntos de apoyo.

K.2 En los cordones comprimidos de estructuras reticuladas (cerchas) se debe considerar como longitud de pandeo, l_p , en el plano de la cercha, el largo del eje de la estructura reticular análoga. Para barras interiores se puede calcular con $l_p = 0,8 \cdot l$, siendo l , el largo de su eje en el reticulado análogo. Sin embargo, si una barra interior se fija en sus extremos únicamente mediante ambarbillados, conectores son un solo perno o exclusivamente con pernos, se debe suponer $l_p = l$, (ver Figura K.1).

En el análisis de pandeo fuera del plano de la estructura se debe considerar como longitud de pandeo de los cordones la distancia entre puntos de arriostramiento. La verificación de las barras interiores debe asumir siempre la longitud del eje en el reticulado análogo.

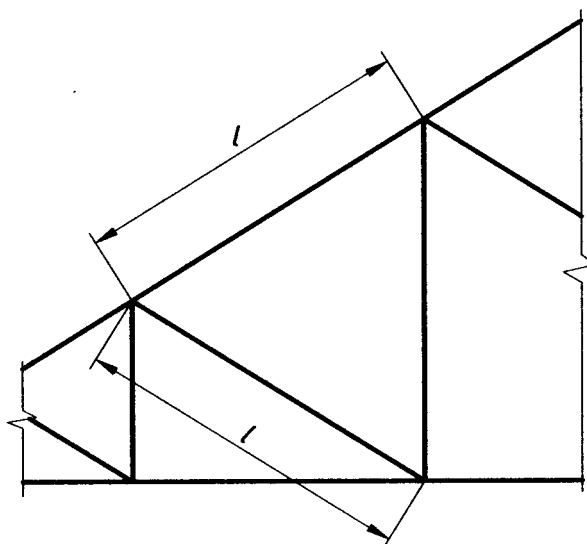


Figura K.1 - Estructuras reticuladas

NCh1198

K.3 En cerchas tipo A (ver Figura K.2) con travesaño desplazable, la verificación de pandeo del tijeral en el plano de la estructura se puede desarrollar en forma aproximada, considerando la fuerza de compresión máxima y una longitud de pandeo: $l_p = 0,8 l$.

Para la aplicación de la expresión anterior se debe cumplir que:

$$0,3l < l_i < 0,7l$$

en que:

l : longitud total del tijeral;

l_i : longitud del tramo inferior del tijeral.

En caso contrario ($l_i > 0,7l$) se debe tomar $l_p = l$.

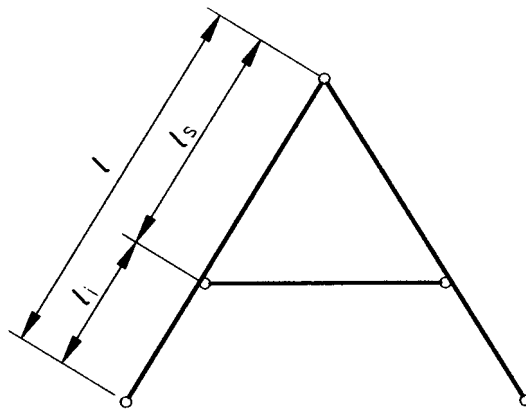


Figura K.2 - Tijerales de cercha tipo A

En cerchas con travesaños indesplazables cada tramo del tijeral se verifica independientemente.

El pandeo fuera del plano de la estructura queda condicionado por la distancia entre los puntos de arriostamiento transversal.

K.4 En los pilares de marcos conformados con una viga reticulada y cuando no se desee hacer una verificación exacta del pandeo, se puede considerar como valor aproximado de la longitud de pandeo en el plano de la estructura, el entregado por la expresión:

$$l_p = 2 h_i + 0,7 h_s$$

En el análisis se debe considerar que la compresión máxima actúa sobre toda la longitud: $h = h_i + h_s$ del pilar.

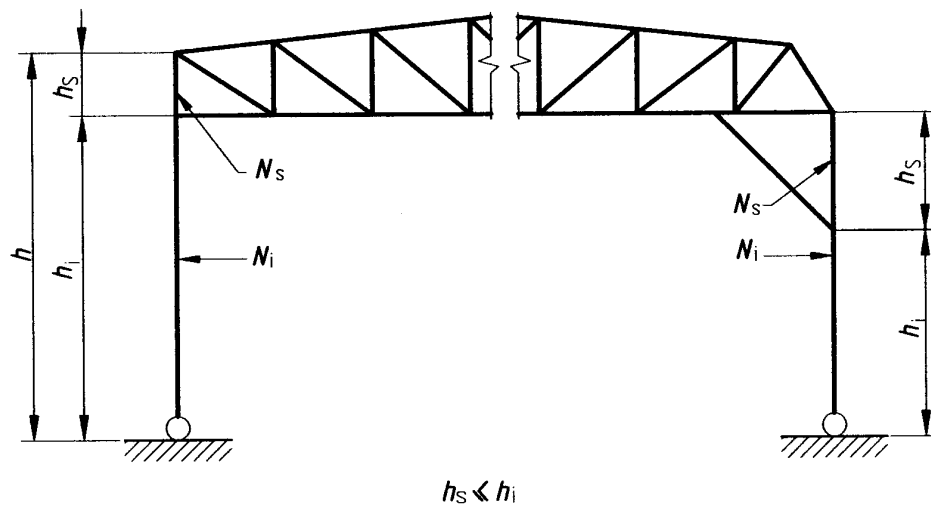


Figura K.3 - Marco biarticulado con travesaño reticulado

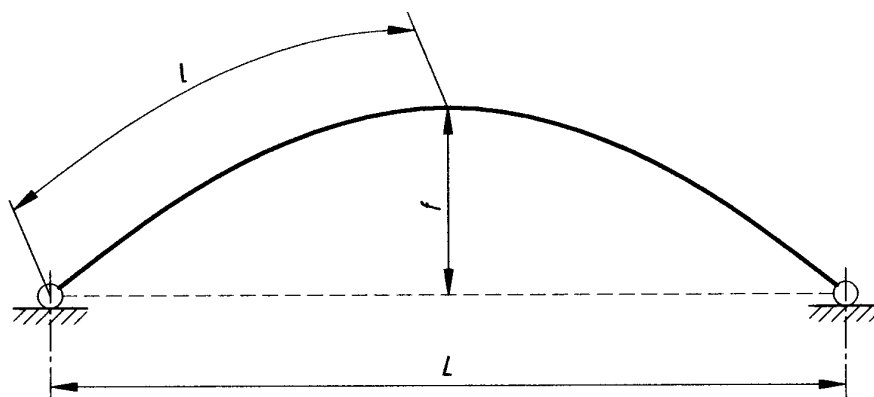
K.5 Cuando no se desee verificar en forma exacta el pandeo en el plano de arcos bi y triarticulados, con una relación de flecha f/L , comprendida entre 0,15 y 0,5 y una sección transversal poco variable, se puede suponer como longitud de pandeo la expresión:

$$l_p = 1,25 l \text{ (ver Figura K.4)}$$

en que:

l : longitud de semi-arco, en mm.

En la verificación del pandeo se debe considerar la sollicitación de compresión que existe en los puntos cuartos.



$$0,15 \ll \frac{f}{L} \ll 0,50$$

Figura K.4 - Sistema de arco

NCh1198

K.6 En marcos simétricos, bi y triarticulados, según Figura K.5, una solución aproximada para el pandeo en el plano de la estructura se obtiene:

i) Para la columna del marco:

$$l_p^c = 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + 0,4 \cdot c}$$

con:

$$c = 2 \cdot I \cdot s / (I_o \cdot h)$$

en que:

- l_p^t : longitud de pandeo de la columna, en mm;
- h : altura de la columna, en mm;
- I : momento de inercia de la columna, en mm⁴;
- s : longitud del tijeral, en mm;
- I_o : momento de inercia del tijeral, en mm⁴.

ii) Para el tijeral del marco:

$$l_p^t = 2 \cdot h \cdot \sqrt{k_r} \cdot \sqrt{(1 + 0,4 \cdot c)}$$

con:

$$k_r = I_o \cdot N / (I \cdot N_o)$$

en que:

- l_p^t : longitud de pandeo del tijeral del marco, en mm;
- h, I
 c, I_o : tienen el significado dado en K.6 i);
- N : fuerza axial promedio de la columna, en kN;
- N_o : fuerza axial promedio en el tijeral.

Si los momentos de inercia son variables, en las expresiones dadas se debe incorporar el momento de inercia correspondiente a $0,65 h$ o $0,65 s$, respectivamente, calculándose el radio de giro con la sección transversal existente en dichos puntos.

En la verificación de pandeo de la ecuación de interacción flexo-compresión, se deben considerar los valores máximos de momento flector y compresión del sector de marco, pilar o travesaño que se analiza.

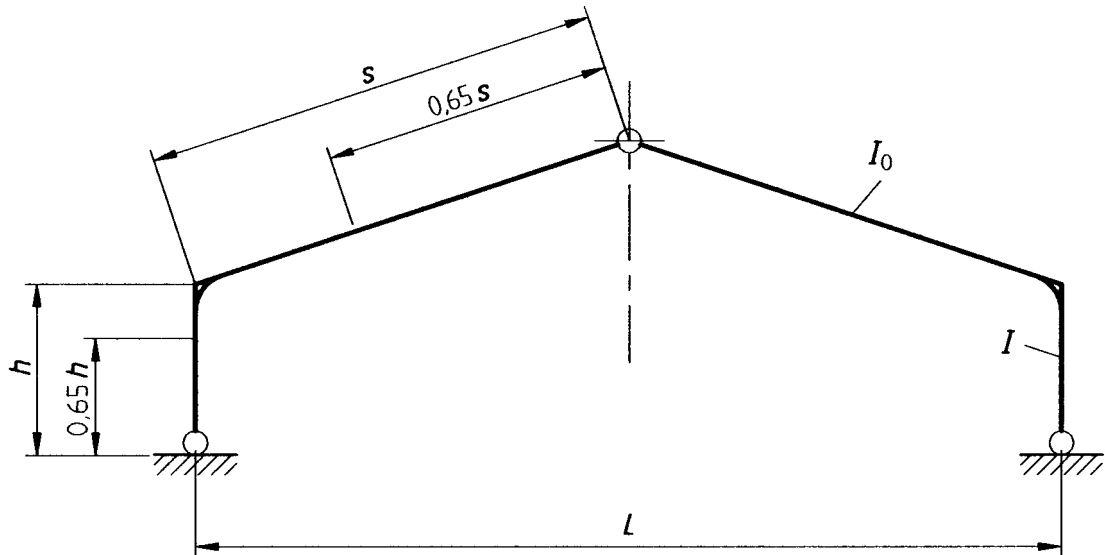


Figura K.5 - Sistema de marco

K.7 En marcos reticulados en los que la esquina de intersección de los cordones interiores de la columna y el tejado no se encuentre fijada lateralmente por medio de un elemento arriostrante, en el análisis del pandeo fuera del plano de la estructura de los cordones interiores de las columnas del marco se debe considerar como longitud de pandeo la distancia entre la base de apoyo de la columna y el borde inferior de la cubierta de techo [ver Figura K.6 a)]. Adicionalmente se debe considerar la acción de una fuerza horizontal, normal al plano del marco, de magnitud equivalente a $1/100$ de la mayor de las solicitaciones de compresión en los cordones concurrentes a la esquina interior del marco, $N_{máx.}$.

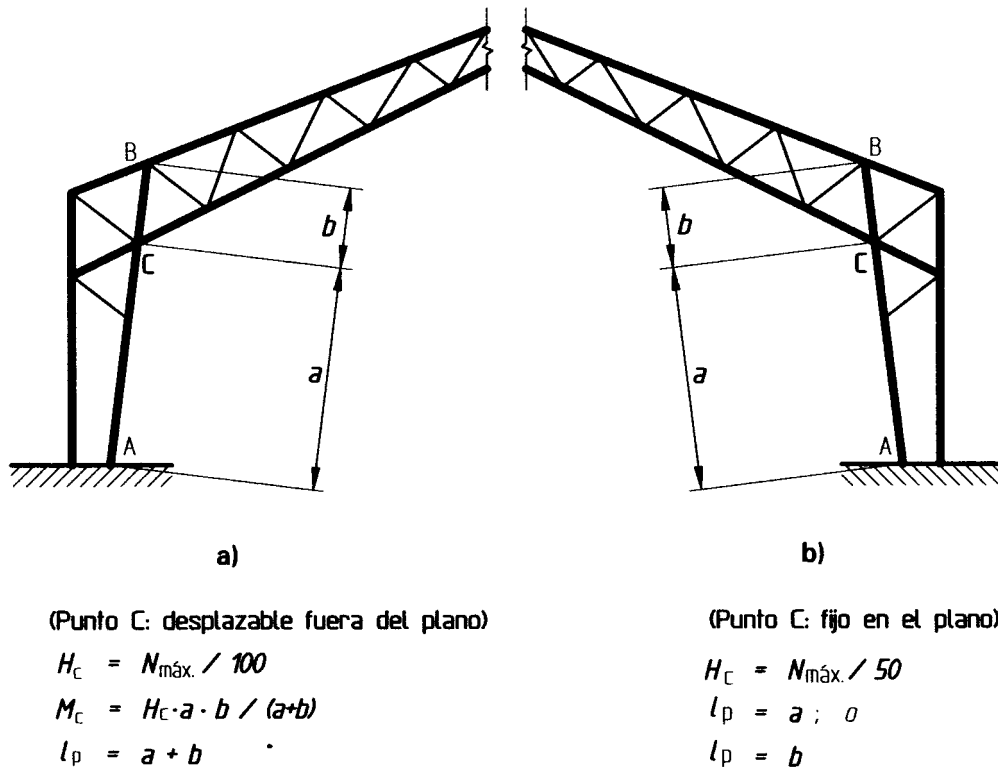


Figura K.6 - Longitudes de pandeo en un marco reticulado

Si existe un sistema arriostrante que impide el desplazamiento del punto de intersección de los cordones interiores del marco según la dirección normal al plano del marco, para el diseño del sistema arriostrante se debe considerar una fuerza de magnitud.

$$H_c = N_{m\acute{a}x.} / 50$$

los cordones interiores de las columnas se diseñarán con una longitud de pandeo:

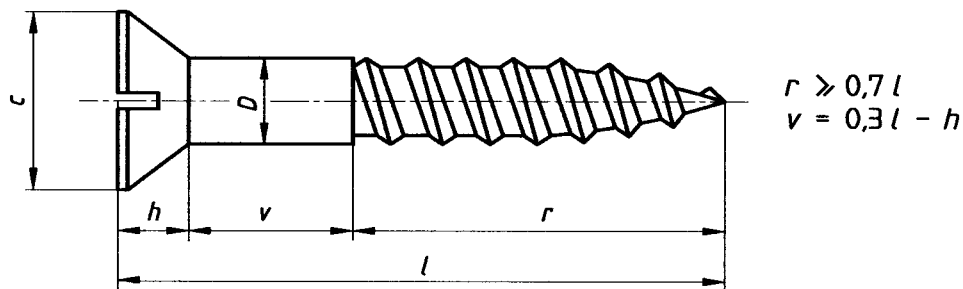
$$l_p = a \quad \text{o} \quad l_p = b$$

de acuerdo con la zona verificada.

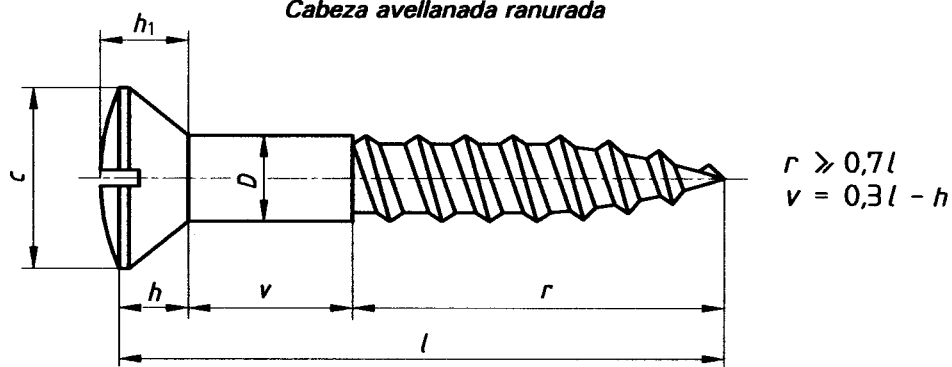
**Anexo L
(Normativo)**

Características generales y dimensiones de los tornillos para madera

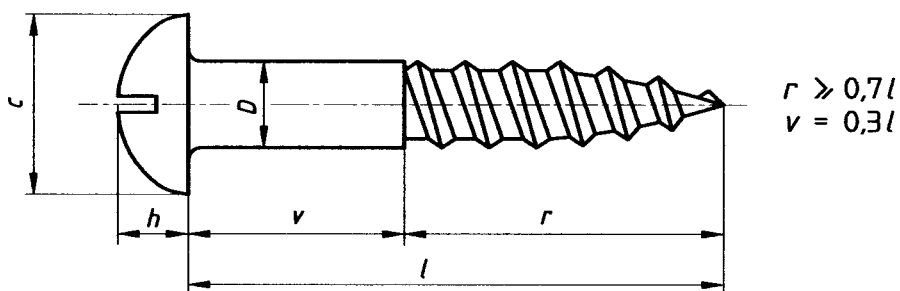
L.1 Características generales



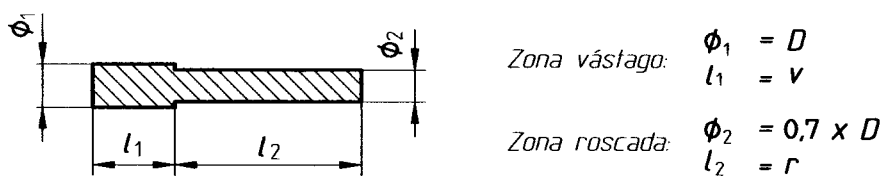
Cabeza avellanada ranurada



Cabeza avellanada abombada ranurada



Cabeza redonda ranurada



Zona vástago: $\phi_1 = D$
 $l_1 = v$

Zona roscada: $\phi_2 = 0,7 \times D$
 $l_2 = r$

Perforaciones guías

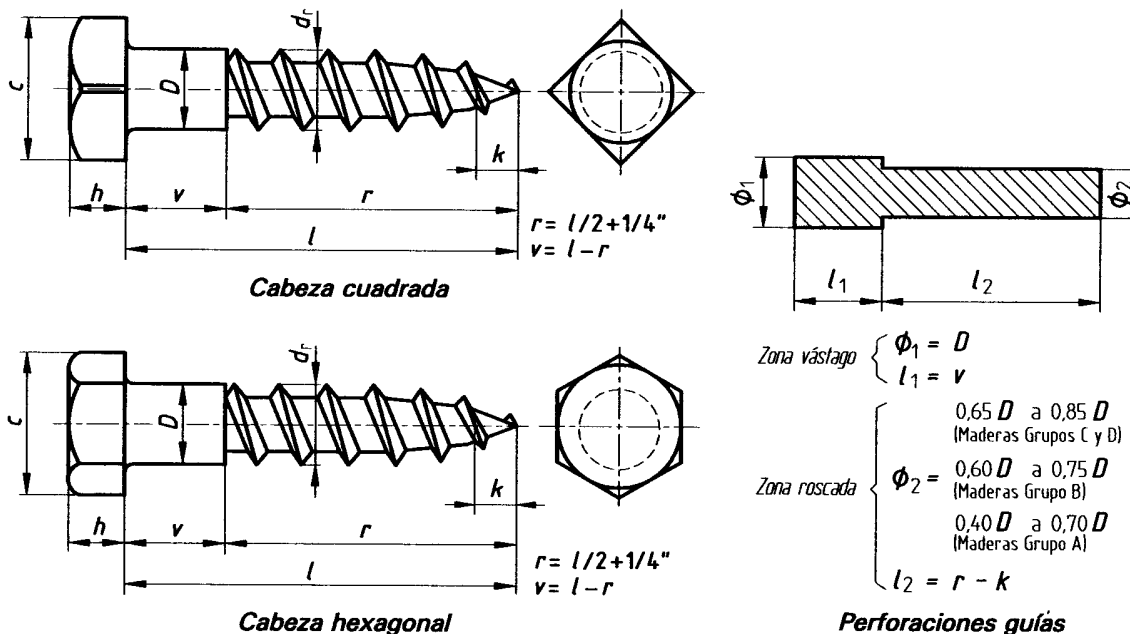
L.2 Dimensiones tornillos

Dimensiones tornillos para madera mm		Nº	8	9	10	12	14	16	18	20	24		
		<i>D</i>	4,2	4,5	4,8	5,5	6,2	6,8	7,5	8,1	9,5		
Largo nominal <i>l</i>		Cabeza avellanada y avellanada abombada											
		<i>c</i>	8,4	9,1	9,8	11,1	12,9	13,8	16,1	16,5	19,4		
		<i>h</i>	2,5	2,7	3,0	3,4	3,9	4,2	4,9	5,0	5,8		
Pulg.		mm		Cabeza redonda									
		<i>c</i>	<i>h</i>	7,9	8,5	9,1	10,4	11,6	12,9	14,1	15,3	17,8	
³ / ₄	19,1		x	x	x	x	x	-	-	-	-		
1	25,4		x	x	x	x	x	x	-	-	-		
1 ¹ / ₄	31,8		x	x	x	x	x	x	x	x	-		
1 ¹ / ₂	38,1		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
1 ³ / ₄	44,4		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2	50,8		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
2 ¹ / ₂	63,5		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
3	76,2		-	x	x	x	x	x	x	x	x		
3 ¹ / ₂	88,9		-	-	x	x	x	x	x	x	x		
4	101,6		-	-	x	x	x	x	x	x	x		

Anexo M
(Normativo)

Características generales y dimensiones de los tirafondos para madera

M.1 Características generales



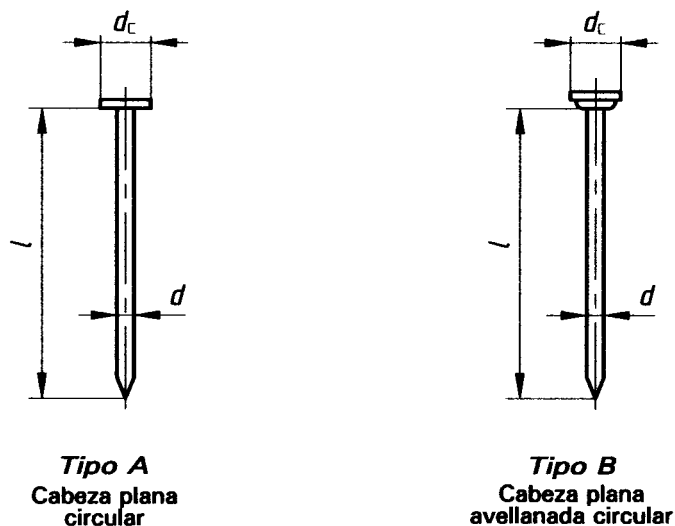
M.2 Dimensiones tirafondos

Dimensiones mm	Nº	1/4	5/16	3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	Valores referenciales para el diseño mm	
		D	d _r	k	h	c	r	v			
Largo l											
Pulg.	mm										
1 1/2	38,1	x	x	x	x	-	-	-	-	25	13
2	50,8	x	x	x	x	x	-	-	-	32	19
2 1/2	63,5	x	x	x	x	x	-	-	-	38	25
3	76,2	x	x	x	x	x	x	x	x	44	32
3 1/2	88,9	x	x	x	x	x	x	x	x	51	38
4	101,6	x	x	x	x	x	x	x	x	57	44
4 1/2	114,3	x	x	x	x	x	x	x	x	64	51
5	127,0	x	x	x	x	x	x	x	x	70	57
5 1/2	139,7	x	x	x	x	x	x	x	x	76	64
6	152,4	x	x	x	x	x	x	x	x	83	70
7	177,8	x	x	x	x	x	x	x	x	95	83
8	203,2	x	x	x	x	x	x	x	x	108	95

Anexo N

(Normativo)

Tipos, designación y dimensiones de clavos, según NCh1269



Designación <i>l x d</i>	Largo <i>l</i> mm	Diámetro <i>d</i> mm	Diámetro de cabeza <i>d_c</i> (mín.) mm	Cantidad de clavos por kilogramo
150 x 5,6	150 ± 5,6	5,6 ± 0,1	13,4	32
125 x 5,1	125 ± 5,1	5,1 ± 0,1	11,9	43
100 x 4,3	100 ± 4,3	4,3 ± 0,1	10,3	80
90 x 3,9	90 ± 3,9	3,9 ± 0,1	8,7	112 - 115
75 x 3,5	75 ± 3,5	3,5 ± 0,1	7,9	158
65 x 3,1	65 ± 3,1	3,1 ± 0,1	7,1	235 - 237
50 x 2,8	50 ± 2,8	2,8 ± 0,05	6,7	362
50 x 2,2	50 ± 2,2	2,2 ± 0,05	6,7	574 - 616
45 x 2,2	45 ± 2,2	2,2 ± 0,05	6,3	656 - 662
40 x 2,2	40 ± 2,2	2,2 ± 0,05	6,3	775
30 x 2,0	30 ± 2,0	2,0 ± 0,05	5,1	1 195
25 x 1,7	25 ± 1,7	1,7 ± 0,05	4,3	1 976 - 2 042
20 x 1,5	20 ± 1,5	1,5 ± 0,05	3,8	3 134 - 3 362
15 x 1,3	15 ± 1,3	1,3 ± 0,05	3,3	5 453 - 6 026

NOTA - Con fines de uniformidad en características comunes de los diferentes medios de unión, en esta norma (NCh1198), el diámetro nominal del clavo "*d*", se indica como "*D*".

Figura N.1 - Tipos y dimensiones de clavos

Anexo O (Normativo)

Representación de elementos de construcción en madera y documentos asociados

O.1 Abreviaturas

O.1.1 Madera y productos forestales

MA	= madera aserrada;
MC	= madera cepillada;
MLE	= madera laminada encolada;
PSTC	= pieza de sección transversal circular;
CCH-INT	= tablero contrachapado con encolado no resistente a la intemperie;
CCH-EXT	= tablero contrachapado con encolado resistente a la intemperie;
CCH-EXT-R	= tablero contrachapado con encolado resistente a la intemperie, fabricado con maderas de alta resistencia natural;
PP-INT	= tablero de partículas prensadas (aglomeradas), resistente en ambientes con reducida humedad;
PP-EXT	= tablero de partículas prensadas (aglomeradas), resistente en ambientes con altos contenidos de humedad;
PP-EXT-T	= tableros de partículas prensadas (aglomeradas), resistente en ambientes con altos contenidos de humedad y con tratamiento fungicida;
FM-D	= tableros de fibras de madera, duros ($\rho \geq 950 \text{ kg/m}^3$);
FM-M	= tableros de fibras de madera, dureza media ($\rho \geq 650 \text{ kg/m}^3$).

O.1.2 Calidad estructural de la madera aserrada (cepillada)

E1, E2, E3, E4, GS, G1 y G2	= grado estructural visual de la madera, según NCh1207, NCh1970/1 y NCh1970/2;
C16, C24	= grado estructural mecánico de la madera clasificada en equipos calibrados de acuerdo con los grados de EN 338.

NCh1198

O.1.3 Calidad estructural de la madera aserrada destinada a madera laminada (según NCh2149)

- Gr-A = madera aserrada clasificada en grado A ($E_f > 9\ 000$ MPa);
- Gr-B = madera aserrada clasificada en grado B ($9\ 000 \geq \text{MPa } E_f > 4\ 000$ MPa).

O.1.4 Calidad de las láminas que conformarán la madera laminada encolada

- L-A = láminas fabricadas con madera aserrada grado A;
- L-B = láminas fabricadas con madera aserrada grado B.

O.1.5 Calidad estructural de la madera laminada encolada

- MLE-A = madera laminada fabricada sólo con láminas L-A;
- MLE-B = madera laminada fabricada sólo con láminas L-B;
- MLE-A/B = madera laminada fabricada con un 16,5% (o más) de láminas L-A ubicadas en cada borde de sección transversal, y un 67% (o menos) con láminas L-B, ubicadas en el sector central.

O.1.6 Tipos de encolados

- RF = con adhesivo a base de resorcinol-formaldehído;
- UF = con adhesivo a base de urea-formaldehído;
- FF = con adhesivo a base de fenol-formaldehído;
- PU = con adhesivo de poliuretano.

O.1.7 Protección química de la madera con productos preservantes

- P.h = efectivos contra hongos de pudrición;
- P.i = efectivos contra insectos;
- P.f = efectivos para retardar la acción del fuego sobre la madera;
- P.m = efectivos contra hongos cromógenos (manchas);
- P.h.i = efectivos contra hongos de pudrición e insectos.

O.1.8 Elementos de unión para madera estructural

B = pasadores

P = pernos;

T = tornillos para madera;

Ti = tirafondos;

Co = conectores de anillo;

Cl = clavos;

Cl., PG = clavos con perforación guía;

Pd = placas dentadas.

O.1.9 Piezas de acero y uniones con elementos de acero

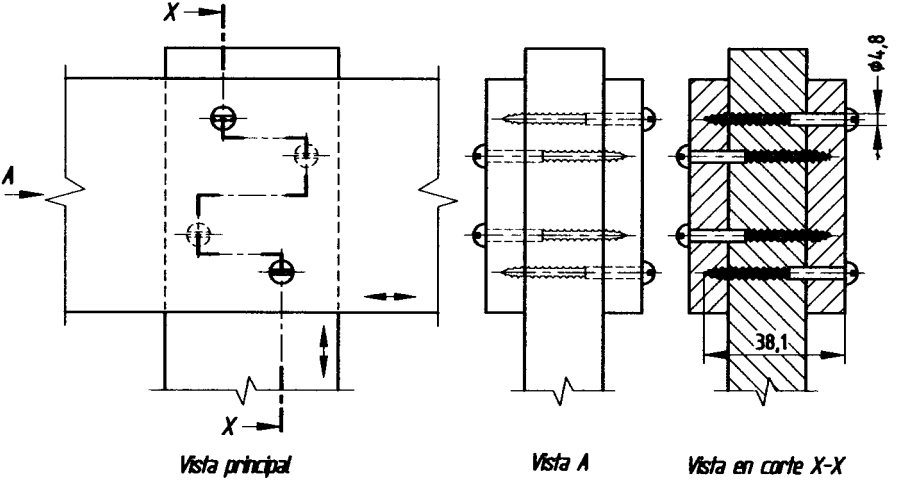
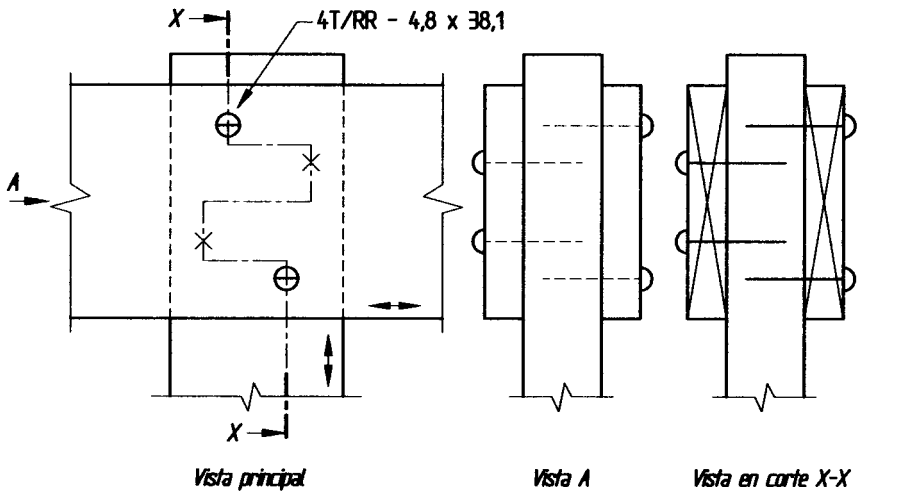
Según ISO 5261.

0.2 Representación general y simplificada de medios de unión

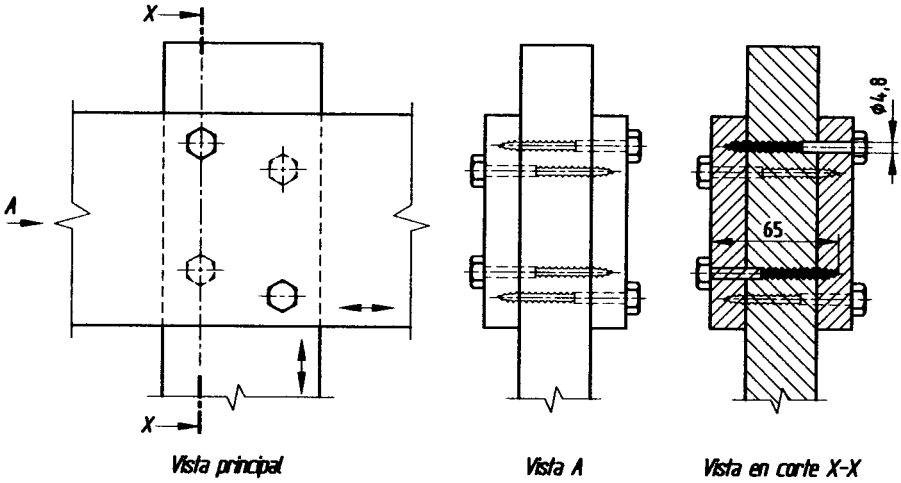
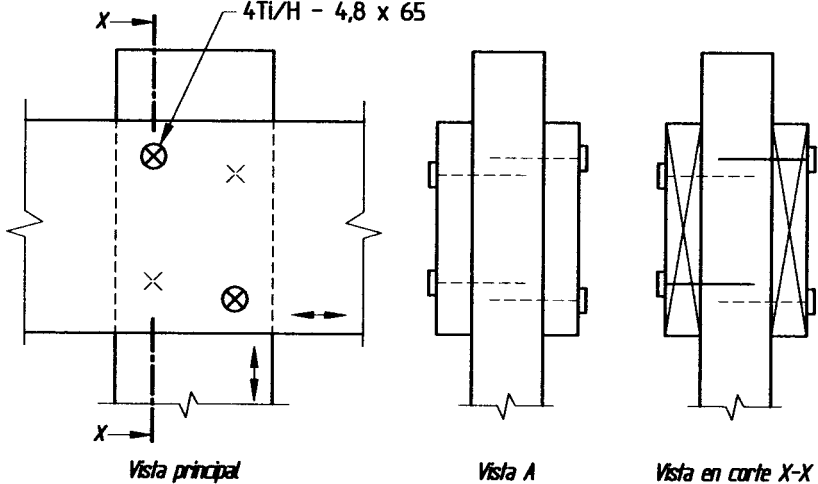
Medio de unión	Representación general
	<p style="text-align: right;"><i>Dimensiones en milímetros</i></p>
<p>0.2.1 Pernos P</p>	<p>Interpretación de la designación Tres (3) Pernos (P), cabeza hexagonal (H), rosca métrica (M) de diámetro nominal $D = 16$ mm y largo útil de rosca $l = 320$ mm. Seis (6) Arandelas (A) circulares (Ci) de espesor $e = 6$ mm y diámetro exterior $d = 65$ mm. 1) Las designaciones de las arandelas pueden ser obviadas si corresponden a las dimensiones establecidas en Tabla 30.</p> <p>⊗ Símbolo para indicar cabeza del perno (cabeza hexagonal (H) o cabeza cuadrada (C)). ⊗ Símbolo para indicar punta del perno.</p>

(continúa)

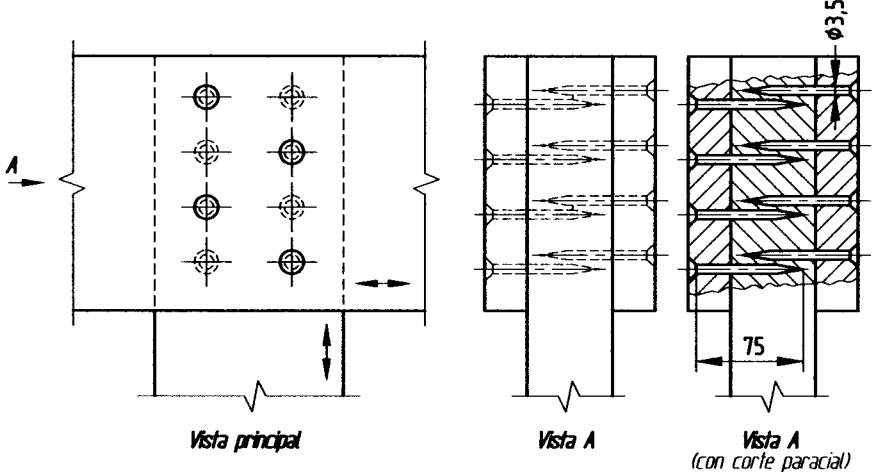
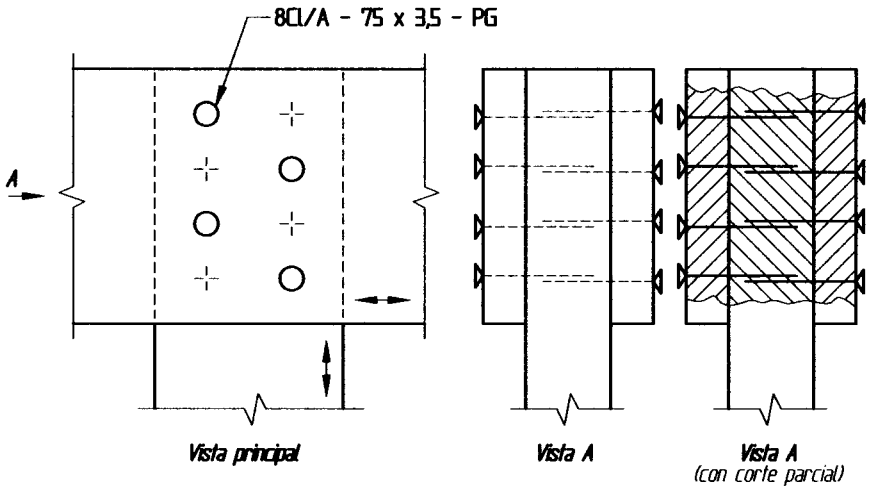
(continuación)

Medio de unión	Representación general
	<p style="text-align: right;"><i>Dimensiones en milímetros</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i> <i>Vista en corte X-X</i></p>
<p>O.2.2 Tornillos T</p>	<p style="text-align: center;">Representación simplificada</p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i> <i>Vista en corte X-X</i></p> <p>Interpretación de la designación</p> <p>Cuatro (4) Tornillos (T), cabeza redonda ranurada (RR), diámetro nominal $D = 4,8$ mm y longitud $l = 38,1$ mm. Ver también Anexo L - Características generales y dimensiones de los tornillos para madera.</p> <p>⊕ Símbolo para indicar cabeza del tornillo [cabeza avellanada ranurada (AR), cabeza avellanada abombada ranurada (AAR) y cabeza redonda ranurada (RR)].</p> <p>× Símbolo para indicar punta del tornillo.</p>

(continúa)

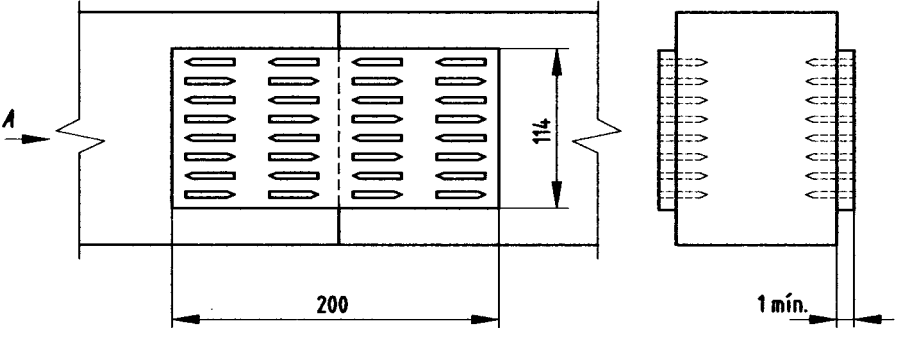
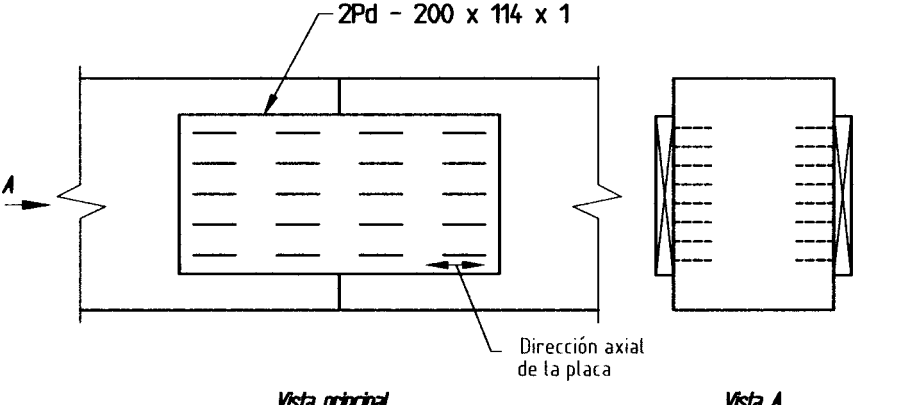
Medio de unión	Representación general
	<p style="text-align: right;"><i>Dimensiones en milímetros</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i> <i>Vista en corte X-X</i></p>
<p>O.2.3 Tirafondos Ti</p>	<p style="text-align: center;">Representación simplificada</p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i> <i>Vista en corte X-X</i></p> <p>Interpretación de la designación Cuatro (4) Tirafondos (Ti) de cabeza hexagonal (H), diámetro del vástago $d_v = 4,8$ mm y longitud $l = 65$ mm. Ver también Anexo M - Características generales y dimensiones de los tirafondos para madera.</p> <p>⊗ Símbolo para indicar cabeza del tirafondo (cabeza hexagonal (H) o cabeza cuadrada (C)). × Símbolo para indicar la punta del tirafondo.</p>

(continuación)

Medio de unión	Representación general
	<p style="text-align: right;"><i>Dimensiones en milímetros</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i> <i>Vista A (con corte parcial)</i></p>
<p>O.2.4 Clavos CI</p>	<p style="text-align: center;">Representación simplificada</p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i> <i>Vista A (con corte parcial)</i></p> <p>Interpretación de la designación</p> <p>Ocho (8) Clavos (CI) del tipo A, largo $l = 75$ mm y diámetro $D = 3,5$ mm, con perforación guía (PG). Ver también Anexo N - Tipos, designación y dimensiones de clavos, según NCh1269.</p> <p>○ Símbolo para indicar cabeza del clavo [cabeza plana circular (tipo A) o cabeza plana avellanada circular (tipo B)].</p> <p>⊕ Símbolo para indicar punta del clavo.</p>

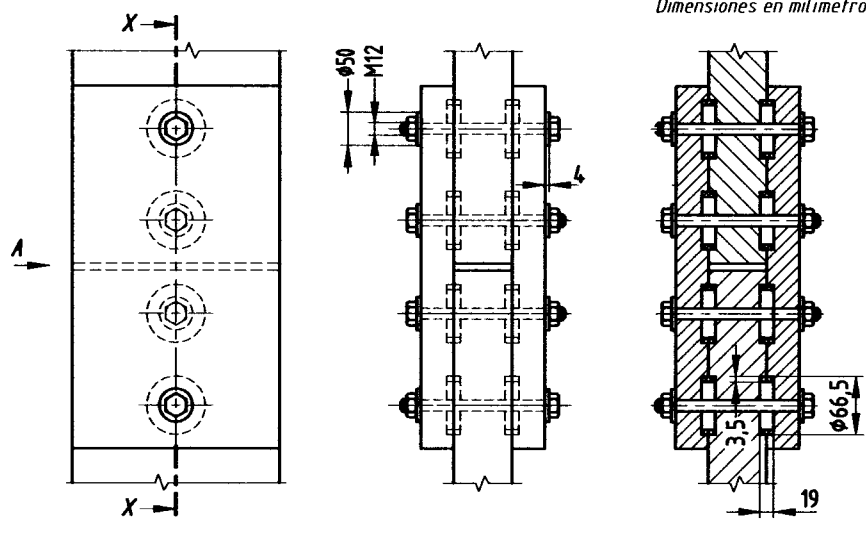
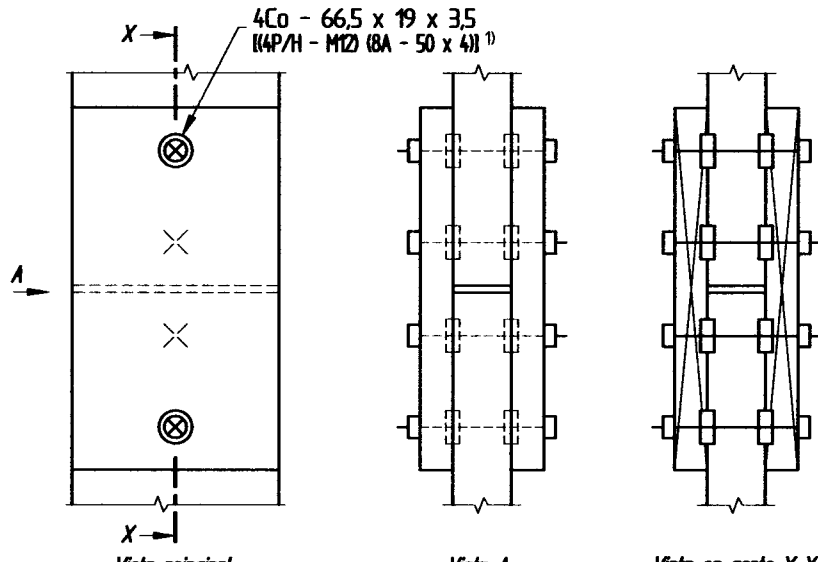
(continúa)

(continuación)

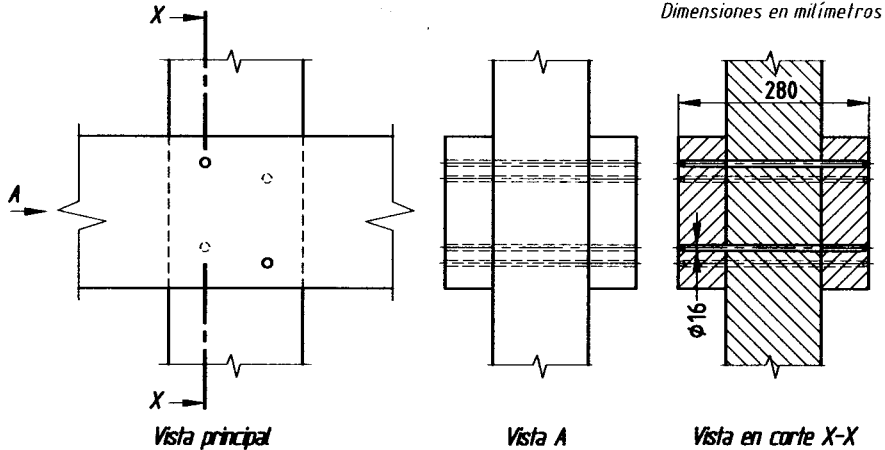
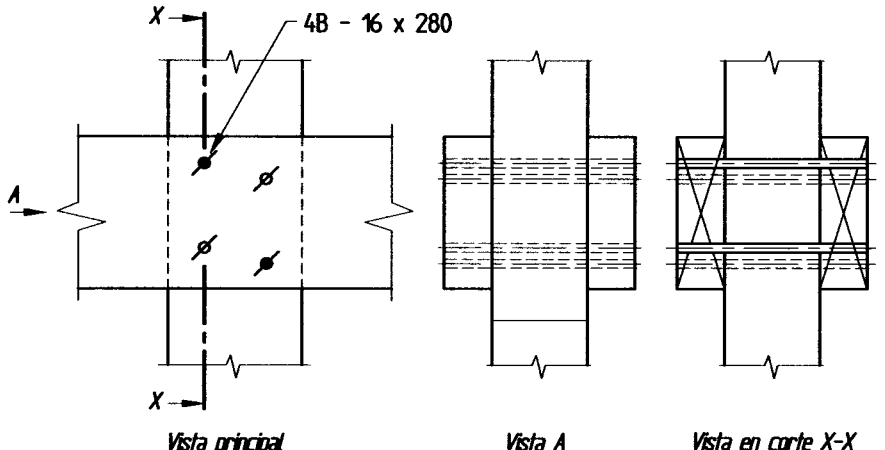
Medio de unión	Representación general
	<p style="text-align: right;"><i>Dimensiones en milímetros</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i></p>
<p>O.2.5</p> <p>Placa dentada metálica</p> <p>Pd</p>	<p style="text-align: center;">Representación simplificada</p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i></p> <p>Interpretación de la designación Dos (2) Placas dentadas (Pd), longitud $l = 200$ mm, ancho $a = 114$ mm y espesor mínimo $e_{\text{mín.}} = 1$ mm. Ver también Figura 43.</p>

(continúa)

(continuación)

Medio de unión	Representación general
	<p style="text-align: right;"><i>Dimensiones en milímetros</i></p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i> <i>Vista en corte X-X</i></p>
<p>O.2.6</p> <p>Conector de anillo abierto</p> <p>Co</p>	<p style="text-align: center;">Representación simplificada</p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i> <i>Vista en corte X-X</i></p> <p>Interpretación de la designación</p> <p>Cuatro (4) Conectores de anillo abierto (Co), diámetro ext. $d = 66,5$ mm, altura $a = 19$ mm y espesor $e = 3,5$ mm. Cuatro (4) Pernos (P) de cabeza hexagonal (H), rosca métrica (M) de diámetro nominal $D = 12$ mm. Ocho (8) Arandelas (A), de diámetro $d = 50$ mm y espesor $e = 4$ mm.</p> <p>1) Las designaciones de pernos y arandelas pueden ser obviadas si corresponden a las dimensiones establecidas en Tabla 39 para los distintos tamaños de conectores.</p> <p>Ver también Figura 41.</p> <p>⊗ Símbolo para indicar conector de anillo abierto, perno y arandela colocado en cara frontal. × Símbolo para indicar conector de anillo abierto, perno y arandela colocado en cara posterior.</p>

(continúa)

Medio de unión	Representación general
	 <p style="text-align: right;"><i>Dimensiones en milímetros</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i> <i>Vista en corte X-X</i></p>
<p>O.2.7</p> <p>Pasadores B</p>	<p style="text-align: center;">Representación simplificada</p>  <p style="text-align: center;"><i>Vista principal</i> <i>Vista A</i> <i>Vista en corte X-X</i></p> <p>Interpretación de la designación Cuatro (4) Pasadores (B), diámetro $D = 16$ mm y longitud $l = 280$ mm. Ver también Figura 24. ● Símbolo para indicar pasadores colocados por cara frontal (vista principal). ◊ Símbolo para indicar pasadores colocados por cara posterior (vista posterior).</p>
<p>NOTAS GENERALES</p> <p>1) Con fines de simplificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las figuras mostradas no están estrictamente a escala. - La cantidad y posición de los diferentes medios de unión, no necesariamente corresponden a las especificaciones de la norma. <p>2) Las figuras pueden ser ejecutadas de forma general o simplificada y las diferentes alternativas de representación, tales como, cantidad de vistas y cortes, deben ser elegidas dependiendo de la complejidad y de los propósitos de la información dibujada.</p>	

O.3 Representación general y simplificada de maderas, productos forestales y otros elementos

O.3.1 Madera aserrada MA	Representación general
	<i>Dimensiones en milímetros</i>
	Representación simplificada
	<p>Interpretación de la designación Madera aserrada (MA), espesor $e = 45$ mm, ancho $a = 75$ mm y largo $L = 2\ 700$ mm. Si es necesario agregar grado estructural y producto preservante, por ejemplo, MA - 45 x 75 x 2 700 - E3 - P.h.i. Ver también NCh174.</p>
O.3.2 Madera cepillada MC	Representación general
	<i>Dimensiones en milímetros</i>
	Representación simplificada
	<p>Interpretación Madera cepillada (MC), espesor $e = 45$ mm, ancho $a = 70$ mm y largo $L = 2\ 700$ mm. Si es necesario agregar grado estructural y producto preservante, por ejemplo, MA - 45 x 75 x 2 700 - E3 - P.h.i. Ver también NCh174.</p>

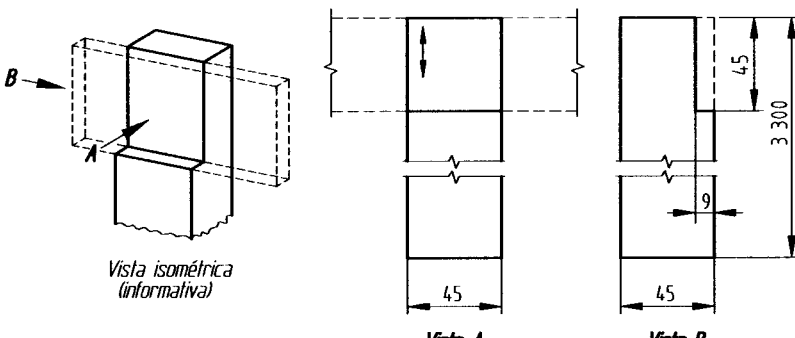
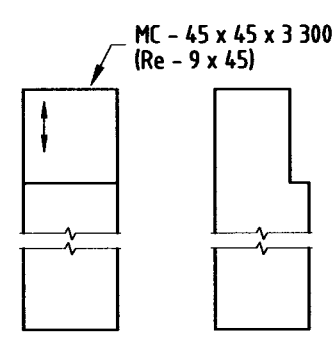
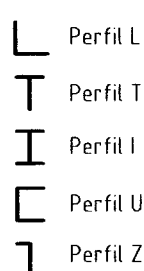
(continúa)

(continuación)

<p>O.3.3</p> <p>Madera laminada encolada</p> <p>MLE</p>	<p align="center">Representación general</p> <p align="right"><i>Dimensiones en milímetros</i></p>
	<p align="center">Representación simplificada</p> <p align="center">MLE/A - 185 x 380 x 7 500</p> <p>Interpretación de la designación Madera laminada encolada (MLE), clase arquitectónica grado A (A), espesor $e = 185$ mm, ancho $a = 380$ mm y largo $L = 7\,500$ mm. Si es necesario agregar producto preservante. Ver también NCh2148.</p>
<p>O.3.4</p> <p>Tablero contrachapado</p> <p>CCH</p>	<p align="center">Representación general</p> <p align="right"><i>Dimensiones en milímetros</i></p>
	<p align="center">Representación simplificada</p> <p align="center">CCH/INT - 18 x 400 x 2 400</p> <p>Interpretación de la designación Tablero contrachapado (CCH-INT), con encolado no resistente a la intemperie, espesor $e = 18$ mm, ancho $a = 400$ mm y largo $L = 2\,400$ mm. Si es necesario agregar otras características especiales.</p>

(continúa)

(conclusión)

<p>O.3.5 Rebajes Re</p>	Representación general	
	<p style="text-align: right;"><i>Dimensiones en milímetros</i></p> 	
	Representación simplificada	
	 <p>Interpretación Madera cepillada (MC), espesor $e = 45$ mm, ancho $a = 45$ mm y largo $L = 3\ 300$ mm con un rebaje (Re) de espesor 9 mm y ancho 45 mm.</p> <p>↑ Indica dirección de la fibra en pieza con rebaje.</p>	
<p>O.3.6 Perfiles de acero</p>	Representación simplificada	
		<p>Las dimensiones de los perfiles deben ser indicadas mediante sus características particulares, precedidas por su símbolo.</p> <p>Ejemplo L 50 X 50 x 5 x 3 000</p> <p>Si es necesario, indicar el tipo de acero, por ejemplo, L 50 x 50 x 5 x 3 000 - A240 ES.</p> <p>Ver también NCh203.</p>

Anexo P (Normativo)

P.1 Exposición a la corrosión (extraído de DIN 55 928 Parte 1)

P.1.1 Corrosión atmosférica

La tasa de corrosión es normalmente insignificante si la humedad relativa atmosférica en contacto con la superficie del acero no excede del 60%. Ante un incremento de la humedad relativa atmosférica y en particular, cuando se producen condensaciones (temperaturas inferiores al punto de rocío), la tasa se incrementa sustancialmente.

Adicionalmente a esto, la tasa de corrosión se encuentra influenciada por la presencia de contaminantes gaseosos o sólidos en el aire. Las sustancias que se depositan sobre el acero favorecen particularmente la corrosión cuando tienen la capacidad de absorber humedad o cuando pasan a constituir soluciones sobre la superficie del acero. La temperatura influencia la tasa de corrosión, condicionando las fluctuaciones transientes de temperatura un efecto más fuerte que el de temperaturas uniformes.

La humedad, la temperatura y la contaminación del aire, en conjunto, representan una base para la estimación del comportamiento corrosivo y para decidir la protección contra la corrosión atmosférica. Los límites de temperatura para la exposición atmosférica se pueden considerar como - 20° y + 60°C (para períodos cortos - 30°C y + 80°C).

P.1.2 Clima

Los siguientes factores tienen un efecto:

El clima básico, esto es, el clima asociado con una región particular y prevaleciente sobre una área amplia. Se debe distinguir entre:

- *clima frío;*
- *clima templado;*
- *clima seco;*
- *clima cálido húmedo;*
- *clima marino.*

En lo referente al comportamiento corrosivo, a partir del clima básico sólo es posible inferir conclusiones generales. Esto es, en un clima frío, en un clima seco y en zonas de altura, la tasa de corrosión en la atmósfera será menor que en un clima templado; será mayor en un clima cálido húmedo y en un clima marino, pese a que serán factibles diferencias locales considerables.

El macro-clima, esto es, el clima prevaleciente en la construcción concerniente.

El macro-clima permite establecer una clasificación más precisa que el clima básico, respecto a la exposición esperada, y resulta especialmente importante cuando las condiciones ambientales en la vecindad inmediata de la estructura a construir no se conocen con precisión aún. Los macro-climas se pueden subdividir de acuerdo con lo establecido en Tabla P.1.

Tabla P.1 - Subdivisión de macro-climas en tipos atmosféricos

Tipo de atmósfera	Características
Atmósfera rural	Áreas predominantemente rurales o con leve edificación carente de contaminación significativa debida a dióxidos de azufre u otras sustancias corrosivas
Atmósfera urbana	Atmósfera en áreas densamente pobladas sin concentración industrial fuerte, contaminada con dióxidos de azufre y otras sustancias destructivas
Atmósfera industrial	Atmósfera severamente contaminada por dióxidos de azufre u otras sustancias destructivas, típica de áreas de fuerte concentración industrial y regiones ubicadas según la dirección de vientos prevalecientes desde dichas áreas
Atmósfera marina	Atmósfera contaminada principalmente por cloruros, típica del mar y de una estrecha franja costera

Estos tipos atmosféricos se traslapan, como por ejemplo, en el caso de concentraciones industriales en la costa, en que la atmósfera marina puede corresponder a una mezcla entre la atmósfera marina y la atmósfera industrial.

El micro-clima, esto es, el clima directamente en el entorno de la componente constructiva individual, es el factor determinante para la exposición y en consecuencia, también para la protección requerida para la componente de la construcción. Ejemplos de esto son la cara inferior de un puente sobre un cauce, la zona de vapor de una lavandería, el área de baños en una planta de decapado.

Los macro y micro-climas resultan factores decisivos para el riesgo de corrosión y la protección asociada, debiendo prestarse especial atención al micro-clima.

P.1.3 Corrosión en el interior de los edificios

La exposición al ataque de estructuras de acero en el interior de construcciones cerradas es normalmente leve.

Si los edificios se encuentran sólo parcialmente cerrados, la exposición al ataque debe ser considerada como equivalente a la plenamente expuesta al aire.

Si la atmósfera en el interior de los edificios se encuentra afectada por las condiciones industriales, puede existir una altísima exposición al ataque corrosivo.

P.2 Exposiciones excepcionales

En el contexto de este anexo, una exposición excepcional corresponde a una exposición de una naturaleza tal, que intensifica sustancialmente el proceso corrosivo y/o establece exigencias adicionales sobre los sistemas de protección anticorrosiva. Dada la multiplicidad de tales tipos de exposición excepcional, se entregan a continuación sólo algunos ejemplos.

P.2.1 Exposición química

La exposición a la corrosión se incrementa localmente como resultado de la pulición asociada con procesos industriales, esto es, debido al efecto de ácidos, álcalis o sales; solventes orgánicos; gases o polvos agresivos; humedad o condensación. Un incremento de temperatura puede provocar un incremento adicional en la tasa de corrosión.

Tal tipo de exposición se produce, por ejemplo, en la vecindad de plantas de coke, plantas de decapado, trabajos de galvanizado, tintorerías, plantas de celulosa, fábricas de papel, refinerías de taninos y petróleos.

P.2.2 Exposición debida a condensación

Si la temperatura de la superficie del acero se mantiene por varios días continuamente por debajo del punto de rocío del aire circundante, el agua de condensación constituirá un riesgo particular de exposición, especialmente si estas condiciones se repiten cíclicamente (condensación periódica, por ejemplo en obras hidráulicas, tuberías de enfriamiento, etc.).

P.2.3 Exposición a temperaturas elevadas

De acuerdo con esta norma se definen como temperatura elevada aquella entre + 60°C y + 150°C; como temperatura alta aquella entre + 150°C y + 400°C. Las temperaturas ocurren en estos rangos sólo bajo especiales condiciones de construcción, salidas de gas en plantas de coke, etc.

Anexo Q (Normativo)

Columnas con cargas laterales y excentricidad

Ecuaciones generales

Un método de diseño que permite calcular la carga directa de compresión que es capaz de resistir una columna solicitada excéntricamente o una columna con una carga aplicada en forma lateral es el siguiente:

- a) Las piezas sometidas a una combinación de flexión debida a la excentricidad y/o cargas laterales con respecto a uno o ambos ejes principales y compresión axial se deben dimensionar de manera que:

$$\left(\frac{f_c}{F_{c\lambda, dis}}\right)^2 + \frac{f_{fx} + f_c \cdot \left(\frac{6 \cdot e_x}{h}\right) \left[1 + 0,234 \cdot \left(\frac{f_c}{F_{cEx}}\right)\right]}{\left(1 - \frac{f_c}{F_{cEx}}\right) \cdot F_{fx, dis}} + \frac{f_{fy} + f_c \cdot \left(\frac{6 \cdot e_y}{b}\right) \left[1 + 0,234 \cdot \left(\frac{f_c}{F_{cEy}}\right) + 0,234 \cdot \left\{\frac{f_{fx} + f_c \cdot \left(\frac{6 \cdot e_x}{h}\right)}{F_{fE}}\right\}^2\right]}{\left[1 - \frac{f_c}{F_{cEy}} - \left\{\frac{f_{fx} + f_c \cdot \left(\frac{6 \cdot e_x}{h}\right)}{F_{fE}}\right\}^2\right] \cdot F_{fy, dis}} \leq 1$$

- b) las piezas sometidas a una combinación de flexión y compresión debido a una carga axial excéntrica respecto a uno o ambos ejes principales se deben dimensionar de manera que:

$$\left(\frac{f_c}{F_{c\lambda, dis}}\right)^2 + \frac{f_c \cdot \left(\frac{6 \cdot e_x}{h}\right) \left[1 + 0,234 \cdot \left(\frac{f_c}{F_{cEx}}\right)\right]}{\left(1 - \frac{f_c}{F_{cEx}}\right) \cdot F_{fx, dis}} + \frac{f_c \cdot \left(\frac{6 \cdot e_y}{b}\right) \left[1 + 0,234 \cdot \left(\frac{f_c}{F_{cEy}}\right) + 0,234 \cdot \left\{\frac{f_c \cdot \left(\frac{6 \cdot e_x}{h}\right)}{F_{fE}}\right\}^2\right]}{\left[1 - \frac{f_c}{F_{cEy}} - \left\{\frac{f_c \cdot \left(\frac{6 \cdot e_x}{h}\right)}{F_{fE}}\right\}^2\right] \cdot F_{fy, dis}} \leq 1$$

NCh1198

en que:

$$f_c < F_{cEx} = \frac{K_{cE} \cdot E_{dis}}{\lambda_x^2} \text{ para flexión simple y desviada}$$

y

$$f_c < F_{cEy} = \frac{K_{cE} \cdot E_{dis}}{\lambda_y^2} \text{ para flexión desviada,}$$

y

$$f_{fx} < F_{fE} = \frac{K_{fE} \cdot E_{dis}}{\lambda_v^2} \text{ para flexión desviada}$$

f_c tensión efectiva de compresión paralela a la fibra;

f_{fx} tensión efectiva de flexión de canto debido a cargas laterales aplicadas sólo sobre el canto de la pieza;

f_{fy} tensión efectiva de flexión de cara debido a cargas laterales aplicadas sólo sobre la cara de la pieza;

$F_{c\lambda, dis}$ tensión de diseño en compresión paralela considerando inestabilidad lateral, determinada de acuerdo con 7.3.2;

$F_{fx, dis}$ tensión de diseño en flexión de canto, determinada de acuerdo con 7.2.2.4;

$F_{fy, dis}$ tensión de diseño en flexión abatida determinada de acuerdo con 7.2.2.4;

K_{cE} = 3,6 para madera aserrada;

= 5,0 para madera laminada encolada;

K_{fE} = 0,44 para madera aserrada;

= 0,61 para madera laminada encolada;

λ_v esbeltez de volcamiento (ver 7.2.2.4);

h dimensión de la cara;

b dimensión del canto;

- e_x excentricidad medida, según una dirección paralela a la cara de la sección, desde el eje de la columna al eje de la cara axial;
- e_y excentricidad medida, según una dirección paralela al canto de la sección, desde el eje de la columna al eje de la carga axial;
- l_x distancia entre puntos de apoyo que restringen el pandeo en el plano de flexión inducida por cargas actuantes sobre el canto;
- l_y distancia entre puntos de apoyo que restringen el pandeo en el plano de flexión inducida por cargas actuantes sobre la cara;
- λ esbeltez de columna.

Las longitudes efectivas de pandeo $l_{Px} = K_x \cdot l_x$ y $l_{Py} = K_y \cdot l_y$ requeridas para el cálculo de las correspondientes esbelteces λ_x y λ_y se determinarán de acuerdo con 7.3.1.2.

F_{cEx} y F_{cEy} se determinarán de acuerdo con 7.3.2.3;

F_{fE} se determinará de acuerdo con 7.2.2.4;

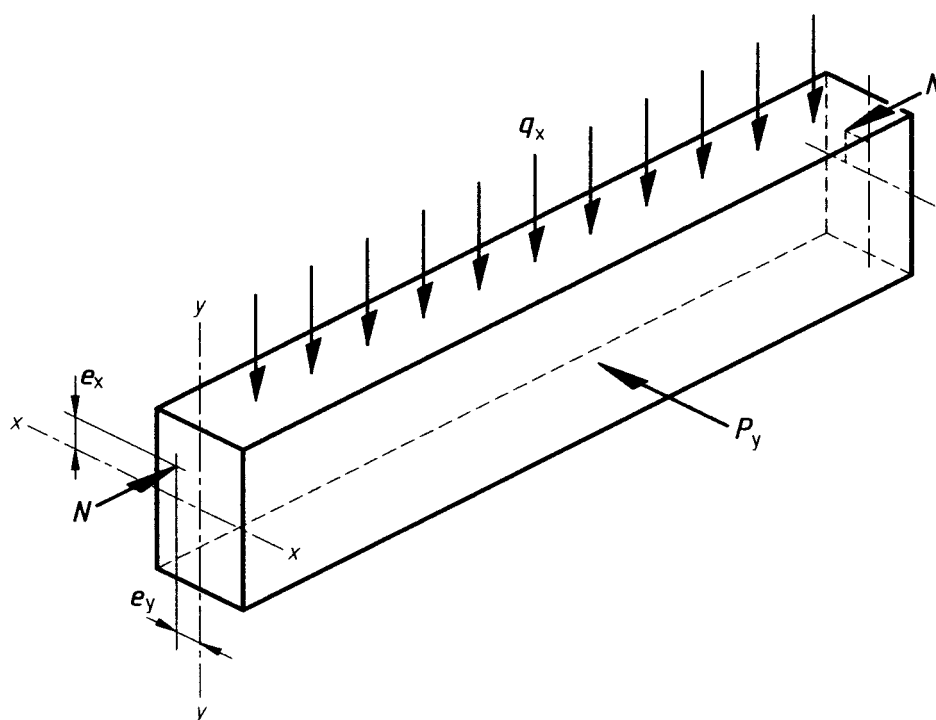


Figura Q.1 - Columna con cargas laterales y excentricidad

Anexo R (Normativo)

Fórmulas para los modos de fluencia para uniones

R.1 Modos de fluencia

Las fórmulas de límites de fluencia especificados en 9.6.2 para medios de unión de tipo cilíndrico, tales como: pernos, pasadores, tirafondos, tornillos y clavos representan cuatro modos de fluencia básicos de uniones (ver Figura 37). Los modos I_c y I_l representan una fluencia dominada por el aplastamiento de las fibras de madera en contacto con el medio de unión, ya sea en el madero principal o en la(s) pieza(s) secundaria(s), respectivamente. El modo II representa el pivoteo del medio de unión en el plano de contacto entre maderos de una unión de cizalle simple con un aplastamiento localizado de fibras de madera en la vecindad de la cara de la(s) pieza(s) de madera. Los modos III_c y III_l representan la fluencia en flexión del medio de unión en un punto de rótula plástica por plano de contacto maderos y la fluencia dominada por el aplastamiento de las fibras de madera en contacto con el medio de unión, ya sea en la pieza principal o en la(s) pieza(s) secundaria(s), respectivamente. El modo IV representa la fluencia en flexión del medio de unión en dos puntos de rótula plástica por plano de contacto entre maderos, con un limitado aplastamiento localizado de fibras de madera en la vecindad del o de los planos de contacto entre maderos.

R.2 Resistencia de aplastamiento para piezas de acero

La resistencia de aplastamiento, $R_{ap,a}$, para piezas de acero se determina de acuerdo con la práctica habitual del diseño de estructuras metálicas. Las resistencias de aplastamiento empleadas para calcular la carga de fluencia de la unión representan resistencias nominales de aplastamiento de $2,4 F_u$ y $2,2 F_u$ para perfiles laminados y plegados, respectivamente (recomendaciones de AISC y AISI). F_u corresponde a la resistencia de tracción del acero. Para permitir la adecuada aplicación de los factores de duración de carga sobre este tipo de uniones, las resistencias de aplastamiento se han dividido por 1,6.

R.3 Resistencia de aplastamiento para piezas de madera

La resistencia de aplastamiento, R_{ap} , para piezas de madera se puede determinar de acuerdo con lo establecido en ASTM D 5764. Por necesidades de compatibilización con el modelo de fluencia utilizado, en la norma se incorporan las expresiones propuestas por T. L. Wilkinson para la normativa estadounidense, derivadas aplicando el método del desplazamiento en el 5% del diámetro (carga correspondiente a la intersección de la curva carga corrimiento experimental con una recta paralela a la región lineal de esta curva, pero

desplazada en una deformación equivalente al 5% del diámetro nominal del medio de unión) en lugar de la expresión de la redacción anterior de NCh1198, resultante de estudios desarrollados en INFOR en la década de los 80 en el contexto de un proyecto con la universidad de New Brunswick de Canadá y que se basaba en la carga experimental máxima.

R.4 Tensión de fluencia del medio de unión, F_{ff}

No existiendo documentos reconocidos que especifiquen las propiedades resistentes de los medios de unión, el calculista debe contactar al fabricante de los medios de unión para determinar la tensión de fluencia que permita diseñar las uniones.

La norma ASTM F 1575 brinda un método estándar para la determinación experimental de la tensión de fluencia de clavos.

La tensión de fluencia del medio de unión (F_{ff}) se determina analizando las curvas carga-desplazamiento obtenidas de los ensayos de flexión del medio de unión por medio del método del desplazamiento en el 5% del diámetro ($0,05 \cdot D$). Sin embargo, para medios de unión cortos y de diámetro grande para los que el ensayo directo en flexión resulta impracticable, F_{ff} , se podrá estimar sobre la base de los resultados de ensayos de tracción, tales como los especificados en ASTM F 606.

Las investigaciones realizadas en EE.UU. hacen presumir que para pernos F_{ff} es equivalente aproximadamente a un promedio entre la tensión de fluencia en tracción y la resistencia de tracción del perno, $F_{ff} = F_{ft} / 2 + F_u / 2$. Basándose en esta aproximación $330 \text{ MPa}^{3/4} F_{ff}^{3/4} 956 \text{ MPa}$ para los distintos grados de pernos SAE J 429. De acuerdo con lo anterior un valor $F_{ff} = 310 \text{ MPa}$ resulta razonable para la mayoría de los pernos habituales del mercado. Un número limitado de ensayos con tirafondos indican que el valor $F_{ff} = 310 \text{ MPa}$ resulta igualmente razonable para un gran número de los tirafondos disponible con diámetro $D \geq 9,5 \text{ mm}$.

Ensayos realizados con una muestra limitada de clavos de vástago liso de 12 fabricantes de clavos de EE.UU. indican que F_{ff} aumenta al disminuir el diámetro de clavo, y puede superar 700 MPa para clavos de diámetro muy pequeño. Esta apreciación de los investigadores de EE.UU. fue corroborada en un estudio desarrollado por INFOR (Informe Técnico 120:1998) para clavos comercializados en nuestro país. Para clavos de acero endurecido, se sugiere considerar una tensión de fluencia incrementada en un 30% con respecto a la correspondiente a un clavo normal de igual diámetro.

R.5 Medios de unión con hilo

La reducida resistencia de flexión en la zona con hilo del vástago de medios de unión de forma cilíndrica puede ser considerada usando el diámetro del núcleo de la zona con hilo, D_r , en el cálculo de los valores nominales de carga admisible. Se permite el uso del diámetro, D , cuando la parte con hilo del vástago queda suficientemente desplazada del plano de contacto entre maderos. Por ejemplo, se puede usar el diámetro, D , cuando la longitud de apoyo de la zona con hilo en la pieza principal de una unión de cizalle simple no excede $1/4$ de la longitud de apoyo total en la pieza principal (pieza que recibe la zona con hilo). Para uniones con tres o más maderos, se puede usar el diámetro, D , cuando la longitud de apoyo de la zona con hilo no excede $1/4$ de la longitud de apoyo total en la pieza extrema (la pieza que recibe la zona con hilo).

Anexo S (Normativo)

Fallas de la madera solicitada en tracción según la dirección de la fibra en uniones con medios de unión mecánicos

Método de la National Design Specification for Wood Construction Edición 2001

En estudios experimentales llevados a cabo en EE.UU. se ha apreciado que la capacidad resistente de uniones traccionadas constituidas de hileras de medios de unión de forma cilíndrica de gran diámetro próximamente dispuestos y alineadas según la dirección de la fibra queda limitada por la capacidad resistente de la madera que confina la unión. Esta situación se ha podido apreciar, en la práctica, a través del colapso de estructuras debido a fallas de este tipo en uniones y empalmes traccionados.

Las uniones con grupos de sujetores de diámetros más pequeños, tales como las uniones clavadas típicas en construcciones de tabiquerías de madera, habitualmente no quedan limitadas por la capacidad de la madera.

En lo siguiente se analizarán los modos de falla potenciales en la madera para una pieza constituyente de una unión traccionada, según se esquematiza en Figura S.1.

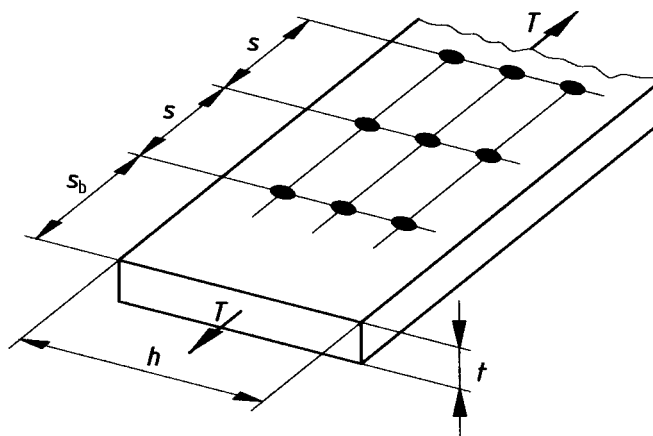


Figura S.1 - Unión traccionada según la dirección de la fibra de la madera

NCh1198

Capacidad de tracción de la sección transversal neta

El mecanismo de falla se presenta en Figura S.2. La capacidad admisible de carga se calcula de acuerdo con NCh1198, 7.4, 9.2.1, 9.5.1 y 9.8.2, relativas al área neta y considerando la tensión de diseño en tracción paralela a la fibra, de acuerdo con:

$$T_{AN,dis} = F_{tp,dis} \cdot A_{neta} \quad (S.1)$$

en que:

$T_{AN,dis}$: capacidad de tracción en la sección transversal neta;

$F_{tp,dis}$: tensión de diseño en tracción paralela;

A_{neta} : sección transversal neta.

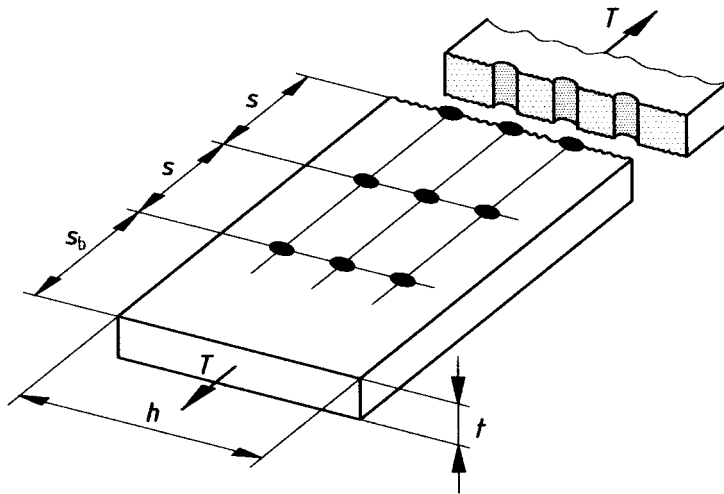


Figura S.2 - Capacidad de tracción de la sección transversal neta

Capacidad de desgarro de una hilera de medios de unión

Los mecanismos de falla se presentan en Figura S.3.

La capacidad de desgarro admisible de una hilera de sujetores se puede estimar como:

$$T_{DH_i,dis} = n_i \cdot \frac{F_{cz,dis} \cdot A_{critica}}{2} \quad (S.2)$$

en que:

$T_{DH_i,dis}$: capacidad de desgarro admisible de la hilera de orden "i";

$F_{cz,dis}$: tensión de diseño en cizalle paralelo a la fibra;

$A_{critica}$: superficie de cizalle mínima de cualquier sujetor en la hilera "i";

n_i : número de sujetores en la hilera "i".

Asumiendo una línea de cizalle a cada lado de los sujetores en una hilera, la expresión anterior resulta:

$$T_{DH_i,dis} = \frac{F_{cz,dis} \cdot t}{2} \cdot [n_i \cdot s_{critica}] \cdot (2 \text{ líneas de cizalle})$$

$$= n_i \cdot F_{cz,dis} \cdot t \cdot s_{critico} \quad (S.3)$$

en que:

- $s_{critico}$: espaciamiento mínimo en una hilera, considerado como el menor valor entre el espaciamiento al borde o el espaciamiento entre sujetores;
- t : espesor de la pieza de madera.

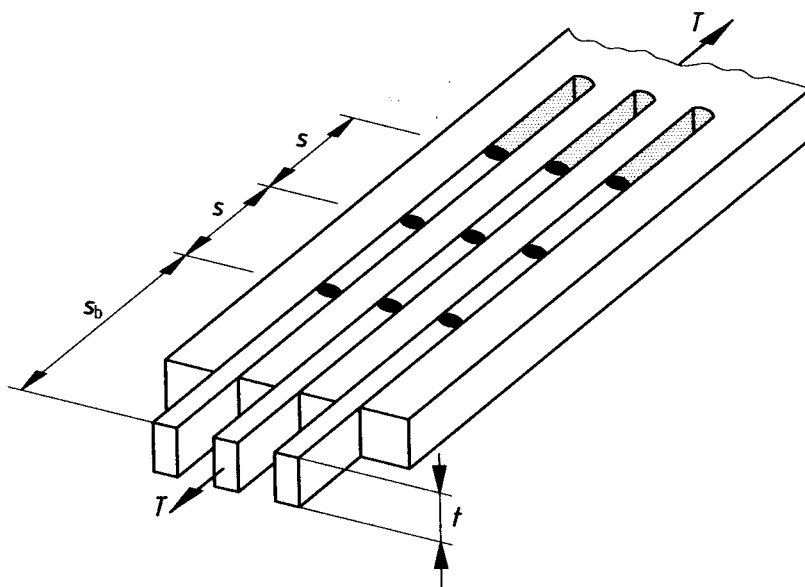


Figura S.3 - Capacidad de desgarro de una hilera de medios de unión

La capacidad de desgarro admisible total de hileras múltiples de sujetores se puede estimar como:

$$T_{DH,dis} = \sum_{i=1}^{n_{hilera}} T_{DH_i,dis} \quad (S.4)$$

en que:

- $T_{DH,dis}$: capacidad admisible de desgarro de hileras múltiples;
- n_{hilera} : número de hileras.

NCh1198

En la expresión (S.2) se ha asumido que la tensión de cizalle inducida a lo largo de cada línea de cizalle entre sujetores en una hilera varía desde un valor máximo $f_{cz} = F_{cz,dis}$ hasta un valor mínimo $f_{cz} = 0$ y que la variación en la razón tensión de cizalle/deformación es lineal a lo largo de cada línea de cizalle. La distribución triangular de tensiones resultante entre sujetores en cada línea de cizalle en una hilera establece una tensión de cizalle promedio equivalente a la mitad de la tensión de diseño en cizalle, esto es, $F_{cz,dis} / 2$, tal como se aprecia en la expresión (S.2).

El uso de área de cizalle mínima de cualquier sujetor en una hilera para calcular la capacidad de desgarro de una hilera se basa en la hipótesis de que la menor área de cizalle entre sujetores limitará la capacidad de una hilera de sujetores. Lo apreciado en ensayos de uniones apernadas brinda una constatación limitada de esta aproximación.

Capacidad de desgarro de un grupo de hileras de medios de unión

El mecanismo de falla se presenta en Figura S.4. La capacidad admisible de desgarro de un grupo de "n" hileras de sujetores se puede estimar como:

$$T_{DG,dis} = \frac{T_{DH-1,dis}}{2} + \frac{T_{DH-n,dis}}{2} + F_{tp,dis} \cdot A_{neta,grupo} \quad (S.5)$$

en que:

- $T_{DG,dis}$: capacidad admisible de desgarro del grupo;
- $T_{DH-1,dis}$: capacidad admisible de desgarro de la hilera 1 de sujetores que rodea el área de grupo crítica;
- $T_{DH-n,dis}$: capacidad admisible de desgarro de la hilera "n" de sujetores que rodea el área de grupo crítica;
- $A_{neta,grupo}$: sección transversal crítica neta del grupo entre las hileras 1 y "n".

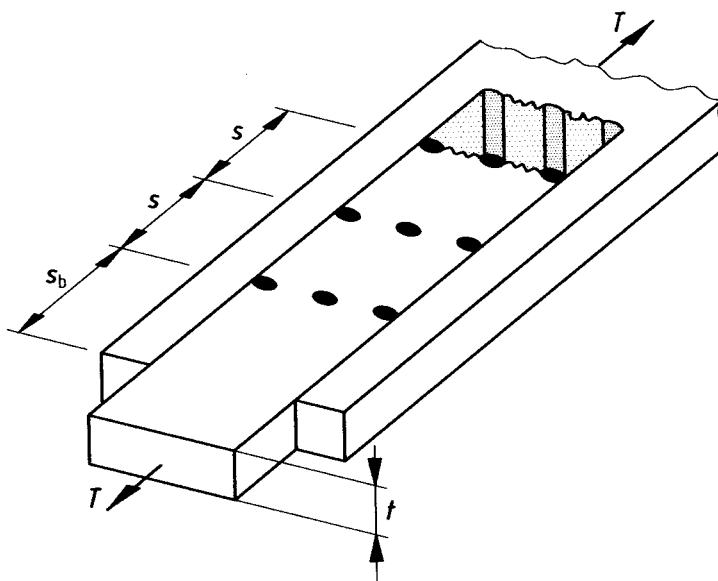


Figura S.4 - Capacidad de desgarro de un conjunto de hilas de medios de unión

Para grupos de sujetores con espaciamentos distintos entre hilas de sujetores se deberán verificar diversas definiciones de áreas de grupo críticas para el desgarro del grupo en combinación con el desgarro de hilera para determinar la capacidad admisible de la sección transversal crítica.

Efecto de la colocación del sujetor

La resistencia al desgarro de una hilera y del grupo, cuya capacidad se encuentra limitada por las concentraciones de tensiones que se inducen en torno al grupo de sujetores, puede ser incrementada modificando la disposición de los sujetores dentro del grupo. Una alternativa de incrementar la capacidad de desgarro de una hilera consiste en aumentar el espaciamiento según la dirección de la fibra entre sujetores. Por otra parte, al incrementar el espaciamiento entre hilas permite mejorar la resistencia al desgarro del grupo.

Sin embargo, en algunas normativas y con el propósito de limitar las tensiones inducidas por la contracción que puede experimentar la madera, se establecen límites para la separación entre las hilas externas de un grupo de sujetores dispuestos paralelamente al eje de una pieza, La norma de EE.UU., por ejemplo, especifica como límite la distancia 127 mm. La mencionada restricción se puede obviar si se adoptan soluciones constructivas que neutralicen los efectos de la contracción, como por ejemplo el uso de agujeros ranurados.

Anexo T
(Normativo)

Capacidad admisible de carga de la madera ante sollicitaciones normales a la dirección de la fibra en uniones con medios de unión mecánicos

Método de Ehlbeck, Görlacher, y Werner, Universidad Federiciana de Karlsruhe 1991

Cuando en una unión con medios de unión mecánicos se traspasan fuerzas que solicitan a un madero según la dirección normal a la fibra, es posible que la resistencia de la unión no quede condicionada por los medios de unión, sino que por la capacidad de la madera para resistir tracciones normales a la dirección de la fibra.

La tracción normal a la fibra admisible por concepto de la capacidad resistente de la madera, $T_{n,ad}$, se puede estimar usando la expresión:

$$T_{n,ad} = F_m \cdot A_{ef} \cdot f_1(a/h) \cdot f_2(h_1/h_i) \cdot f_3(W_{ef}/a) \cdot f_4(MdU) \cdot 10^{-3} \quad [\text{kN}] \quad (\text{T.1})$$

Los factores de influencia individuales, que se esquematizan en Figura T.1 son:

A_{ef} : superficie efectiva de unión, en mm^2 ;

$$A_{ef} = W_{ef} \cdot b_{ef}$$

W_{ef} : ancho efectivo de unión, en cm (desarrollo ideal, según la dirección de la fibra, de la superficie solicitada en tracción normal a la fibra).

$$W_{ef} = \sqrt{W^2 + (C \cdot h)^2} \quad [\text{mm}] \quad \text{con} \quad C = \frac{4}{3} \cdot \sqrt{\frac{a}{h} \cdot \left(1 - \frac{a}{h}\right)^3}$$

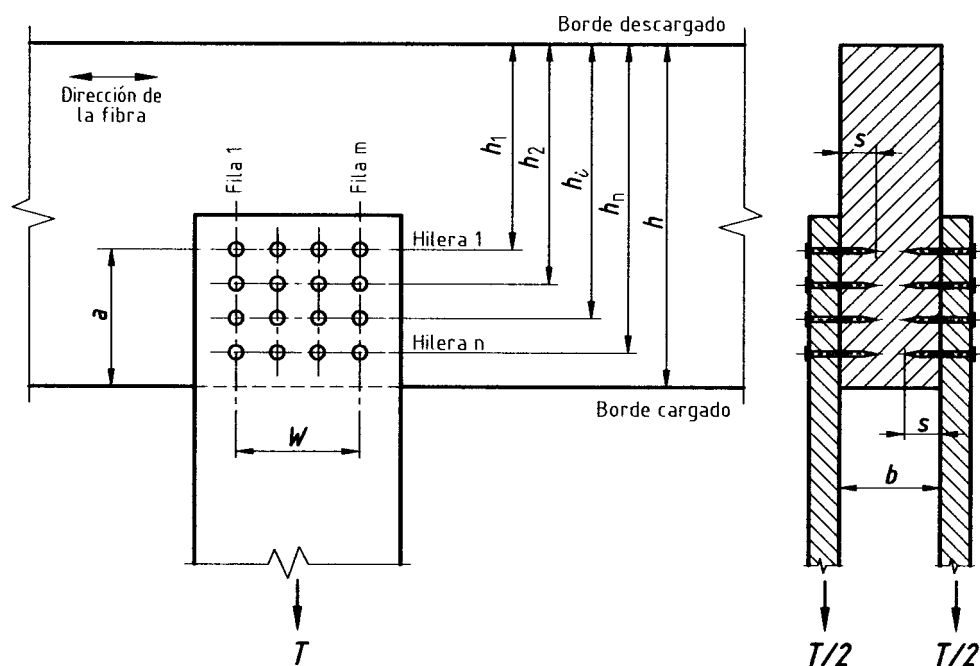


Figura T.1 - Designaciones geométricas

El uso de estas expresiones exige que la distancia entre columnas adyacentes no exceda el valor: $0,8 \cdot h - a$.

Si esto no se cumple

$$W_{ef} = C \cdot h \cdot \left[1 + (m - 1) \cdot \left(\frac{W}{W + a} \right) \right] \quad [\text{mm}]$$

Aquí son:

- W : separación entre columnas externas de la disposición de medios de unión (cuando se dispone una única columna se considera $W = 0$), en mm;
- a : distancia desde la hilera superior de la disposición de medios de unión al borde cargado, en mm;
- h : altura de viga, en mm;
- m : cantidad de columnas de la disposición de medios de unión;
- b_{ef} : profundidad efectiva de unión, en cm (desarrollo ideal hacia el interior del espesor, de la superficie solicitada en tracción normal a la fibra), en mm;

Para una disposición unilateral de clavos o tornillos $b_{ef} = s \leq 12 d$, en mm;

NCh1198

Para una disposición unilateral de clavos con uso de cubrejuntas metálicas
 $b_{ef} = s \leq 15 d$, en mm;

Para barras de acero y pernos $b_{ef} = 6 d$, en mm;

Para conectores especiales (hinca y/o precisión) $b_{ef} = 50$ mm;

Ante una disposición bilateral de los medios de unión en el madero verificado los valores de profundidad efectiva indicados anteriormente se pueden duplicar, debiendo respetarse en todo caso $b_{ef} \leq b$, en mm.

En las expresiones anteriores

s : profundidad efectiva de hinca en el madero, en mm;

d : diámetro del vástago del clavo, tornillo, barra de acero o perno, en mm;

F_m : tensión admisible de tracción normal a la fibra para una duración de sollicitación de 10 años en MPa, valor que depende de la superficie transversal solicitada en tracción normal a la fibra, A_{ef} .

$$F_m = 3,33 \cdot (A_{ef})^{-0,2}, \text{ para madera laminada encolada, en MPa;}$$

$$F_m = 2,00 \cdot (A_{ef})^{-0,2}, \text{ para madera aserrada, en MPa.}$$

Cuando $A_{ef} \leq 10\,000$ mm² rigen los valores constantes

$$F_m = 0,53 \text{ MPa para madera laminada encolada; y}$$

$$F_m = 0,32 \text{ MPa para madera aserrada.}$$

$f_1(a/H)$: factor que considera la ubicación, con respecto a la altura de viga, de la sección más solicitada en tracción normal a la fibra de la unión.

$$f_1(a/h) = \frac{1}{1 - 3 \cdot \left(\frac{a}{h}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{a}{h}\right)^3}$$

$f_2(h_1/h_i)$: factor que considera el efecto de la cantidad de filas de la disposición de medios de unión.

$$f_2(h_1/h_i) = \frac{n}{\sum (h_1/h_i)^2}$$

con

h_i : distancia entre la hilera de orden "i" de la disposición de medios de unión y borde descargado;

n : número de filas de la disposición de medios de unión.

a : separación entre la hilera superior de la disposición de medios de unión y el borde cargado.

$f_4(MdU)$: factor que considera el tipo de medio de unión

$f_4(MdU) = 1,0$ para medios de unión con vástago cilíndrico;

$f_4(MdU) = 1,1$ para conectores especiales.

Si se disponen consecutivamente varias agrupaciones de medios de unión el valor de diseño de la capacidad resistente para una agrupación individual, $T_{n,ad}$, se puede obtener mediante la igualdad (T1) cuando la distancia libre entre dos agrupaciones vecinas medida según la dirección de la fibra ascienda al menos a $2 \cdot h$.

Si la distancia libre según la dirección de la fibra entre dos agrupaciones vecinas no es superior a $0,5 \cdot h$, ambos grupos deben ser considerados como un único grupo de medios de unión.

Si la distancia libre medida según la dirección de la fibra entre dos agrupaciones adyacentes de medios de unión es superior a $0,5 \cdot h$ pero menor que $2 \cdot h$, el valor de diseño de la capacidad resistente de cada agrupación se debe reducir por medio del factor k_g :

$$k_g = \frac{l_g}{4 \cdot h} + 0,5$$

Aquí es

l_g : distancia libre entre las agrupaciones de medios de unión, en mm.

NCh1198

Si se disponen más de dos agrupaciones de medios de unión consecutivamente con $l_g < 2 \cdot h$ en las que el valor de diseño de la componente de fuerza perpendicular a la dirección de la fibra es mayor que la mitad de la capacidad resistente $T_{n,ad}$ modificada por el coeficiente k_g , las fuerzas de tracción normal a la fibra deberán ser neutralizadas por medio de refuerzos. Esto rige igualmente para uniones con una fuerza solicitante superior al 50% de $T_{n,ad}$, cuya distancia libre al extremo de la pieza sea menor que su altura h .

Para relaciones $(a/h) > 0,70$ se puede prescindir de la verificación del efecto de las tensiones de tracción normales a la dirección de la fibra.

En uniones transversales que resistan cargas principales no se aceptan relaciones $(a/h) < 0,20$. Sólo para cargas eventuales de corta duración se aceptan relaciones $(a/h) < 0,20$ no permitiéndose en todo caso mayoraciones de las tensiones admisibles de tracción normal a la fibra por concepto de duración del estado de carga condicionante del diseño.

Anexo U (Normativo)

Refuerzos de vigas curvas y vigas de bordes rectos y altura variable de MLE

U.1 Las indicaciones de este anexo se refieren a piezas cuya capacidad resistente se incrementa por medio de la disposición de uno o más refuerzos dispuestos normal a la dirección de la fibra de la madera para neutralizar tensiones de tracción normal a la fibra.

- 1) En la determinación de las solicitaciones sobre los refuerzos no se considera la resistencia de la madera a tracción normal a la dirección de la fibra.
- 2) Como refuerzos dispuestos en el interior de la pieza se acepta:
 - barras con hilo encoladas;
 - barras de hormigón con resalte encoladas;
 - tornillos para madera con hilo a lo largo de todo el vástago.

En los sectores de sección transversal solicitados por tracciones se debe considerar el debilitamiento de sección transversal inducido por la colocación de los refuerzos.

- 3) Los refuerzos mediante tornillos con hilo a lo largo de todo el vástago se verifican análogamente a lo establecido para barras de acero con hilo encoladas.
- 4) La solicitación de tracción de la barra de acero se debe verificar en la sección transversal crítica.

U.2 Para vigas en las que las fuerzas de tracción normal a la dirección de la fibra se neutralizan en su totalidad por medio de refuerzos, éstos se deberán diseñar en la mitad central del sector solicitado por tensiones de tracción normal a la fibra, considerando una fuerza:

$$T_{tn} = \frac{f_{n,máx.} \cdot b \cdot a_1}{n} \quad [\text{N}]$$

en que:

- $f_{n,máx.}$: tensión de tracción normal a la fibra según 10.7.1.3, en MPa;
- b : ancho de viga, en mm;
- a_1 : espaciamiento según el eje de la viga entre refuerzos medido a nivel del eje principal de la viga, en mm;
- n : cantidad de refuerzos en el sector comprendido en la longitud a_1 .

NCh1198

Los refuerzos en los cuartos exteriores del sector solicitado por tracción normal a la fibra se diseñan a su vez para una fuerza:

$$T_m = \frac{2}{3} \cdot \frac{f_{n,máx.} \cdot b \cdot a_1}{n} \quad [\text{N}]$$

U.3 Para vigas cuyo contenido de humedad en servicio no sobrepasa el límite $H=20\%$, pero que no cumplen la condición $f_{n,máx.} \leq 0,75 \cdot F_{tn,dis}$ se deben incorporar refuerzos para neutralizar las tensiones de tracción normal a la fibra inducidas por el clima. Estos refuerzos se diseñan en el sector solicitado por tensiones de tracción normal a la fibra para una fuerza.

$$T_m = \frac{f_{n,máx.} \cdot b \cdot a_1}{4 \cdot n} \cdot \left(\frac{b}{160} \right) \quad [\text{N}]$$

en que:

$f_{n,máx.}$: tensión de tracción normal a la fibra según 10.7.1.3, en MPa;

b : ancho de viga, en mm.

Las barras de refuerzo se deben distribuir uniformemente a lo largo del sector solicitado por tensiones de tracción normal a la dirección de la fibra.

U.4 En la neutralización de la fuerza de tracción T_m por medio de barras de acero encoladas se debe verificar para la tensión de adhesión, supuesta uniformemente distribuida, que:

$$f_a \leq F_{a,dis}$$

$$f_a = \frac{2 \cdot T_m}{\pi \cdot l_{a,ef} \cdot D_r} \quad [\text{MPa}]$$

Aquí son:

T_m : valor de diseño de la fuerza de tracción en cada barra, en N;

$l_{a,ef}$: mitad de la longitud de encolado de la barra de acero, en mm;

D_r : diámetro exterior de la barra de acero, en mm;

$F_{a,dis}$: tensión de diseño de la adherencia, en MPa.

Sobre la base de resultados obtenidos en investigaciones exploratorias realizadas en la U. del Bío Bío y la U. de Santiago relativas a la resistencia de anclajes de barras con hilo en madera laminada encolada de Pino radiata, y mientras no se disponga de antecedentes más completos, $F_{a,dis}$ se puede asimilar a la tensión de diseño en cizalle $F_{cz,dis}$.

En el caso de tornillos, se puede asumir una tensión admisible de anclaje $F_a = 1$ MPa, permitiéndose el uso de valores superiores sobre la base de un respaldo experimental debidamente fundamentado.

U.5 Las barras de acero deben atravesar, con excepción de una lámina de borde, la totalidad de la altura de la viga.

U.6 Para vigas en las que las fuerzas de tracción normal a la dirección de la fibra se neutralizan en su totalidad por medio de refuerzos, la distancia entre barras de refuerzo en el canto superior deberá ascender al menos a 250 mm, sin exceder en todo caso el 75% de la altura de viga en la cumbrera h_m .

NORMA CHILENA

NCh 1198-2006

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION • INN-CHILE

Madera - Construcciones en madera - Cálculo

Wood - Wood buildings - Calculation and design

Primera edición : 2006

Descriptores: *madera, estructuras, cálculo estructural, diseño estructural, requisitos*

CIN 91.080.20

COPYRIGHT © : INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION - INN

* Prohibida reproducción y venta *

Dirección : Matías Cousiño N° 64, 6° Piso, Santiago, Chile

Web : www.inn.cl

Miembro de : ISO (International Organization for Standardization) • COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas)