

Documento Básico **SE-M**

Seguridad estructural Estructuras de madera

Noviembre 2003

Índice

1 Generalidades

- 1.1 Ámbito de aplicación y consideraciones previas
- 1.2 Documentos de proyecto

2 Bases de cálculo

- 2.1 Generalidades
- 2.2 Propiedades de los materiales
- 2.3 Verificaciones
- 2.4 Estados límite últimos
- 2.5 Estados límite de servicio
- 2.6 Geometría

3 Durabilidad

- 3.1 Introducción
- 3.2 Protección de la madera
- 3.3 Protección contra la corrosión de los elementos metálicos

4 Materiales

- 4.1 Madera maciza
- 4.2 Madera laminada encolada
- 4.3 Madera microlaminada
- 4.4 Tablero estructural
- 4.5 Productos protectores de la madera frente a los agentes bióticos y meteorológicos
- 4.6 Adhesivos (colas)
- 4.7 Uniones

5 Análisis estructural

- 5.1 Principios generales
- 5.2 Características de las barras
- 5.3 Conexiones
- 5.4 Sistemas de barras

6 Estados límite últimos

- 6.1 Agotamiento de secciones sometidas a tensiones aisladas según las direcciones principales
- 6.2 Agotamiento de secciones sometidas a tensiones combinadas
- 6.3 Estabilidad de piezas
- 6.4 Agotamiento de secciones en piezas de canto variable o curvas de madera laminada encolada y microlaminada
- 6.5 Piezas rebajadas
- 6.6 Piezas con agujeros

7 Estados límite de servicio

- 7.1 Generalidades
- 7.2 Determinación de las deformaciones
- 7.3 Deslizamiento de las uniones
- 7.4 Exigencias
- 7.5 Vibraciones

8 Uniones

- 8.1 Introducción
- 8.2 Principios generales del cálculo de uniones
- 8.3 Uniones de tipo clavija
- 8.4 Uniones con conectores
- 8.5 Uniones tradicionales

9 Fatiga

- 9.1 Generalidades
- 9.2 Comprobación de estructuras sometidas a fatiga

10 Sistemas estructurales de madera y productos derivados

- 10.1 Vigas mixtas
- 10.2 Soportes compuestos
- 10.3 Celosías
- 10.4 Diafragmas
- 10.5 Arriostramientos

11 Ejecución

- 11.1 Principios generales
- 11.2 Condiciones generales de la ejecución

12 Tolerancias

- 12.1 Principios generales
- 12.2 Elementos estructurales
- 12.3 Celosías con uniones de placas dentadas

13 Control

- 13.1 Principios generales
- 13.2 Condiciones generales de la ejecución
- 13.3 Suministro y recepción de los productos
- 13.4 Construcción y control en obra

14 Inspección y mantenimiento

- 14.1 Generalidades.
- 14.2 Mantenimiento de las estructuras de madera

Anejo A. Terminología

Anejo B. Notación y unidades

Anejo C. Asignación de clase resistente. Madera aserrada.

Anejo D: Asignación de clase resistente. Madera laminada encolada

Anejo E. Valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad. Madera aserrada, madera laminada, encolada y tableros

Anejo F. Valores orientativos de humedad de equilibrio de la madera, con uso en exterior protegido de la lluvia

Anejo G. Longitudes de pandeo

Anejo H (Informativo). Fallo de uniones por cortante en el perímetro o en bloque

Anejo I. Relación de normas UNE.

1 Generalidades

1.1 Ámbito de aplicación y consideraciones previas

- 1 Este DB se destina a verificar la seguridad estructural en las fases de proyecto y de ejecución de estructuras de madera en edificación. Lo relacionado con la fabricación, el montaje y el control solo se abordan en la medida necesaria para indicar las exigencias que se deben cumplir en concordancia con las hipótesis del proyecto.
- 2 Este DB se refiere únicamente a la seguridad de las estructuras de madera en condiciones normales de utilización, incluidos los aspectos relativos a la durabilidad, de acuerdo con el DB-SE. La satisfacción de otros requisitos (aislamiento térmico, acústico, resistencia al fuego, resistencia al sismo) quedan fuera de su alcance. Los aspectos relativos a la fabricación, montaje, control de calidad, conservación y mantenimiento se tratan, exclusivamente, en la medida necesaria para indicar las exigencias que se deben cumplir en concordancia con las hipótesis de proyecto.
- 3 Los edificios se destinarán al uso para el que han sido construidos y se conservarán adecuadamente.

1.2 Documentos de proyecto

1.2.1 Documentación de proyecto

- 1 En relación con la seguridad estructural, los diversos documentos de que consta el proyecto, descritos en el Anejo I del CTE, deberán contener como mínimo, la documentación que se indica en los siguientes apartados.
- 2 Cuando la dirección de obra, durante la ejecución de la misma, autorice modificaciones de proyecto, previamente a la realización de las mismas, deberán rectificarse convenientemente los cálculos, planos y cualquier documento de proyecto que resulte afectado por dichas modificaciones. Además, para evitar confusiones, se indicará claramente en los citados documentos modificados que son los documentos finales y que anulan a los anteriores, que se relacionarán pormenorizadamente.

1.2.1.1 Memoria

- 1 La memoria contendrá el programa de necesidades, en el que se describirán aquellas características del edificio y del uso previsto que condicionan las exigencias de seguridad estructural, tanto en lo relativo a la capacidad portante como a la aptitud al servicio; las bases de cálculo y la declaración de cumplimiento de los DB o justificación documental del cumplimiento de las exigencias básicas de seguridad si se adoptan soluciones alternativas que se aparten total o parcialmente de los DB.
- 2 Las bases de cálculo y en su caso, en el anejo de cálculo se incluirán los siguientes datos:
 - a) El periodo de servicio previsto, si difiere de 50 años;
 - b) Las simplificaciones efectuadas sobre el edificio para transformarla en uno o varios modelos de cálculo, que se describirán detalladamente, indicando el tipo estructural adoptado para el conjunto y sus partes, las características de las secciones, tipo de conexiones y condiciones de sustentación;
 - c) Las características mecánicas consideradas para los materiales, y para el terreno que lo sustenta, o en su caso actúa sobre ella;
 - d) Las exigencias relativas a la capacidad portante y a la aptitud al servicio, incluida la durabilidad, y las situaciones de dimensionado consideradas;
 - e) Las acciones consideradas, las combinaciones efectuadas y los coeficientes de seguridad utilizados para las diferentes situaciones de dimensionado;
 - f) De cada elemento reflejado en planos, el tipo de análisis efectuado y los métodos de cálculo empleados;

g) La modalidad de control de calidad previsto.

Si el proyecto se desarrolla en dos fases (proyecto básico y proyecto de ejecución), en el proyecto básico se incluirá, al menos, la información indicada en los puntos a) y d), así como las acciones de aplicación al caso, los materiales previstos y los coeficientes de seguridad aplicables.

- 3 Cuando no se utilice la notación de este DB, se darán las equivalencias entre los símbolos empleados y los definidos en la misma. Si no es posible dar esta equivalencia se definirán detalladamente dichos símbolos.
- 4 Los cálculos realizados con ordenador se completarán identificando los programas informáticos utilizados en cada una de las partes que han dado lugar a un tratamiento diferenciado, indicando el objeto y el campo de aplicación del programa y explicando con precisión, la representación de los datos introducidos por el autor de los cálculos y los resultados generados por el programa.

1.2.1.2 Planos

- 1 Los planos deben ser suficientemente descriptivos para la exacta realización de la obra, a cuyos efectos se podrán deducir también de ellos los planos auxiliares de obra o de taller y las mediciones que sirvan de base para las valoraciones pertinentes.
- 2 Contendrán todos los detalles necesarios, y en particular, los detalles de uniones y nudos, las características de los materiales, la modalidad de control de calidad previsto, si procede, y los coeficientes de seguridad adoptados en el cálculo.
- 3 Si el proyecto se desarrolla en dos fases (proyecto básico y proyecto de ejecución), los planos del proyecto básico deben ser lo suficientemente precisos para la definición del tipo estructural previsto y el establecimiento de las reservas geométricas para la realización de la estructura.

1.2.1.3 Pliego de prescripciones técnicas particulares

- 1 El pliego de prescripciones técnicas particulares incluirá los apartados precisos para establecer las condiciones exigibles a los materiales y a la ejecución de cada unidad de obra.
- 2 Incluirá la modalidad de control de calidad elegida para cada material y para la ejecución de cada unidad de obra, los ensayos a realizar, los criterios de aceptación y rechazo, y las acciones a adoptar en cada caso. Asimismo, se establecerá el plazo de garantía de cada componente.
- 3 Especificará las pruebas previstas para realizar las correspondientes recepciones de obra y se establecerán sus plazos de garantía.
- 4 En este pliego se exigirá, cuando sea oportuno o cuando esté reglamentado, la colocación en el lugar de la obra que especifique, de una placa con el valor máximo de la sobrecarga admisible para el uso de esa zona del edificio.

1.2.2 Documentación final de obra

- 1 La documentación final de obra incluirá los planos completos de todos los elementos y partes de la obra, que reflejen con precisión la obra realmente construida, así como la documentación acreditativa de que las modificaciones de proyecto realizadas son conformes con el CTE.
- 2 Asimismo, incluirá la documentación acreditativa de que se han cumplido las especificaciones de control de calidad especificadas en el proyecto, en las instrucciones de la dirección facultativa y en el CTE.

1.2.3 Instrucciones de uso y mantenimiento

1.2.3.1 Instrucciones de uso

- 1 En las instrucciones de uso, el apartado destinado a la estructura recogerá toda la información necesaria para asegurar que el uso del edificio es conforme a las hipótesis adoptadas en las bases de cálculo.
- 2 De toda la información acumulada sobre una obra, y en particular sobre su estructura, las instrucciones de uso incluirán aquella que resulte de interés para la propiedad y para los usuarios, que como mínimo será:
 - a) las cargas permanentes;

- b) las sobrecargas de uso;
- c) las deformaciones admitidas, incluidas las del terreno, en su caso;
- d) las condiciones particulares de utilización, como puede ser el respeto a las señales de limitación de sobrecarga, o el mantenimiento de las marcas o bolardos que definen zonas con requisitos especiales al respecto;
- e) Las medidas adoptadas para reducir los riesgos.

1.2.3.2 Plan de mantenimiento

- 1 El plan de mantenimiento, en lo correspondiente a la estructura, se establecerá en concordancia con las bases de cálculo y con cualquier información adquirida durante la ejecución de la obra que pudiera ser de interés, e identificará:
 - a) el tipo de los trabajos de mantenimiento a llevar a cabo;
 - b) lista de los puntos que requieran un mantenimiento particular;
 - c) el alcance, la realización y la periodicidad de los trabajos de conservación;
 - d) un programa de inspecciones.

2 Bases de cálculo

2.1 Generalidades

- 1 Las especificaciones, criterios, procedimientos, principios y reglas que aseguran un comportamiento estructural adecuado de un edificio conforme a las exigencias del CTE, se establecen en el DB-SE. En este DB se incluyen los aspectos propios de las estructuras de madera.
- 2 Aunque todos los elementos de la estructura han de ser dimensionados para, como mínimo, soportar las solicitaciones de cálculo, deben considerarse, además, los criterios de proyecto siguientes:
 - a) Robustez.
El proyecto debe plantearse de modo que la estructura soporte sin daño las etapas de transporte, acopio y montaje, concebirse de modo que posea una cierta flexibilidad de uso y ser capaz de admitir, con un daño proporcionado a la causa que lo origina, acciones excepcionales como explosiones, impactos o errores humanos.
 - b) Normalización.
La estructura se definirá sistematizando tolerancias, características dimensionales, configuración de elementos y tipificación de detalles.
 - c) Simplicidad.
El proyecto procurará la sencillez del concepto estructural buscando la adecuación a los medios disponibles así como la facilidad de construcción, inspección y mantenimiento.

2.2 Propiedades de los materiales

2.2.1 Valores característicos de las propiedades de los materiales

2.2.1.1 Criterio general

- 1 Como valores característicos de las propiedades de los materiales, X_k , se tomarán los establecidos en el correspondiente apartado del Capítulo 4 de este DB, teniendo en cuenta los factores correctores que se establecen en el siguiente apartado 2.2.1.2.

2.2.1.2 Factores correctores k_h , k_{sys} y k_{vol}

- 1 En las fórmulas que aparecen, posteriormente, en este capítulo 2 y que lleven incorporado el correspondiente “factor de corrección”, que seguidamente se establece, se recordará remitiendo a este apartado, en cuyo caso no debe duplicarse.

- a) Madera maciza.

Factor de altura k_h : En piezas de madera aserrada de sección rectangular, si el canto en flexión o la mayor dimensión de la sección en tracción paralela es menor que 150 mm, los valores característicos $f_{m,k}$ y $f_{t,o,k}$ pueden multiplicarse por el factor k_h tomándose el valor menor de los dos siguientes:

$$K_h = (150 / h)^{0,2} \quad (2.1)$$

$$K_h = 1,3$$

siendo:

h canto en flexión o mayor dimensión de la sección en tracción, [mm].

b) Madera laminada encolada:

- i) factor de altura k_h : En piezas de madera laminada encolada de sección rectangular, si el canto en flexión o la mayor dimensión de la sección en tracción paralela es menor que 600 mm, los valores característicos $f_{m,g,k}$ y $f_{t,o,g,k}$ pueden multiplicarse por el factor k_h tomándose el valor menor de los dos siguientes:

$$K_h = (600/h)^{0,1} \quad (2.2)$$

$$K_h = 1,1$$

siendo:

h canto en flexión o mayor dimensión de la sección en tracción, [mm].

- ii) factor de volumen k_{vol} : Cuando el volumen V , del elemento estructural que se proyecta, sea mayor que V_0 ($V_0=0,01 \text{ m}^3$) y esté sometido a esfuerzos de tracción perpendicular a la fibra con tensiones repartidas uniformemente, la resistencia característica a tracción perpendicular, $f_{t,90,g,k}$ se multiplicará por el siguiente factor:

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V} \right)^{0,2} \quad (2.3)$$

c) Madera microlaminada:

- i) factor por altura k_h : En piezas de madera microlaminada de sección rectangular, si el canto en flexión es diferente a 300 mm, el valor característico $f_{m,k}$ debe multiplicarse por el factor k_h tomándose el valor menor de los dos siguientes:

$$K_h = (300/h)^s \quad (2.4)$$

$$K_h = 1,2$$

siendo:

h canto en flexión de la sección, [mm];

s factor que debe definir el fabricante de acuerdo con la norma UNE EN 14374.

- ii) factor de longitud k_l : En piezas de madera microlaminada sometidas a tracción paralela si la longitud difiere de 3000 mm, el valor característico de la resistencia a tracción paralela, $f_{t,o,k}$ debe multiplicarse por el factor k_l tomándose el valor menor de los dos siguientes:

$$K_h = (3000/l)^{s/2} \quad (2.5)$$

$$K_h = 1,1$$

siendo:

l longitud de la pieza, [mm];

s factor que debe definir el fabricante.

d) Factor de carga compartida k_{sys} .

Cuando un conjunto de elementos estructurales similares con separaciones iguales se encuentre transversalmente conectado a través de un sistema continuo de distribución de carga, las propiedades resistentes características de los elementos del conjunto pueden multiplicarse por un factor denominado de carga compartida k_{sys} .

Siempre que el sistema de distribución de carga sea capaz de transferir las cargas de un elemento a otros que estén en sus proximidades, puede tomarse un valor de $k_{sys} = 1,1$.

La comprobación de resistencia del sistema de distribución de la carga, debe realizarse suponiendo una duración corta de las cargas y con el coeficiente parcial de seguridad del material γ_M .

En sistemas de cerchas con separación máxima de 1,20 m se puede suponer que los listones, correas o paneles son eficaces para transmitir la carga siempre que estos sistemas de distribución sean continuos, sobre al menos dos vanos, y las juntas estén contrapeadas.

Para pisos de losas macizas de madera laminada pueden utilizarse los valores de k_{sys} obtenidos a través del gráfico de la de la figura 2.1.

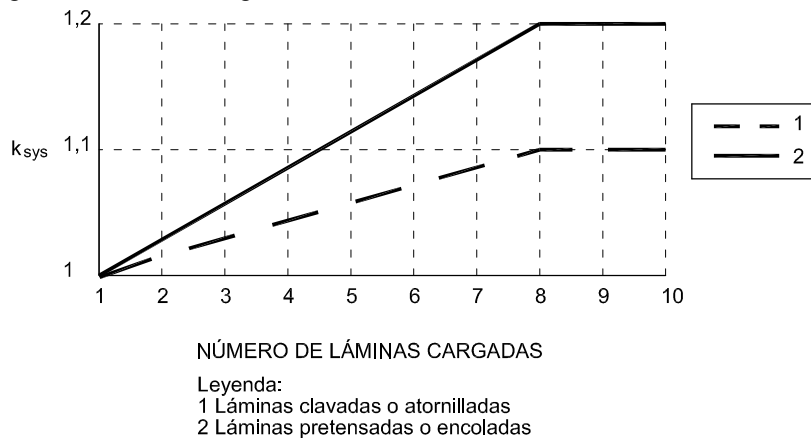


Figura 2.1 Factor k_{sys} para losas macizas de madera laminada.

2.2.2 Factores que afectan al comportamiento estructural de la madera

2.2.2.1 Clases de duración de la carga

- 1 Las acciones que solicitan al material considerado deben asignarse a una de las “clases de duración de la carga” establecidas en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Clases de duración de la carga

Clase de duración	Duración aproximada acumulada de la carga característica
Permanente	más de 10 años
Larga	de 6 meses a 10 años
Media	de 1 semana a 6 meses
Corta	menos de 1 semana
Instantánea	algunos segundos

Si una combinación de acciones incluye acciones pertenecientes a diferentes clases de duración de la carga, el factor k_{mod} debe elegirse como el correspondiente a la acción de más corta duración; por ejemplo, para la combinación del “peso propio de un elemento estructural” (duración permanente) más “carga de nieve” (duración corta), k_{mod} correspondería a la carga de duración corta.

2.2.2.2 Clases de servicio

- 1 Los materiales que conforman el elemento estructural considerado deben asignarse a una de las “clases de servicio” definidas a continuación, en función de las condiciones ambientales previstas:

a) clase de servicio 1.

Se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad relativa del aire que solo exceda el 65% unas pocas semanas al año.

b) clase de servicio 2.

Se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad relativa del aire que solo exceda el 85% unas pocas semanas al año.

c) clase de servicio 3.

Condiciones ambientales que conduzcan a contenidos de humedad superiores al de la clase de servicio 2.

- 2 En la clase de servicio 2 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 20%. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera bajo cubierta pero abiertas y expuestas al ambiente exterior, como es el caso de cobertizos y viseras. Las piscinas cubiertas, debido a su ambiente húmedo, encajan también en esta clase de servicio.

2.2.3 Valor de cálculo de las propiedades del material y de las uniones

- 1 El valor de cálculo, X_d , de una propiedad de un material (resistencia) se define como:

$$X_d = k_{\text{mod}} \cdot \left(\frac{X_k}{\gamma_M} \right) \quad (2.6)$$

siendo:

X_k valor característico de la propiedad del material. Véase apartado 2.2.1;

γ_M coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material definido en la tabla 2.2;

k_{mod} factor de modificación, cuyos valores figuran en la tabla 2.3 teniendo en cuenta, previamente, la clase de duración de la carga de la tabla 2.1 y la clase de servicio del apartado 2.2.2.2.

Tabla 2.2 Coeficientes parciales de seguridad para el material, γ_M .

Combinaciones fundamentales:	
- Madera maciza	1,30
- Madera laminada encolada	1,25
- Madera microlaminada, tablero contrachapado, tablero de virutas orientadas	1,20
- Tablero de partículas y tableros de fibras (duros, medios, densidad media, blandos)	1,30
- Uniones	1,30
- Placas clavo	1,25
Combinaciones accidentales:	1,0

De manera análoga se define el valor de la capacidad de carga de cálculo (referida a una unión o un sistema estructural), R_d , según la expresión:

$$R_d = k_{\text{mod}} \cdot \left(\frac{R_k}{\gamma_M} \right) \quad (2.7)$$

siendo:

R_k valor característico de la capacidad de carga;

γ_M coeficiente parcial de seguridad correspondiente definido en la tabla 2.2.

Tabla 2.3 Valores del factor k_{mod} .

Material	Norma	Clase de servicio	Clase de duración de la carga				
			Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
Madera maciza		1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
Madera laminada encolada		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
Madera microlaminada		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Tablero contrachapado	UNE EN 636						
	Partes 1, 2 y 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Partes 2 y 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Parte 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	UNE EN 300						
	OSB/2	1	0,25	0,30	0,40	0,65	1,10
OSB	UNE EN 300						
	OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,40	0,50	0,70	1,10
	OSB/3, OSB/4	2	0,20	0,25	0,35	0,50	0,90
Tablero de partículas	UNE EN 312						
	Partes 4 y 5	1	0,25	0,30	0,40	0,65	1,10
	Parte 5	2	0,20	0,20	0,25	0,45	0,80
Tablero de partículas	UNE EN 312						
	Partes 6 y 7	1	0,30	0,40	0,50	0,70	1,10
	Parte 7	2	0,20	0,25	0,35	0,50	0,90
Tablero de fibras duro	UNE EN 622-2						
	HB.LA, HV.HLS	1	0,25	0,30	0,40	0,65	1,10
	HB.HLS	2	0,20	0,20	0,25	0,45	0,80
Tablero de fibras semiduro	UNE EN 622-3						
	MBH.LA, MBH.HLS	1	0,25	0,30	0,40	0,65	1,10
	MBH.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80
Tablero de fibras MDF	UNE EN 622-5						
	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,30	0,40	0,60	1,10
	MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80
Tablero de fibras blando	UNE EN 622-4						
		1	-	-	-	0,80	1,10
		2	-	-	-	0,60	0,80

2.3 Verificaciones

2.3.1 Tipos de verificación

- 1 Se efectuarán dos tipos de verificaciones, las relativas a:
 - a) La estabilidad y la resistencia (Estado Límite Ultimo).

b) La aptitud para el servicio (Estado Límite de Servicio).

A estos efectos se distingue, respectivamente, entre los Estados Límite Últimos, estados relacionados con fallos estructurales, y los Estados Límite de Servicio, estados relacionados con el comportamiento estructural en servicio. Las verificaciones de la capacidad portante y de la aptitud para el servicio se efectuarán para las diferentes situaciones de dimensionado.

2.3.2 Modelado y análisis

- 1 El análisis estructural se basará en modelos adecuados del edificio que proporcionen una previsión suficientemente precisa del comportamiento de la misma, y que permitan tener en cuenta todas las variables significativas y que reflejen adecuadamente los Estados Límite a considerar. En los análisis de comportamiento de paredes en estado límite de rotura se podrá adoptar un diagrama tensión-deformación rígido-plástico. En el documento se dan indicaciones específicas para el modelado.
- 2 Se podrán establecer varios modelos estructurales, bien complementarios, para representar las diversas partes del edificio, o alternativos, para representar más acertadamente distintos comportamientos o efectos.
- 3 Las condiciones de apoyo que se consideren en los cálculos deben estar de acuerdo con las disposiciones constructivas previstas.
- 4 Se deben considerar los incrementos producidos en los esfuerzos por causa de las deformaciones (efectos de 2º orden) allí donde no resulten despreciables.
- 5 En el análisis estructural, se deben tener en cuenta las diferentes fases de la construcción, incluyendo el efecto del apeo provisional de los forjados durante el hormigonado.

2.4 Estados límite últimos

2.4.1 Condiciones que deben verificarse

- 1 Para la verificación de la capacidad portante de una estructura de madera se comprobarán los estados límite últimos siguientes.

a) Estabilidad

La estabilidad de un elemento o del conjunto de una estructura queda verificada si se cumple la condición:

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb} \quad (2.8)$$

$E_{d,dst}$ valor de cálculo del efecto de las acciones desestabilizadoras,

$E_{d,stb}$ valor de cálculo del efecto de las acciones estabilizadoras.

b) Resistencia

La resistencia de la estructura portante, de un elemento estructural, de una sección, de una unión entre elementos o de la conexión entre materiales queda verificada si se cumple la condición:

$$E_d \leq R_d \quad (2.9)$$

E_d valor de cálculo del efecto de las acciones,

R_d valor de cálculo de la resistencia correspondiente.

NOTA. Las verificaciones se pueden efectuar en términos de las tensiones, de los esfuerzos (fuerzas, momentos, un vector representando diferentes fuerzas o momentos), o de las acciones.

Al evaluar E_d y R_d , se tendrán en cuenta los efectos de segundo orden de acuerdo con los criterios establecidos en este DB.

2.4.2 Efecto de las acciones

- 1 Para cada situación de dimensionado, los valores de cálculo del efecto de las acciones se obtendrán mediante las reglas de combinación indicadas en DB. En edificios convencionales, salvo

aquellos que tengan un uso específico de almacén o fábrica, el valor de cálculo del efecto de las acciones puede determinarse, de forma simplificada, del siguiente modo.

a) situaciones persistentes o transitorias:

$$E_d = E(\sum \gamma_{G,j} G_{kj} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} 0,7 \gamma_{Q,i} Q_{k,i}) \quad (2.10)$$

siendo

G_k el valor característico de una de las “j” acciones permanentes;

Q_k el valor característico de una de las “i” acciones variables;

γ_G , atiende a lo que para él establece el DB-SE, que, parcialmente, se reproduce en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Coeficientes parciales para las acciones

	γ_G	γ_Q
Efecto favorable	0,8 (Para las comprobaciones de estabilidad de conjunto 0,9)	0
Efecto desfavorable	1,35 (Para las comprobaciones de estabilidad de conjunto 1,1)	1,5

b) situaciones extraordinarias:

$$E_d = E(\sum G_{kj} + A_d + \sum_{i>1} 0,7 Q_{k,i}) \quad (2.11)$$

siendo

G_k el valor característico de una de las “j” acciones permanentes;

A_d el valor de cálculo de la acción accidental;

Q_k el valor característico de una de las “i” acciones variables.

Para determinadas categorías de uso, esta expresión puede resultar excesivamente conservadora, por lo que puede resultar conveniente calcular el efecto de las acciones de acuerdo con el DAC-SE teniendo en consideración la categoría de uso correspondiente.

2.5 Estados límite de servicio

2.5.1 Condiciones que deben verificarse

1 Para los diferentes estados límite de servicio se verificará que:

$$E_{ser} \leq C_{lim} \quad (2.12)$$

siendo

E_{ser} efecto de las acciones de cálculo;

C_{lim} valor límite para el mismo efecto.

2.5.2 Efecto de las acciones

1 Para cada situación de dimensionado, los valores de cálculo del efecto de las acciones se obtendrán mediante las reglas de combinación indicadas en DB. En edificios convencionales, salvo aquellos que tengan un uso específico de almacén o fábrica, el valor de cálculo del efecto de las acciones puede determinarse, de forma simplificada, del siguiente modo.

$$E_d = E(\sum G_{kj} + Q_{k,i} + \sum_{i>1} 0,7Q_{k,i}) \quad (2.13)$$

siendo

G_k el valor característico de una de las “j” acciones permanentes;

Q_k el valor característico de una de las “i” acciones variables.

2.6 Geometría

2.6.1 Valor de cálculo

- 1 El valor de cálculo de una dimensión geométrica puede ser representado normalmente por su valor nominal:

$$a_d = a_{nom} \quad (2.14)$$

a_d valor de cálculo de una dimensión geométrica,

a_{nom} valor nominal de la misma dimensión, según los planos del proyecto.

2.6.2 Desviaciones de una dimensión geométrica

- 1 En los casos en los que las posibles desviaciones de una dimensión geométrica de su valor nominal pueda tener una influencia significativa en la seguridad estructural (por ejemplo: debido a efectos de segundo orden), el valor de cálculo de esta dimensión quedará definido por:

$$a_d = a_{nom} \pm \Delta a \quad (2.15)$$

Δa desviación de una dimensión geométrica de su valor nominal, o el efecto acumulado de diferentes desviaciones geométricas que se pueden producir simultáneamente.

Los valores de Δa se definen en el apartado correspondiente a tolerancias (capítulo 11).

3 Durabilidad

3.1 Introducción

- 1 Para garantizar la durabilidad de la estructura deben tomarse las medidas adecuadas de protección de la madera y de los elementos metálicos de las uniones. La protección de la madera se trata en el apartado 3.2 y la protección contra la corrosión del acero en el apartado 3.3.

3.2 Protección de la madera

- 1 La madera puede sufrir daños causados por agentes bióticos y abióticos. El objetivo de la protección preventiva de la madera es mantener la probabilidad de sufrir daños por este origen en un nivel aceptable.
- 2 La protección preventiva frente a agentes bióticos se trata en el apartado 3.2.1 y frente a agentes abióticos (se consideran solamente los meteorológicos) en el apartado 3.2.2.
- 3 Las medidas constructivas de protección de acuerdo con la buena práctica de construcción con madera, constituyen un factor decisivo en su durabilidad.

3.2.1 Protección preventiva frente a los agentes bióticos

3.2.1.1 Generalidades

- 1 Este apartado se refiere fundamentalmente a la protección preventiva frente a agentes bióticos, de los elementos estructurales de madera, teniendo en cuenta las normas UNE EN 335-1,2,3; UNE EN 350-1,2; UNE EN 351-1,2; UNE EN 460 y UNE EN 599-1,2.
- 2 Los elementos estructurales de madera deben estar protegidos de acuerdo con la clase de riesgo biológico, véase apartado 3.2.1.2, en la que se van a encontrar durante su vida de servicio que se estime en el proyecto. Si la clase de riesgo es igual o superior a 3 los elementos estructurales estarán, también, protegidos frente a los agentes meteorológicos.

3.2.1.2 Clases de riesgo biológico

- 1 El concepto de "clase de riesgo" está relacionado con la probabilidad de que un elemento estructural sufra ataques por agentes bióticos, y principalmente es función del grado de humedad que llegue a alcanzar durante su vida de servicio.
- 2 En el apartado 3.2.1.3 se recoge una información complementaria de los agentes bióticos más comunes:
 - a) clase de riesgo 1:
 - i) el elemento estructural está bajo cubierta protegido de la intemperie y no expuesto a la humedad. En estas condiciones la madera maciza tiene un contenido de humedad menor que el 20%;
 - ii) no hay riesgo de ataque por hongos y en cuanto a insectos, puede ser atacada por coleópteros y ocasionalmente por termitas;
 - iii) ejemplos: elementos estructurales en general que no estén próximos a fuentes de humedad, estructuras en el interior de la edificación (centros comerciales, salas de exposición, polideportivos, etc.).
 - b) clase de riesgo 2:
 - i) el elemento estructural está bajo cubierta y protegido de la intemperie pero se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad mayor que el 20 % en parte o en la totalidad del elemento estructural pudiendo por tanto sufrir el ataque por hongos cromógenos o xilófagos.
 - ii) el riesgo de ataque por insectos es similar al de la clase 1;

- iii) ejemplos: estructura de una piscina cubierta en la que se mantiene una humedad ambiental elevada con condensaciones ocasionales y elementos estructurales próximos a conductos de agua.
- c) clase de riesgo 3:
 - i) el elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo y sometido a una humidificación frecuente, superando el contenido de humedad el 20%;
 - ii) la madera puede ser atacada por los mismos organismos que en la clase de riesgo 2 pero con mayor probabilidad;
 - iii) ejemplos: puentes de tráfico peatonal o rodado y pérgolas.
- d) clase de riesgo 4:
 - i) el elemento estructural está en contacto con el suelo o con agua dulce y expuesto por tanto a una humidificación en la que supera permanentemente el contenido de humedad del 20%;
 - ii) en este caso además de los organismos que atacan en las clases 1, 2 y 3 hay que considerar la posibilidad de ataque por hongos de pudrición. El riesgo de ataque por termitas es mayor al estar el elemento estructural directamente en contacto con el suelo;
 - iii) ejemplos: construcciones en agua dulce y pilares en contacto directo con el suelo;
- e) clase de riesgo 5:
 - i) situación en la cual el elemento estructural está permanentemente en contacto con agua salada. En estas circunstancias el contenido de humedad de la madera es mayor que el 20 %, permanentemente;
 - ii) el riesgo de ataque es el correspondiente a las clases anteriores más el adicional de xilófagos marinos;
 - iii) ejemplos: construcciones en agua salada.

3.2.1.3 Clases de riesgo y agentes bióticos que atacan a la madera

- 1 De forma resumida, y con carácter informativo, se establece la tabla 3.1 en la que se refleja la situación del elemento estructural, la permanencia en la exposición a la humidificación y los tipos de agentes bióticos atacantes para cada clase de riesgo.

Tabla 3.1 Tipos más comunes de ataque biológico según las clases de riesgo

Clase de Riesgo	Situación	Permanencia en exposición	Aparición de agentes biológicos			
			Hongos	Coleópteros	Termitas	Xilófagos marinos
1	-Sin contacto con el suelo -Bajo cubierta (ambiente seco)	Ninguna	---	U ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	---
2	-Sin contacto con el suelo -Bajo cubierta (riesgo de humedad)	Ocasionalmente	U ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	---
3	-Sin contacto con el suelo -No bajo cubierta (situación expuesta)	Frecuente	U ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	---
4	-En contacto con el suelo o agua dulce	Permanente	U ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	---
5	-En agua salada	Permanente	U ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾	U ⁽¹⁾

⁽¹⁾ U = Universalmente presente en toda España

3.2.1.4 Tipos de protección frente a agentes bióticos y métodos de impregnación

- 1 **Protección superficial:** es aquella en la que la penetración media alcanzada por el protector es de 3 mm, siendo como mínimo de 1 mm en cualquier parte de la superficie tratada.

- a) los métodos de tratamiento más adecuados para la aplicación de una protección superficial son el pincelado, la pulverización y la inmersión breve;
 - b) los productos protectores utilizados son algunos hidrosolubles, los hidrodispersables y los que llevan disolventes orgánicos;
 - c) la protección superficial se corresponde con la clase de penetración P_2 de la norma UNE EN 351-1.
- 2 **Protección media:** es aquella en la que la penetración media alcanzada por el protector es superior a 3 mm en cualquier zona tratada, sin llegar al 75% del volumen impregnable.
- a) los sistemas de tratamiento más adecuados son la inmersión prolongada y los sistemas de impregnación por autoclave: vacío-vacío y vacío-presión para las maderas tratadas antes de su puesta en obra y por inyección a presión mediante válvulas antirretorno o por implantes para la madera puesta en obra;
 - b) los productos protectores utilizados en estos sistemas de impregnación son las sales hidrosolubles, los protectores en disolventes orgánicos y los orgánicos naturales;
 - c) la protección media se corresponde con las clases de penetración P_3 a P_7 de la norma UNE EN 351-1.
- 3 **Protección profunda:** es aquella en que la penetración media alcanzada por el protector es igual o superior al 75% del volumen impregnable.
- a) los métodos de tratamiento más adecuados para conseguir la protección profunda son los ya referidos de autoclave: vacío-vacío y vacío-presión;
 - b) los productos protectores utilizados son las sales hidrosolubles, los productos protectores en disolventes orgánicos y los orgánicos naturales;
 - c) la protección profunda se corresponde con las clases de penetración P_8 y P_9 de la norma UNE EN 351-1.

3.2.1.5 Elección del tipo de protección frente a agentes bióticos

- 1 En la tabla 3.2 se indica el tipo de protección en función de la clase de riesgo.

Tabla 3.2 Elección del tipo de protección

Clase de riesgo	Tipo de protección
1	Ninguna ⁽¹⁾
2	Superficial (P_2) ⁽²⁾
3	Media (P_3 a P_7) ⁽³⁾
4	Profunda (P_8 y P_9)
5	Profunda (P_8 y P_9)

⁽¹⁾ Es frecuente que aun en el caso de estructuras de madera que quedarán en servicio en un interior correspondiente a la clase de riesgo 1, se aplique un tratamiento superficial (P_2). Este proceder se debe a que durante el montaje la estructura queda expuesta a la intemperie y la protección superficial evita un deterioro o manchado de la superficie. Es el caso habitual en madera laminada encolada.

⁽²⁾ En algunos casos de riesgo elevado se puede llegar a una protección media (P_3 a P_7).

⁽³⁾ Es frecuente recurrir a una protección profunda (P_8 y P_9) al emplear un tratamiento mediante autoclave.

- 2 **Especies de difícil tratamiento:** algunas especies coníferas frecuentemente utilizadas en construcción como abetos, piceas, cedro rojo, son difícilmente impregnables (salvo con procedimientos especiales) por lo que no es recomendable su utilización en las clases de riesgo que requieren tratamiento en profundidad (clases de riesgo 3, 4 y 5).
- 3 **Casos de riesgo especial:** situaciones en las que la probabilidad de ataque de un elemento estructural por organismos xilófagos es muy superior a la media para la clase de riesgo que le corresponde. Por ejemplo en las obras de rehabilitación estructural donde se hubieran detectado ataques previos por agentes xilófagos, se recomienda aplicar como mínimo a los nuevos elementos estructurales protección media en clase de riesgo 1, protección media en clase de riesgo 2 y protección profunda en clases de riesgo 3 y superiores

- 4 **Tratamiento de piezas de madera laminada encolada:** en la fabricación de madera laminada encolada, cuando se prescribe un tratamiento superficial, éste se debe realizar sobre la pieza terminada y después de las operaciones de acabado (cepillado, mecanizado de aristas y taladros etc.). En el caso de que el tratamiento prescrito sea de protección media o de profundidad este se realizará sobre las láminas, previamente a su encolado. El producto protector debe ser compatible con el encolado. En este sentido se ha comprobado que en general los protectores hidrosolubles son compatibles con la operación de encolado, sin embargo no se tiene suficiente experiencia con los protectores orgánicos. En todo caso debe conocerse la compatibilidad entre el producto protector utilizado y el proceso de encolado.

3.2.1.6 Productos protectores frente a agentes bióticos

- 1 Los productos de protección de la madera, frente a agentes bióticos, deben encontrarse inscritos en el Registro Oficial Central de Productos y Material Fitosanitarios del Ministerio de Sanidad y Consumo.

Los productos de protección, frente a agentes bióticos, se clasifican en los siguientes grupos principales:

- a) **productos hidrosolubles:** son mezclas de sales y/u óxidos minerales utilizadas en solución acuosa con una concentración determinada. Están integrados esencialmente por los tres componentes siguientes:

- i) principios activos (sales u óxidos minerales);
- ii) coadyuvantes: sales u óxidos cuyo papel es asegurar la fijación de los principios activos en la madera impidiendo su eliminación por deslavado o por la acción del calor;
- iii) disolvente (agua).

La madera tratada con protectores hidrosolubles, una vez seca, queda limpia aunque generalmente coloreada; no es corrosiva para los plásticos, es compatible con las colas y puede admitir un acabado posterior. La madera tratada con estos protectores resulta difícilmente deslavable, no mancha los materiales con los que está en contacto, y no ve aumentada su inflamabilidad. Debido a que estos protectores se aplican a madera húmeda, o a que la humedecen durante el tratamiento, exigen un secado posterior en el que se pueden producir fendas y deformaciones.

- b) **productos hidrodispersables:** Son mezclas de principios activos no hidrosolubles a los que se añade un emulgente para producir una buena dispersión en agua. Comercialmente se conocen como "emulsiones". Son de un tipo intermedio entre los hidrosolubles y los protectores en disolvente orgánico, teniendo en común con los primeros el disolvente (agua) y con los segundos los principios activos. La madera tratada con protectores hidrodispersables, por regla general no cambia de color, admite un acabado posterior, es compatible con las colas, no es corrosiva para los metales ni para los plásticos, no ve aumentada su inflamabilidad y no mancha los materiales con los que está en contacto.

- c) **protectores en disolvente orgánico:** son productos listos para su empleo constituidos por formulaciones en las que intervienen esencialmente los tres componentes siguientes:

- i) principios activos. Son compuestos orgánicos de síntesis o naturales;
- ii) coadyuvantes. Son compuestos que aseguran la estabilidad del producto, y la fijación de los principios activos en el interior de la madera;
- iii) disolvente o diluyente, constituido por regla general por fracciones obtenidas en la destilación del petróleo.

Cuando el disolvente se ha evaporado por completo, la madera queda con un aspecto limpio, sin cambios de color, dispuesta a recibir cualquier tipo de acabado, o ser encolada. No mancha los materiales con los que está en contacto y no ve aumentada su inflamabilidad.

- d) **productos orgánicos naturales:** son productos que se obtienen de la destilación del alquitrán de hulla (creosotas), o de la pirólisis del petróleo. Son aceites de composición química compleja y se caracterizan por su densidad, viscosidad, curva de destilación y por su contenido en naftalenos, antracenos y productos fenólicos que determinan esencialmente su eficacia.

Su propia naturaleza hace que solo puedan aplicarse a madera con un contenido de humedad menor que el 20 %. Los protectores orgánicos naturales son resistentes al deslavado, pero si se aplican con una retención alta, pueden producirse exudaciones, sobre todo por efecto del calor.

La madera tratada con estos protectores adquiere una coloración oscura que se aclara con el tiempo; tiene un secado muy lento, por lo que no admite un acabado inmediato posterior; desprende un fuerte olor durante bastante tiempo; no es corrosiva para los metales y puede manchar los materiales porosos con los que esté en contacto.

3.2.2 Protección preventiva frente a agentes meteorológicos

- 1 Este apartado se refiere a la protección preventiva frente a agentes meteorológicos debidos principalmente a las acciones del agua y de la radiación solar. El efecto de estos agentes en la capacidad portante de una pieza de madera es poco significativo y es un problema más relacionado con el aspecto exterior de la superficie de la madera.
- 2 Las medidas constructivas establecidas en el diseño de la edificación pueden reducir el efecto de los agentes meteorológicos en alto grado. Por el contrario, el descuido o error en el diseño constructivo puede facilitar daños graves como la pudrición, normalmente debida a la retención del agua.

3.2.2.1 Productos protectores frente a agentes meteorológicos

- 1 Si se utilizan productos protectores en piezas situadas al exterior, éstos han de estar específicamente formulados para este tipo de exposición.

Esta referencia debe estar indicada en los envases suministrados por el fabricante así como referencia a otras características que posea el producto, tales como:

- a) elasticidad;
- b) comportamiento frente a la radiación U.V (ultravioleta);
- c) propiedades insecticidas y fungicidas frente a organismos xilófagos. En este caso los productos cumplirán los apartados 3.2.1.1 a 3.2.1.6, en la parte que les afecte;
- d) comportamiento en cuanto a la estabilidad dimensional.

Los acabados más frecuentes son:

- a) revestimientos decorativos:

- i) pinturas plásticas y esmaltes sintéticos o lacas.

Son recubrimientos opacos pigmentados. Si están formulados en base agua se denominan pinturas plásticas o dispersiones y en el caso de estar formuladas en base disolvente, se denominan esmaltes sintéticos o lacas

No se deben emplear en exteriores pinturas mates.

- ii) barnices.

Son recubrimientos transparentes. Estos recubrimientos, en particular, deben ser elásticos y contener aditivos que actúen frente a la radiación U.V. (ultravioleta)

- b) protectores decorativos:

- i) lasures.

Son productos generalmente pigmentados que penetran superficialmente en la madera y pueden contener materias activas con propiedades insecticidas y fungicidas para la protección de la madera frente a organismos xilófagos. Este tipo de acabado no forma capa sobre la madera, lo que facilita los trabajos posteriores de mantenimiento.

Los protectores decorativos (lasures) son más eficaces a la degradación solar cuanto más oscuros son los pigmentos.

3.2.2.2 Aplicación del tratamiento

- 1 Se seguirán en cada caso las indicaciones de uso del fabricante del producto.

Se debe aplicar antes del producto de acabado un tratamiento protector con propiedades insecticidas y fungicidas salvo en los casos en los que el producto protector se formula con dichas materias activas y el tratamiento recomendado sea superficial (Clase de riesgo 1).

3.3 Protección contra la corrosión de los elementos metálicos

- 1 En la tabla 3.3 se incluyen los valores mínimos del espesor del revestimiento de protección frente a la corrosión o el tipo de acero necesario según las diferentes Clases de Servicio. (véase Clases de Servicio en el apartado 2.1.2.2).

Tabla 3.3 Protección mínima frente a la corrosión (relativa a la norma ISO 2081), o tipo de acero necesario.

Elemento de Fijación	Clase de servicio		
	1	2	3
Clavos y tirafondos con $d \leq 4$ mm	Ninguna	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Fe/Zn 25c ⁽¹⁾
Pernos, pasadores y clavos con $d > 4$ mm	Ninguna	Ninguna	Fe/Zn 25c ⁽¹⁾
Grapas	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Acero inoxidable
Placas dentadas y chapas de acero con espesor de hasta 3 mm	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Acero inoxidable
Chapas de acero con espesor por encima de 3 hasta 5 mm	Ninguna	Fe/Zn 12c ⁽¹⁾	Fe/Zn 25c ⁽¹⁾ Fe/Zn 25c ⁽¹⁾
Chapas de acero con espesor superior a 5 mm	Ninguna	Ninguna	

⁽¹⁾ Si se emplea galvanizado en caliente la protección Fe/Zn 12c debe sustituirse por Z 275, y la protección Fe/Zn 25c debe sustituirse por Z 350, de acuerdo con la norma UNE EN 10147.

⁽²⁾ En condiciones expuestas especialmente a la corrosión debe considerarse la utilización de Fe/Zn 40c, un galvanizado en caliente más grueso o acero inoxidable

4 Materiales

4.1 Madera maciza

- 1 Dentro de la madera maciza se incluye la madera aserrada y la madera de rollizo.

4.1.1 Generalidades

- 1 La madera aserrada, para su uso en estructuras, estará clasificada quedando asignada a una Clase Resistente.
- 2 El procedimiento de asignación de Clase Resistente, para la madera aserrada, se describe en el anejo C.
- 3 Las Clases Resistentes, según norma UNE EN 338, se corresponden con las series siguientes:
 - a) para coníferas y chopo: C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 y C50;
 - b) para frondosas: D30, D35, D40, D50, D60 y D70.

En las cuales los números indican el valor de la propiedad de la resistencia característica a flexión, $f_{m,k}$, expresada en N/mm^2 .

- 4 La nomenclatura de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad, de la madera aserrada, se explica en el apartado 4.1.2

4.1.2 Nomenclatura de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad de la madera maciza

- 1 Las propiedades consideradas, para la madera aserrada, son:
 - a) propiedades de resistencia en N/mm^2 ;
 - $f_{m,k}$ resistencia característica a flexión;
 - $f_{t,0,k}$ resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la madera;
 - $f_{t,90,k}$ resistencia característica a tracción perpendicular a la fibra de la madera;
 - $f_{c,0,k}$ resistencia característica a compresión paralela a la fibra de la madera;
 - $f_{c,90,k}$ resistencia característica a compresión perpendicular a la fibra de la madera;
 - $f_{v,k}$ resistencia característica a cortante.
 - b) propiedades de rigidez en kN/mm^2 ;
 - $E_{0,medio}$ módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra de la madera;
 - $E_{0,k}$ módulo de elasticidad característico, 5º percentil, paralelo a la fibra de la madera. También se conoce como $E_{0,0,5}$;
 - $E_{90,medio}$ módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra de la madera;
 - G_{medio} módulo de elasticidad transversal medio .
 - c) densidades en kg/m^3 ;
 - ρ_k densidad característica, 5º percentil;
 - ρ_{medio} densidad media.
- 2 Los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad, para la madera aserrada, se determinan a partir de ensayos realizados en laboratorio especializado y de acuerdo con las normas UNE EN 384, UNE EN 408 y UNE EN 1193
- 3 En el anejo E figuran los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociados a cada Clase Resistente de madera aserrada.

4.2 Madera laminada encolada

4.2.1 Generalidades

- 1 La madera laminada encolada, para su uso en estructuras, estará clasificada quedando asignada a una Clase Resistente.
- 2 El procedimiento de asignación de Clase Resistente, para la madera laminada encolada, se describe en el anejo D.
- 3 Las Clases Resistentes, según norma UNE EN 1194, se corresponden con las series siguientes:
 - a) para madera laminada encolada homogénea: GL24h, GL28h, GL32h y GL36h;
 - b) para madera laminada encolada combinada: GL24c, GL28c, GL32c y GL36c.

En las cuales los números indican el valor de la propiedad de la resistencia característica a flexión, $f_{m,g,k}$, expresada en N/mm^2 .
- 4 La nomenclatura de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad, de la madera laminada encolada, se explica en el apartado 4.2.2
- 5 Las uniones dentadas para piezas enteras fabricadas de acuerdo con la norma UNE ENV 387 no deben utilizarse en clase de servicio 3, cuando en la unión cambia la dirección de la fibra.

4.2.2 Nomenclatura de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad de la madera laminada encolada

- 1 Las propiedades consideradas, para la madera laminada encolada, son:
 - a) propiedades de resistencia en N/mm^2 :

$f_{m,g,k}$	resistencia característica a flexión;
$f_{t,0,g,k}$	resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la madera;
$f_{t,90,g,k}$	resistencia característica a tracción perpendicular a la fibra de la madera;
$f_{c,0,g,k}$	resistencia característica a compresión paralela a la fibra de la madera;
$f_{c,90,g,k}$	resistencia característica a compresión perpendicular a la fibra de la madera;
$f_{v,g,k}$	resistencia característica a cortante.
 - b) propiedades de rigidez en kN/mm^2 :

$E_{0,g,medio}$	módulo de elasticidad característico medio paralelo a la fibra de la madera;
$E_{0,g,k}$	módulo de elasticidad característico, 5º percentil, paralelo a la fibra de la madera. También se conoce como $E_{0,g,0,5}$;
$E_{90,g,medio}$	módulo de elasticidad característico medio perpendicular a la fibra de la madera;
$G_{g,medio}$	módulo de elasticidad característico transversal medio.
 - c) Densidades en kg/m^3 :

$\rho_{g,k}$	densidad característica, 5º percentil;
$\rho_{g,medio}$	densidad media.
- 2 Los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad, para la madera laminada encolada, se determinan a partir de ensayos realizados en laboratorio especializado y de acuerdo con las normas: UNE EN 408, UNE EN 1193 y UNE EN 1194
- 3 En el anejo E figuran los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociados a cada Clase Resistente de madera laminada encolada.

4.3 Madera microlaminada

- 1 El fabricante de madera microlaminada para uso estructural deberá aportar los valores de las propiedades mecánicas y del efecto del tamaño de acuerdo con los planteamientos generales de este DB.

4.4 Tablero estructural

4.4.1 Generalidades

- 1 Los tableros estructurales contemplados en este DB se tratan en los apartados 4.4.1.1 a 4.4.1.4.
- 2 La nomenclatura de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad, de los tableros estructurales, se explica en el apartado 4.4.2.
- 3 El uso de los diferentes tipos de tableros debe limitarse a las clases de servicio indicadas en la tabla 4.1. Las clases de servicio se definen en el apartado 4.2.2.2.

Tabla 4.1 Clases de servicio en las que está permitido el uso de los tableros en función de las especificaciones de la normativa del producto.

Material	Norma	Clase de servicio		
		1	2	3
Tablero contrachapado	UNE EN 636			
	Parte 1	Permitido	No permitido	No permitido
	Parte 2	Permitido	Permitido	No permitido
	Parte 3	Permitido	Permitido	Permitido
Tablero de virutas orientadas (OSB)	UNE EN 300	Permitido	No permitido	No permitido
	OSB/2 OSB/3, OSB/4	Permitido	Permitido	No permitido
Tablero de partículas	UNE EN 312			
	Parte 4	Permitido	No permitido	No permitido
	Parte 5	Permitido	Permitido	No permitido
	Parte 6	Permitido	No permitido	No permitido
	Parte 7	Permitido	Permitido	No permitido
Tablero de fibras duro	UNE EN 622-2			
	HB.LA HB.HLS	Permitido Permitido	No permitido Permitido	No permitido No permitido
Tablero de fibras semiduro	UNE EN 622-3			
	MBH.LA MBH.HLS	Permitido Permitido	No permitido Permitido	No permitido No permitido
Tablero de fibras de densidad media DM	UNE EN 622-5			
	MDF.LA MDF.HLS	Permitido Permitido	No permitido Permitido	No permitido No permitido
Tablero de fibras blando	UNE EN 622-4	Permitido	Permitido	No permitido

4.4.1.1 Tablero de partículas

- 1 En la norma UNE EN 309 se establecen la definición y la clasificación de los tableros de partículas
- 2 Las tolerancias dimensionales se ajustarán a la norma UNE EN 312-1
- 3 Las especificaciones de los tableros de partículas estructurales en función del uso se ajustarán a las normas siguientes:
 - a) UNE EN-312-4, tablero estructural para su uso en ambiente seco;
 - b) UNE EN-312-5, tablero estructural para su uso en ambiente húmedo;
 - c) UNE EN-312-6, tablero con alta prestación estructural para su uso en ambiente seco;
 - d) UNE EN-312-7, tablero con alta prestación estructural para su uso en ambiente húmedo.

4.4.1.2 Tablero de virutas orientadas (OSB)

- 1 En la norma UNE EN 300 se establece la definición, la clasificación y las especificaciones, para los tableros de virutas orientadas (OSB)

- 2 Las tolerancias dimensionales se ajustarán a la tabla 1 de la norma UNE EN 300.
- 3 Las especificaciones de los tableros de virutas orientadas (OSB) estructurales en función del uso se ajustarán a los tipos establecidos en el apartado 4 de la norma UNE EN 300:
 - a) OSB/2, tablero estructural para su uso en ambiente seco;
 - b) OSB/3, tablero estructural para su uso en ambiente húmedo;
 - c) OSB/4, tablero de alta prestación estructural para su uso en ambiente húmedo.

4.4.1.3 Tablero de fibras

- 1 En la norma UNE EN 316 se establece la definición y la clasificación de los tableros de fibras
- 2 Las tolerancias dimensionales se ajustarán a la norma UNE EN 622-1
- 3 Las especificaciones de los tableros de fibras estructurales en función del uso se ajustarán a los tipos establecidos en las normas siguientes:
 - a) UNE EN 622-2, tableros de fibras duros:
 - i) HB.LA, tablero estructural para su uso en ambiente seco;
 - ii) HB.HLA1, tablero estructural para su uso en ambiente húmedo;
 - iii) HB.HLA2, tablero de alta prestación estructural para su uso en ambiente húmedo.
 - b) UNE EN 622-3, tableros de fibras semiduros:
 - i) MBH.LA1, tablero estructural para su uso en ambiente seco;
 - ii) MBH.LA2, tablero de alta prestación estructural para su uso en ambiente seco;
 - iii) MBH.HLS1, tablero estructural para su uso en ambiente húmedo;
 - iv) MBH.HLS2, tablero de alta prestación estructural para su uso en ambiente húmedo.
 - c) UNE EN 622-5, tableros de fibras fabricados por proceso seco (MDF):
 - i) MDF.LA, tablero estructural para su uso en ambiente seco;
 - ii) MDF.HLS, tablero estructural para su uso en ambiente húmedo.

4.4.1.4 Tablero contrachapado

- 1 En las normas UNE EN 313-1 y UNE EN 313 2 se establecen la clasificación y la terminología de los distintos tipos de tableros contrachapados, respectivamente.
- 2 Las tolerancias dimensionales se ajustarán a la norma UNE EN 315.
- 3 Las especificaciones de los tableros contrachapados estructurales en función del uso se ajustarán a las normas siguientes:
 - a) UNE EN 636-1, tablero estructural para su uso en ambiente seco;
 - b) UNE EN-636-2, tablero estructural para su uso en ambiente húmedo;
 - c) UNE EN-636-3, tablero estructural para su uso en ambiente exterior.

4.4.2 Nomenclatura de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad de los tableros estructurales

- 1 Las propiedades consideradas, para los tableros estructurales, son:
 - a) propiedades resistentes en N/mm^2 :

$f_{m,p,k}$ resistencia característica a flexión.

En tableros contrachapados se distinguen dos valores de $f_{m,p,k}$:
 $f_{m,0,p,k}$ y $f_{m,90,p,k}$ para la dirección paralela y perpendicular, respectivamente, a la fibra de la chapa externa.

$f_{t,p,k}$ resistencia característica a tracción.

En tableros contrachapados se distinguen dos valores de $f_{t,p,k}$:

$f_{t,0,p,k}$ y $f_{t,90,p,k}$ para la dirección paralela y perpendicular, respectivamente, a la fibra de la chapa externa.

$f_{c,p,k}$ resistencia característica a compresión.

En tableros contrachapados se distinguen dos valores de $f_{c,p,k}$:

$f_{c,0,p,k}$ y $f_{c,90,p,k}$ para la dirección paralela y perpendicular, respectivamente, a la fibra de la chapa externa.

$f_{v,p,k}$ resistencia característica a cortante del tablero.

Se denomina, también, resistencia a “cortante en el grueso del tablero” o “cortante de cizalladura” (véase UNE EN 789).

$f_{v,r,k}$ resistencia característica a cortante de rodadura del tablero.

Se denomina, también, resistencia a “cortante en el plano del tablero”. (véase UNE EN 789)

b) propiedades de rigidez en kN/mm²:

$E_{m,p}$ módulo de elasticidad característico medio en flexión.

En tableros contrachapados se distinguen dos valores de $E_{m,p}$:

$E_{m,0,p}$ y $E_{m,90,p}$ para la dirección paralela y perpendicular, respectivamente, a la fibra de la chapa externa.

$E_{t,p}$ módulo de elasticidad característico medio en tracción.

En tableros contrachapados se distinguen dos valores de $E_{t,p}$:

$E_{t,0,p}$ y $E_{t,90,p}$ para la dirección paralela y perpendicular, respectivamente, a la fibra de la chapa externa.

$E_{c,p}$ módulo de elasticidad característico medio en compresión.

En tableros contrachapados se distinguen dos valores de $E_{c,p}$:

$E_{c,0,p}$ y $E_{c,90,p}$ para la dirección paralela y perpendicular, respectivamente, a la fibra de la chapa externa.

$G_{v,p}$ módulo de elasticidad característico medio a cortante.

Se denomina, también, módulo de “cortante de cizalladura”.

(véase UNE EN 789).

$G_{vr,p}$ módulo de elasticidad característico medio a cortante por rodadura.

Se denomina, también, módulo de “cortante de rodadura”.

(véase UNE EN 789).

c) densidad en kg/m³:

$\rho_{p,k}$ densidad característica del tablero, 5º percentil.

- 2 Los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad, para los tableros estructurales, se determinan a partir de ensayos realizados en laboratorio especializado y de acuerdo con las normas: UNE EN 789, UNE EN 1058 y PNE 56.303 (= prEN 12369)
- 3 En el anejo E figuran los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociados a cada tipo de tablero estructural de los que allí se especifican

4.5 Productos protectores de la madera frente a los agentes bióticos y meteorológicos

- 1 Los productos de protección de la madera, frente a agentes bióticos, deben encontrarse inscritos en el Registro Oficial Central de Productos y Material Fitosanitarios del Ministerio Sanidad y Consumo.

- 2 Los productos de protección, frente a agentes bióticos, se clasifican en los siguientes grupos principales:
- a) **productos hidrosolubles:** son mezclas de sales y/u óxidos minerales utilizadas en solución acuosa con una concentración determinada. Están integrados esencialmente por los tres componentes siguientes:
 - i) principios activos (sales u óxidos minerales);
 - ii) coadyuvantes: sales u óxidos cuyo papel es asegurar la fijación de los principios activos en la madera impidiendo su eliminación por deslavado o por la acción del calor;
 - iii) disolvente (agua).
 - b) **productos hidrodispersables:** Son mezclas de principios activos no hidrosolubles a los que se añade un emulgente para producir una buena dispersión en agua. Comercialmente se conocen como "emulsiones";
 - c) **protectores en disolvente orgánico:** son productos listos para su empleo constituidos por formulaciones en las que intervienen esencialmente los tres componentes siguientes:
 - i) principios activos. Son compuestos orgánicos de síntesis o naturales;
 - ii) coadyuvantes. Son compuestos que aseguran la estabilidad del producto, y la fijación de los principios activos en el interior de la madera;
 - iii) disolvente o diluyente, constituido por regla general por fracciones obtenidas en la destilación del petróleo.
 - d) **productos orgánicos naturales:** son productos que se obtienen de la destilación del alquitrán de hulla (creosotas), o de la pirólisis del petróleo. Son aceites de composición química compleja y se caracterizan por su densidad, viscosidad, curva de destilación y por su contenido en naftalenos, antracenos y productos fenólicos que determinan esencialmente su eficacia.

4.6 Adhesivos (colas)

4.6.1 Generalidades

- 1 Para asegurar la calidad de un encolado se requiere una correcta elección del adhesivo, el conocimiento de la aptitud de la madera de las piezas a unir y un adecuado desarrollo de la puesta en obra. Las recomendaciones del fabricante del adhesivo deben respetarse.
- 2 El encolado de piezas de madera de especies diferentes o de productos derivados de la madera variados (sobre todo si los coeficientes de contracción son diferentes) requiere un conocimiento específico sobre su viabilidad.

4.6.2 Tipos de adhesivos

- 1 En la tabla 4.2 se relacionan los adhesivos utilizados en estructuras de madera y su adecuación a la clase de servicio

Tabla 4.2 Tipos de adhesivos en estructuras de madera y su adecuación con la clase de servicio.

Tipo de adhesivo	Abreviatura	Clase de servicio			Observaciones
		1	2	3	
Fenol-formaldehído ^{(1) (5)}	PF	a ⁽¹⁾	a ⁽¹⁾	a ⁽¹⁾	
Resorcina-fenol-formaldehído ⁽⁵⁾	RPF	a	a	a	
Resorcina-formaldehído ⁽⁵⁾	RF	a	a	a	
Melamina-urea-formaldehído ^{(2) (6)}	MUF	a	a	pa	
Urea-formaldehído ⁽⁶⁾	UF	a	pa ⁽³⁾	na	
Poliuretano ⁽⁶⁾	PU	a	a	a	Aptitud reducida para rellenar las juntas. Debe exigirse al fabricante la garantía de resistencia al fuego.
Resinas epoxi ^{(4) (6)}	EP	a	a	a	Apta para juntas gruesas. Presión de encolado reducida.
Caseína ⁽⁶⁾		a	pa	na	Es necesario un fungicida.

⁽¹⁾ Sólo para encolado en caliente (110° - 140 °C); adecuado para fabricación de tableros derivados de la madera.

⁽²⁾ Preferentemente para encolar por encima de 30 °C.

⁽³⁾ No adecuada para una humedad relativa del aire elevada simultánea con una temperatura por encima de 50 °C.

⁽⁴⁾ No adecuada para temperaturas superiores a los 50 °C.

⁽⁵⁾ Líneas de cola de color marrón oscuro.

⁽⁶⁾ Líneas de cola transparentes.

4.6.3 Exigencias relativas a los adhesivos

- 1 Los adhesivos, utilizados en la fabricación de elementos estructurales de madera, se ajustarán a las normas UNE EN 301 y PNE 12436.
- 2 Los adhesivos deben, durante la vida útil de la estructura, producir uniones con resistencia y durabilidad tales que la integridad del encolado se mantenga en la Clase de Servicio correspondiente definida en el apartado 2.1.2.2.
- 3 Los adhesivos que cumplan las especificaciones para el Tipo I, definidas en UNE EN 301, pueden utilizarse en todas las Clases de Servicio y los que cumplan las especificaciones para el Tipo II únicamente en la Clase de Servicio 1 ó 2 y nunca expuestos de forma prolongada a temperaturas superiores a los 50 °C.

4.7 Uniones

4.7.1 Uniones tradicionales

- 1 Las uniones tradicionales también denominadas carpinteras o uniones por contacto, transmiten las fuerzas mediante tensiones de compresión localizada y de cortante entre las mismas piezas de madera mediante el corte y mecanización adecuados. El material aportado (generalmente herrajes en forma de pletinas y otros elementos de fijación) es muy reducido y su función es la de mantener en posición las uniones. En algunos casos pueden servir para refuerzo de la unión o para resistir una inversión de la sollicitación.

4.7.2 Elementos mecánicos de fijación

- 1 Los elementos mecánicos de fijación contemplados en este DB para la realización de las uniones son:
 - a) de tipo clavija:
 - i) clavos de fuste liso o con resaltes;
 - ii) grapas;
 - iii) tirafondos (tornillos rosca madera);
 - iv) pernos;
 - v) pasadores.
 - b) conectores:
 - i) de anillo;

- ii) de placa;
 - iii) dentados.
- 2 Para su utilización en estructuras de madera debe especificarse, para cada tipo de elemento mecánico de fijación de tipo clavija:
- a) resistencia característica a tracción del acero $f_{u,k}$ en N/mm^2 ;
 - b) forma geométrica (diámetros, resaltos, etc.);
 - c) resistencia característica al aplastamiento, $f_{h,k}$ en N/mm^2 , determinada según la norma UNE EN 383;
 - d) momento plástico característico, $M_{y,k}$ en $\text{N}\cdot\text{mm}$, determinado según la norma UNE EN 409.
- 3 En el Capítulo 8 se incluyen expresiones para la determinación de los valores de $f_{h,k}$ y $M_{y,k}$ asociados a cada tipo de elemento mecánico de fijación de tipo clavija.

5 Análisis estructural

5.1 Principios generales

- 1 Los cálculos de esfuerzos y deformaciones deben realizarse utilizando modelos de cálculo adecuados, completados con ensayos, si es necesario, que tengan en cuenta todas las variables relevantes. Estos modelos deben ser suficientemente precisos para predecir el comportamiento estructural, considerando la calidad de la mano de obra que probablemente intervenga y la fiabilidad de la información en la que se basa el cálculo.
- 2 El comportamiento estructural global podrá evaluarse generalmente mediante el cálculo de los efectos de las acciones considerando un modelo de comportamiento elástico lineal de los materiales y relaciones lineales de desplazamiento/carga. Sin embargo, en piezas o partes de piezas sometidas a compresión, se puede utilizar una relación no lineal (elasto-plástica).
- 3 En las estructuras capaces de una redistribución de las solicitaciones a través de las uniones con adecuada ductilidad, pueden emplearse métodos elasto-plásticos para el cálculo de las solicitaciones en las barras.
- 4 El modelo para el cálculo de las solicitaciones en la estructura o en parte de ella debe tener en cuenta los efectos de las deformaciones en las uniones.
- 5 En general, la influencia de las deformaciones de las uniones se tienen en cuenta a través de su rigidez (a la rotación o al deslizamiento, por ejemplo) o mediante valores de deslizamiento prescritos en función del nivel de carga en la unión.
- 6 Cuando se realice un análisis estructural las propiedades de rigidez se tomarán de acuerdo con las siguientes indicaciones:
 - a) se tomarán los valores medios en el caso de un análisis lineal de primer orden si las piezas tienen las mismas propiedades reológicas (fluencia);
 - b) se tomarán los valores medios finales ajustados a la duración de la carga que provoquen la mayor relación entre la tensión y la resistencia, cuando la distribución de las solicitaciones está afectada por la distribución de la rigidez en la estructura (por ejemplo un análisis de primer orden de piezas compuestas hiperestáticas);
 - c) se tomarán los valores de cálculo sin el efecto de la duración de la carga en análisis lineal y elástico de segundo orden.

El valor medio final $E_{\text{mean,fin}}$ de una propiedad de rigidez se obtendrá según la ecuación siguiente:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \Psi_2 \cdot k_{\text{def}})} \quad (5.1)$$

siendo:

E_{mean} valor medio de la propiedad de rigidez de la madera o de una unión, determinada mediante ensayos normalizados;

k_{def} factor de fluencia que tiene en cuenta la carga y el contenido de humedad en la madera (véase apartado 7.2);

Ψ_2 coeficiente definido en el apartado 7.2.

El valor de cálculo de una propiedad de rigidez E_d se obtiene de acuerdo con la siguiente expresión:

$$E_d = \frac{E_{0,05}}{\gamma_M} \quad (5.2)$$

siendo:

$E_{0,05}$ valor correspondiente al 5º percentil de la propiedad de rigidez, determinado mediante ensayos normalizados.

5.2 Características de las barras

- 1 Para el análisis de la estructura deben considerarse, cuando su influencia sea relevante, las posibles combaduras de las barras y la falta de homogeneidad del material. Los métodos de cálculo dados en este DB incluyen ambos defectos.

- 2 Datos geométricos:

- a) el valor de cálculo de un dato geométrico, a_d , se expresa por su valor nominal a_{nom} :

$$a_d = a_{nom} \quad (5.3)$$

- b) cuando las posibles desviaciones desfavorables de los valores nominales de los datos geométricos tengan un efecto significativo sobre la fiabilidad de la estructura, se tomará como valor de cálculo:

$$a_d = a_{nom} + \Delta_a \quad (5.4)$$

siendo:

Δ_a la tolerancia admitida.

- 3 Secciones eficaces:

- a) se consideran secciones eficaces las deducidas de las dimensiones nominales menos las reducciones previstas;
- b) a estos efectos, no se consideran reducciones del área de la sección transversal las originadas por:
 - i) clavos con diámetro igual o inferior a 6 mm, introducidos sin pretaladro;
 - ii) agujeros simétricamente dispuestos para pernos, pasadores, tirafondos y clavos en piezas comprimidas axilmente;
 - iii) agujeros en la zona comprimida de las piezas a flexión, siempre que los agujeros estén rellenos con un material más rígido que la madera.
- c) para la determinación de la sección eficaz de piezas con varias filas de elementos de fijación, a los agujeros contenidos en la sección se sumarán aquellos que estén a una distancia, respecto de dicha sección, igual o menor que la mitad de la separación mínima (especificada para las uniones) entre elementos de fijación, medida en la dirección paralela a la fibra.

5.3 Conexiones

- 1 La capacidad de carga de las conexiones debe realizarse teniendo en cuenta las fuerzas y momentos existentes entre las barras, procedentes del análisis global de la estructura realizado según el apartado 51.
- 2 La deformación de la conexión debe ser compatible con la hipótesis de cálculo realizada en el análisis global de la estructura.
- 3 El análisis de la conexión debe tener en cuenta el comportamiento de todos los elementos que la constituyen.

5.4 Sistemas de barras

- 1 Los sistemas de barras deben ser analizados utilizando modelos que se ajusten del modo más preciso posible al comportamiento real de la estructura y apoyos.

5.4.1 Principios generales

- 1 El análisis debe ser realizado eligiendo modelos acordes con las recomendaciones dadas en los apartados 5.4.2 y 5.4.3.
- 2 En el caso de celosías con uniones de placas dentadas puede realizarse un análisis simplificado, según el apartado 5.4.4.
- 3 El análisis de segundo orden de pórticos planos o arcos debe realizarse según el apartado 5.4.3, en aquellos casos que sea preciso.

5.4.2 Celosías y entramados

- 1 El análisis de la estructura debe contemplar las deformaciones de las piezas y uniones, la influencia de las excentricidades de los apoyos y la rigidez de la estructura soportante (véase figura 5.1 para aclarar las definiciones de los elementos que intervienen en una estructura).
- 2 En el análisis de celosías y entramados todas las líneas que representan las barras del sistema deben permanecer dentro de los bordes de las piezas. Si estas líneas pertenecen a las piezas principales, por ejemplo el par y tirante de la cercha representada en la figura 5.1, deben coincidir con el eje real de la pieza.
- 3 En aquellas barras en las que sus líneas representativas no coinciden con sus ejes reales debe considerarse en el análisis resistente de la pieza la excentricidad existente (véase la celosía del alma de cercha de la figura 5.1).

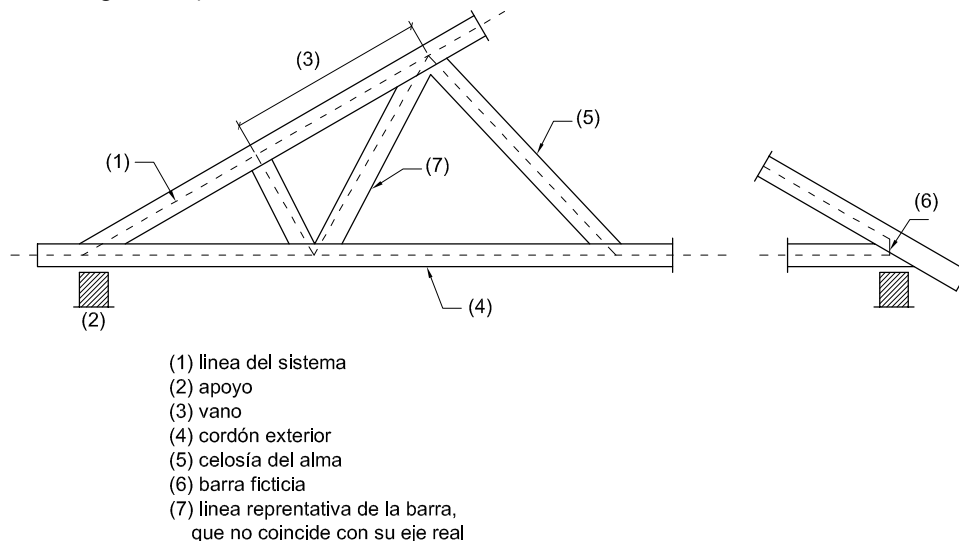


Figura 5.1 Ejemplo de denominación de algunos elementos en el análisis de una celosía.

- 4 Como modelos representativos de conexiones excéntricas y apoyos pueden utilizarse barras ficticias y muelles. La orientación y localización de la barra ficticia debe coincidir, en lo posible, con la dirección de la fuerza en la barra, figura 5.1.
- 5 Si se realiza un análisis elástico de primer orden debe considerarse la inestabilidad de las piezas al verificar su estado límite último.
- 6 El análisis de la estructura debe realizarse eligiendo para cada barra el valor adecuado correspondiente a su rigidez. A los elementos ficticios de vigas y muelles representativos de conexiones o apoyos se les asignará la rigidez que corresponda a la conexión real.
- 7 Podrá considerarse que las conexiones son rígidas siempre que su deformación no tenga efectos significativos sobre las leyes de distribución de esfuerzos. De no ser así las conexiones deben considerarse ajustadas al comportamiento real.

- 8 Puede despreciarse el deslizamiento axial de las uniones siempre que no tenga efectos significativos sobre las leyes de distribución de esfuerzos de barras.
- 9 Los empalmes realizados en las barras de piezas de celosía pueden ser considerados como rígidos si su rotación real, debida a las cargas, no tiene efectos significativos sobre las leyes de distribución de esfuerzos. Este requerimiento se cumple si se verifica una de las dos condiciones siguientes:
 - a) el empalme tiene una capacidad de carga que corresponde, al menos, a 1,5 veces la combinación de fuerzas y momentos aplicados;
 - b) el empalme tiene una capacidad de carga que corresponde, al menos, a la combinación de fuerzas y momentos aplicados siempre que las barras de madera no estén sometidas a tensiones de flexión superiores a 0,3 veces su resistencia de cálculo a flexión. Y además, considerando el empalme como una articulación el conjunto debe ser estable.

5.4.3 Pórticos y arcos planos

- 1 En este apartado se establecen las condiciones específicas adicionales para pórticos planos y arcos, algunos de los cuales: pórtico a dos aguas y arco biempotrado, se representan en la figura 5.2

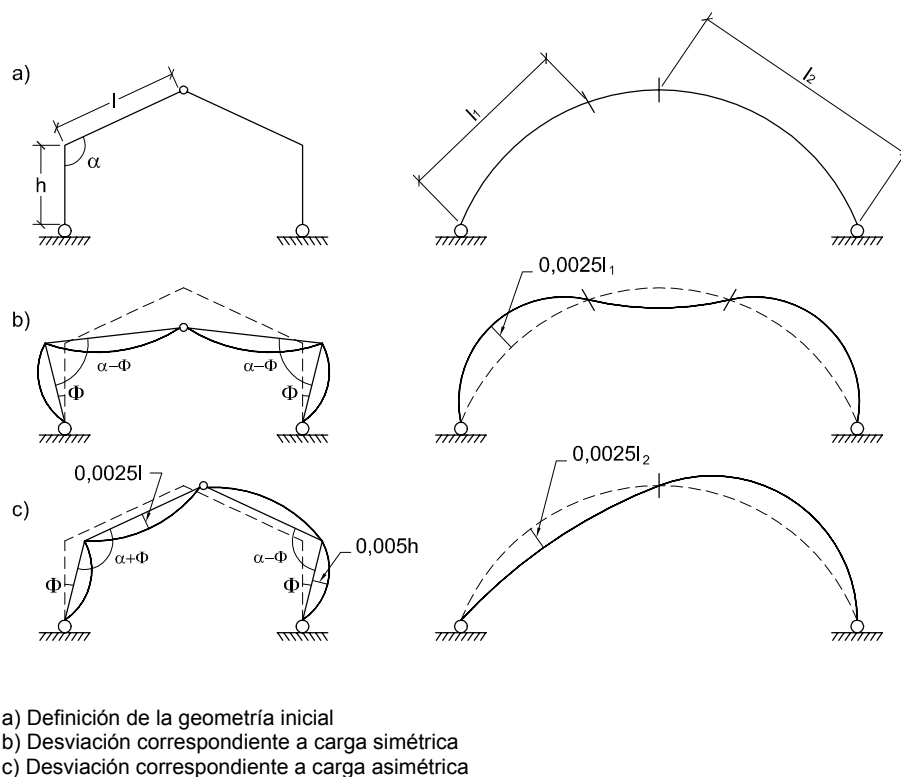


Figura 5.2 Ejemplo de desviaciones iniciales de la geometría de un pórtico a dos aguas y de un arco

- 2 Cuando no sean despreciables los esfuerzos generados como consecuencia del desplazamiento de la estructura debe procederse a un análisis de segundo orden como sucede con algunos pórticos traslacionales en los que los esfuerzos axiales de compresión no están muy alejados de las cargas críticas de pandeo. Los esfuerzos deben determinarse considerando, además, las posibles imperfecciones geométricas y estructurales, es decir las desviaciones entre los ejes geométricos y el centro elástico de la sección transversal debidas, por ejemplo, a la falta de homogeneidad del material, y las combaduras previas de las piezas. Éstas se estiman de la manera siguiente:

- a) pórticos planos.

La forma imperfecta de la estructura puede considerarse como equivalente a una desviación inicial que es una aproximación a la deformación real, obtenida mediante la aplicación de ángulos de giro ϕ en los soportes de la estructura junto con una combadura inicial de forma sinusoidal entre nudos de la estructura definida por la excentricidad máxima e .

el valor mínimo de ϕ , en radianes, debe ser:

$$\phi = 0,005 \quad \text{para } h \leq 5 \text{ m} \quad (5.5)$$

$$\phi = 0,005 \sqrt{\frac{5}{h}} \quad \text{para } h > 5\text{m} \quad (5.6)$$

siendo:

h longitud del soporte, [m];

l longitud de la viga, [m].

el valor mínimo de e debe ser:

$$e = 0,0025 \cdot l \quad (5.7)$$

siendo:

l longitud de la viga, [m].

b) arcos.

Para tener en cuenta las desviaciones en el análisis lineal de segundo orden se tomarán las deformaciones iniciales siguientes, figura 5.2:

el valor mínimo de e debe ser:

$$e = 0,0025 \cdot l_1 \quad \text{para carga simétrica} \quad (5.8)$$

$$e = 0,0025 \cdot l_2 \quad \text{para carga no simétrica} \quad (5.9)$$

siendo:

l_1 y l_2 longitud de la cuerda, desde el punto de apoyo al punto de intersección de la directriz del arco con su deformada en análisis de primer orden, para carga simétrica y no simétrica, respectivamente.

5.4.4 Análisis simplificado de celosías trianguladas con placas dentadas

- 1 Para realizar un análisis simplificado de celosías trianguladas se deben cumplir los requisitos siguientes:
 - a) no existen ángulos “entrantes” en el contorno;
 - b) el ancho del apoyo está situado dentro de la longitud a_1 , y la distancia a_2 , figura 5.3, no es superior al mayor valor de $a_1 / 3$ o 100 mm;
 - c) la altura de la celosía es superior a 0,15 veces el vano total y 10 veces el canto del cordón mayor, véase figura 5.1;

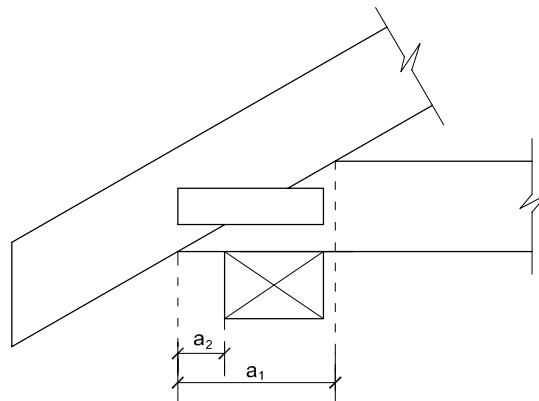


Figura 5.3 Geometría del apoyo

- d) las fuerzas axiales en las barras deben determinarse en la hipótesis de que todos los nudos están articulados;
- e) los momentos de flexión de las barras de un solo vano deben determinarse en la hipótesis de que sus extremos están articulados. Los momentos de flexión de aquellas barras de dos o más vanos, que mantienen su continuidad (por ejemplo cordones) se determinan considerando que la pieza (cordón) es una viga con un apoyo en cada nudo (viga continua). La influencia de los desplazamientos de los nudos y de la rigidez parcial de las conexiones puede considerarse reduciendo un 10 % los momentos en los apoyos interiores. Los momentos en los vanos se determinarán en función de los momentos resultantes en los nudos.

6 Estados límite últimos

6.1 Agotamiento de secciones sometidas a tensiones aisladas según las direcciones principales

6.1.1 Principios generales

- 1 Este apartado se aplica a la comprobación de piezas de sección constante de madera maciza, laminada y productos estructurales derivados de la madera con la dirección de las fibras sensiblemente paralela a su eje axial. Se supone que las tensiones se orientan solamente según los ejes principales, figura 6.1.

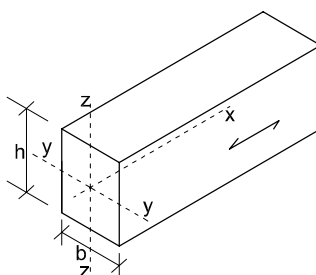


Figura 6.1 Ejes y dirección de la fibra en la pieza

6.1.2 Tracción paralela a la fibra

- 1 Debe cumplirse la siguiente condición :

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (6.1)$$

siendo:

$\sigma_{t,0,d}$ tensión de cálculo a tracción paralela a la fibra;

$f_{t,0,d}$ resistencia de cálculo a tracción paralela a la fibra.

6.1.3 Tracción perpendicular a la fibra

- 1 En el caso de piezas de volumen V, uniformemente traccionado debe cumplirse la siguiente condición:

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d} \quad \text{madera maciza} \quad (6.2)$$

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{vol} \cdot f_{t,90,d} \quad \text{madera laminada encolada y madera microlaminada} \quad (6.3)$$

siendo:

$\sigma_{t,90,d}$ tensión de cálculo a tracción perpendicular a la fibra;

$f_{t,90,d}$ resistencia de cálculo a tracción perpendicular a la fibra;

k_{vol} factor de volumen definido en el apartado 2.1.1.2, ecuación 2.3.

6.1.4 Compresión paralela a la fibra

- 1 Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (6.4)$$

siendo:

$\sigma_{c,0,d}$ tensión de cálculo a compresión paralela a la fibra;

$f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra.

- 2 Debe realizarse, también, una comprobación de las condiciones de inestabilidad por pandeo (véase 6.3.2.2).

6.1.5 Compresión perpendicular a la fibra

- 1 Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \quad (6.5)$$

siendo:

$\sigma_{c,90,d}$ tensión de cálculo a compresión perpendicular a la fibra;

$f_{c,90,d}$ resistencia de cálculo a compresión perpendicular a la fibra;

$k_{c,90}$ factor que tiene en cuenta la distribución de la carga, la posibilidad de hienda y la deformación máxima por compresión perpendicular.

Para $k_{c,90}$, debe tomarse un valor igual a 1, a menos que sean de aplicación los casos que se indican a continuación. En cualquier caso el valor de $k_{c,90}$ no debe ser superior a 4.

Nota: Cuando se utiliza un valor de $k_{c,90}$ superior a la unidad, existiendo contacto sobre la totalidad del ancho b de la pieza, la deformación resultante en compresión perpendicular alcanzará aproximadamente el 10% del canto h de la pieza en el estado límite último.

- 2 Para una viga que descansa sobre varios apoyos, figura 6.2, el valor de $k_{c,90}$ se obtiene de las expresiones siguientes:

a) en apoyos más próximos que $h/3$ del extremo de la viga, figura 6.2:

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250} \right) \left(1 + \frac{h}{12 \cdot l} \right) \quad (6.6)$$

b) en apoyos intermedios:

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250} \right) \left(1 + \frac{h}{6 \cdot l} \right) \quad (6.7)$$

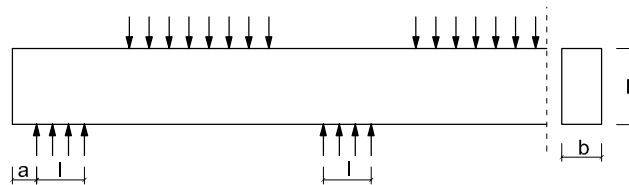


Figura 6.2 Viga sobre apoyos.

siendo:

l longitud de contacto, [mm];

h canto de la pieza, [mm].

- 3 Para una pieza en la que el canto $h \leq 2,5 \cdot b$ y en la que la fuerza de compresión perpendicular se aplica directamente en la totalidad del ancho b de una cara mientras que la otra cara esta soportada sobre una superficie continua o sobre soportes aislados, como se indica en la figura 6.3, el valor de $k_{c,90}$ puede determinarse aplicando la fórmula siguiente:

$$k_{c,90} = \left(2,38 - \frac{l}{250} \right) \cdot \sqrt{\frac{l_{ef}}{l}} \quad (6.8)$$

siendo:

l_{ef} longitud eficaz, en mm, figura 6.3 Se obtiene mediante el trazado de líneas de difusión de pendiente 1:3, en todo el canto h de la pieza, cortadas a una distancia $a/2$ de cualquier extremo o a una distancia de $l_1/4$ de cualquier línea de difusión adyacente, véase la figura 6.3;

l longitud de contacto, [mm].

En aquellas piezas en las que las líneas de difusión no se encuentran interrumpidas por las limitaciones anteriores, el valor de l_{ef} se determina aplicando la expresión que corresponda de las dos siguientes:

a) para lecho continuo:

i) cargas aplicadas en el extremo de la pieza: $l_{ef} = l + \frac{h}{3}$ (6.9)

ii) cargas alejadas del extremo de la pieza: $l_{ef} = l + \frac{2 \cdot h}{3}$ (6.10)

b) para apoyos parciales:

$$l_{ef} = \frac{1}{2} \cdot \left(l + \frac{2}{3} \cdot h + l_s \right) \quad (6.11)$$

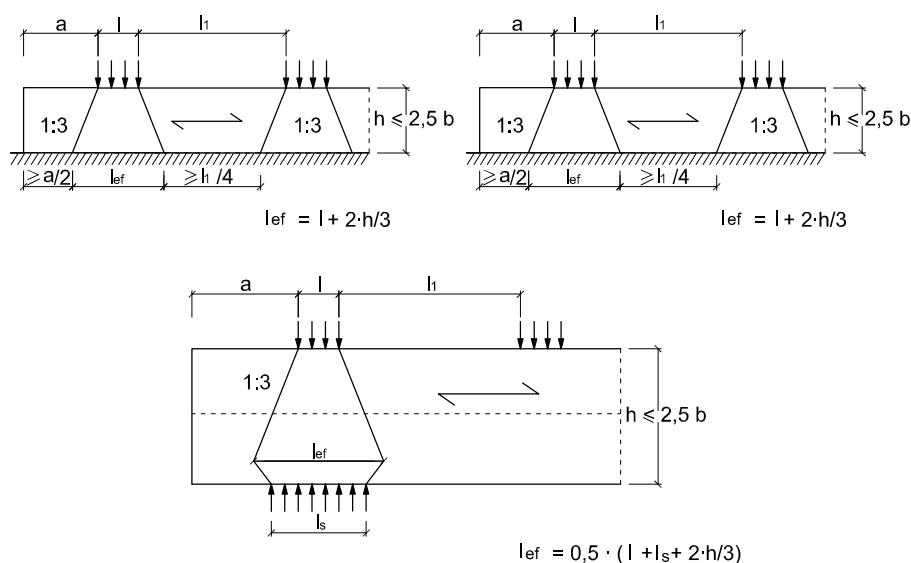


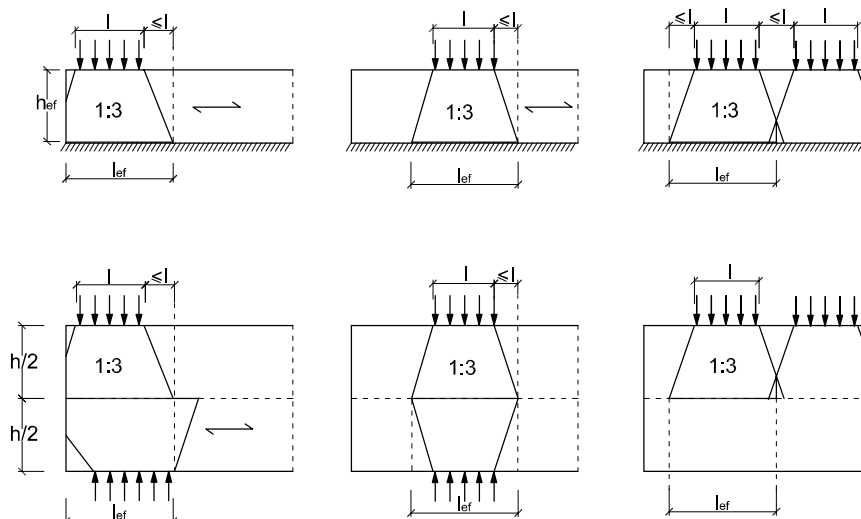
Figura 6.3 Compresión perpendicular a la fibra aplicada parcialmente. En la figura superior la pieza descansa sobre un lecho continuo. En la inferior sobre apoyos parciales.

- 4 Si el canto h de la pieza es superior a $2.5 \cdot b$, y la tensión de compresión está aplicada en la totalidad del ancho b , de la pieza sobre una longitud l , menor que el mayor valor de los siguientes, 100 mm o h , y además la pieza está soportada sobre una superficie continua o sobre soportes enfrentados a la carga como se indica en la figura 6.4, el factor $k_{c,90}$ se deduce mediante la expresión siguiente:

$$k_{c,90} = \frac{l_{ef}}{l} \quad (6.12)$$

siendo

- l longitud de contacto, en mm, de acuerdo con la figura 6.4;
- l_{ef} longitud eficaz en mm obtenida de acuerdo con la figura 6.4. Para calcular l_{ef} , el flujo de la distribución de tensiones se determinará con la pendiente de 1:3, y con las limitaciones de la intersección de la superficie del extremo libre con el flujo próximo; en cualquier caso no podrá extenderse a cada lado una longitud superior a l .
- 5 En aquellas piezas cuya sección varía linealmente sobre el apoyo (por ejemplo el tirante de una cercha con apoyo en barbilla), la altura h corresponde al canto de la pieza en el eje de apoyo y la longitud l_{ef} coincide con la longitud de contacto.



En la figura superior la pieza descansa sobre un lecho continuo. En la inferior sobre apoyos parciales.

Figura 6.4 Longitud eficaz para el cálculo de las tensiones perpendiculares a la fibra bajo cargas concentradas.

6.1.6 Flexión simple

- 1 Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (6.13)$$

siendo:

$\sigma_{m,d}$ tensión de cálculo a flexión;

$f_{m,d}$ resistencia de cálculo a flexión.

- 2 Debe realizarse, también, una comprobación de las condiciones de inestabilidad por vuelco lateral (véase apartado 6.3.3.3)

6.1.7 Flexión esviada

- 1 Deben cumplirse las siguientes condiciones:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.14)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.15)$$

siendo:

$\sigma_{m,y,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje principal y, figura 6.1;

$f_{m,y,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje principal y, figura 6.1;

$\sigma_{m,z,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje principal z, figura 6.1;

$f_{m,z,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje principal z, figura 6.1;

k_m factor que tiene en cuenta un efecto de redistribución de tensiones y la falta de homogeneidad del material en la sección transversal y adopta los valores siguientes:

$k_m = 0,7$ para secciones rectangulares de madera maciza, madera laminada encolada y madera microlaminada;

$k_m = 1,0$ para otras secciones y otros productos derivados de la madera (6.16)

2 Debe realizarse, también, la comprobación inestabilidad por vuelco lateral (véase apartado 6.3.3.3).

6.1.8 Cortante

1 Para solicitaciones de cortante con una de las componentes paralela a la dirección de la fibra (corte paralelo), figura 6.5 izquierda, y para solicitaciones de cortante con ambas componentes perpendiculares a la dirección de la fibra (rodadura), figura 6.5 derecha, debe cumplirse la condición siguiente:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (6.17)$$

siendo:

τ_d tensión de cálculo a cortante;

$f_{v,d}$ resistencia de cálculo a cortante (corte paralelo o rodadura).

Nota: La resistencia a cortante por rodadura es aproximadamente igual al doble de la resistencia a tracción perpendicular a la fibra.

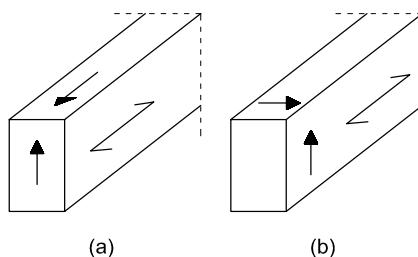


Figura 6.5 Tensiones de cortadura. a) corte paralelo. b) rodadura

2 Para la determinación del esfuerzo cortante pueden despreciarse las cargas F aplicadas en la parte superior de la viga que se encuentren dentro de una distancia h o h_{ef} al borde del apoyo, figura 6.6.

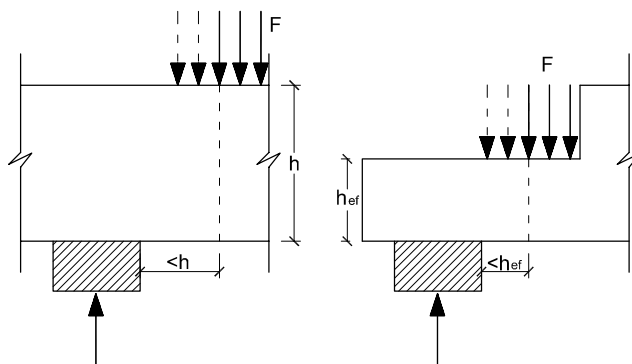


Figura 6.6 Situaciones de apoyo en las que parte de las cargas (las representadas a trazos) pueden despreciarse en el cálculo del esfuerzo cortante.

6.1.9 Torsión

1 Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{forma} \cdot f_{v,d} \quad (6.18)$$

siendo:

$\tau_{tor,d}$ tensión tangencial de cálculo debida a la torsión;

$f_{v,d}$ resistencia de cálculo a cortante, definida en el apartado 6.1.8;

k_{forma} factor que depende de la forma de la sección transversal:

$$k_{forma} = \left\{ \begin{array}{ll} 1,2 & \text{Sección circular} \\ \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,15 \frac{h}{b} \\ 2,0 \end{array} \right\} & \text{Sección rectangular (h > b)} \end{array} \right\} \quad (6.19)$$

6.2 Agotamiento de secciones sometidas a tensiones combinadas

- 1 Las fórmulas que figuran a continuación se aplican a piezas prismáticas de sección constante de madera maciza, madera laminada encolada u otros productos estructurales derivados de la madera con la fibra sensiblemente paralela a la directriz de la pieza. La pieza se encuentra en un estado de tensiones combinadas paralelas a dos o tres direcciones de los ejes principales, consecuencia de la actuación simultánea de dos o más fuerzas de sección.

6.2.1 Compresión inclinada respecto a la fibra (ángulo α)

- 1 Debe tenerse en cuenta la interacción de las tensiones de compresión en dos o más direcciones.
- 2 La tensión de compresión oblicua debe cumplir la condición siguiente:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (6.20)$$

siendo:

$\sigma_{c,\alpha,d}$ tensión de cálculo a compresión con dirección α respecto a la fibra;

$f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra;

$f_{c,90,d}$ resistencia de cálculo a compresión perpendicular a la fibra;

α ángulo representado en la figura 6.7.

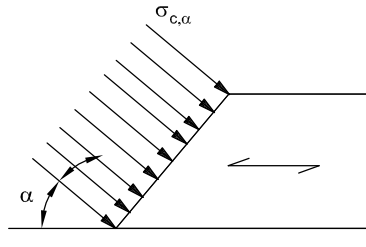


Figura 6.7. Compresión inclinada respecto a la fibra (ángulo α)

6.2.2 Flexión y tracción axial combinadas

- 1 Deben cumplirse las condiciones siguientes:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.21)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.22)$$

siendo:

$\sigma_{t,0,d}$ tensión de cálculo a tracción paralela;

- $f_{t,0,d}$ resistencia de cálculo a tracción paralela;
 $\sigma_{m,y,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje y;
 $f_{m,y,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje y;
 $\sigma_{m,z,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje z;
 $f_{m,z,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje z;
 k_m factor definido en la ecuación 6.16 del apartado 6.1.7.

3 Además debe comprobarse el posible vuelco lateral según el apartado 6.3.3.

6.2.3 Flexión y compresión axial combinadas

1 Deben cumplirse las siguientes condiciones:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.23)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.24)$$

siendo:

- $\sigma_{c,0,d}$ tensión de cálculo a compresión paralela;
 $f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela;
 $\sigma_{m,y,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje y, figura 6.1;
 $f_{m,y,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje y;
 $\sigma_{m,z,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje z, figura 6.1;
 $f_{m,z,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje z;
 k_m factor definido en la ecuación 6.16 del apartado 6.1.7.

2 Debe realizarse la comprobación de inestabilidad por pandeo y, también, a vuelco lateral (véanse los apartados 6.3.2.2. y 6.3.3.3).

6.2.4 Tracción perpendicular y cortante combinados

1 Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (6.25)$$

siendo:

- τ_d tensión de cálculo a cortante;
 $f_{v,d}$ resistencia de cálculo a cortante;
 $\sigma_{t,90,d}$ tensión de cálculo a tracción perpendicular a la fibra;
 $f_{t,90,d}$ resistencia de cálculo a tracción perpendicular a la fibra;
 k_{vol} factor de volumen definido en el apartado 2.1.1.2, ecuación 2.3;

6.3 Estabilidad de piezas

6.3.1 Principios Generales

- 1 Además de las tensiones provocadas por la flexión debida a las cargas transversales deben tenerse en cuenta las tensiones de flexión provocadas por las imperfecciones geométricas de la pieza (combaduras), excentricidades inevitables de las cargas y uniones y desplazamientos inducidos.
- 2 Para el análisis de la estabilidad deben considerarse los valores característicos de las propiedades, por ejemplo $E_{0,05}$.
- 3 El pandeo como columna (pandeo por flexión) debe verificarse según el apartado 6.3.2.
- 4 El vuelco lateral de vigas, debe verificarse según el apartado 6.3.3.

6.3.2 Pandeo de columnas solicitadas a flexión y compresión axial combinadas. (Pandeo por flexión)

6.3.2.1 Definiciones:

- 1 Esbeltez mecánica.

Las esbelteces mecánicas de una pieza comprimida son las siguientes, figura 6.8:

- a) para el pandeo en el plano xz, flectando respecto al eje y:

$$\lambda_y = \frac{l_{k,y}}{i_y} \quad (6.26)$$

- b) para el pandeo en el plano xy, flectando respecto al eje z:

$$\lambda_z = \frac{l_{k,z}}{i_z} \quad (6.27)$$

siendo:

$l_{k,y}$ y $l_{k,z}$ longitudes de pandeo en los planos xz y xy, respectivamente.

$$l_{k,y} = \beta_y \cdot l \quad (6.28)$$

$$l_{k,z} = \beta_z \cdot l \quad (6.29)$$

l longitud del soporte o pieza;

β_y y β_z coeficientes que dependen de las condiciones de restricción de los extremos de la pieza para el movimiento en el plano xz y xy, respectivamente. Los valores de β para los casos más habituales pueden consultarse en el anejo G;

i_y e i_z radios de giro de la sección respecto a los ejes principales y y z, respectivamente.

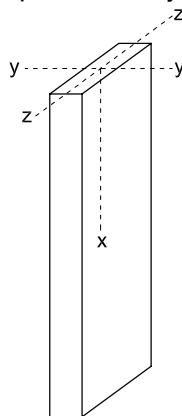


Figura 6.8 Ejes principales de la pieza comprimida, solicitada a compresión.

2 Esbeltez relativa.

Se definen como esbelteces relativas de una pieza comprimida las siguientes:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} \quad (6.30)$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} \quad (6.31)$$

siendo:

$$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_y^2 \quad (6.32)$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,05} / \lambda_z^2 \quad (6.33)$$

$E_{0,05}$ valor característico del módulo de elasticidad paralelo a la fibra, correspondiente al 5º percentil;

λ_y y λ_z esbelteces mecánicas definidas anteriormente en el punto a) de este apartado, ecuaciones 6.26 y 6.27.

6.3.2.2 Fórmulas para la comprobación de piezas simples

- 1 Si $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ y $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$, las tensiones deben satisfacer las ecuaciones 6.23 y 6.24 del apartado 6.2.3. En los restantes casos se procederá de la manera siguiente:

a) compresión axial.

Deben cumplirse las condiciones siguientes:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.34)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.35)$$

siendo:

$\sigma_{c,0,d}$ tensión de cálculo a compresión paralela a la fibra;

$f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra;

$k_{c,y}$, $k_{c,z}$ coeficientes de pandeo, obtenidos a partir de las siguientes expresiones:

donde:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad \text{análogo para } k_{c,z} \quad (6.36)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \quad \text{análogo para } k_z \quad (6.37)$$

donde:

β_c factor asociado a la rectitud de las piezas, al que corresponden los valores siguientes:

$\beta_c = 0,2$ para madera maciza;

$\beta_c = 0,1$ para madera laminada encolada y microlaminada;

$\lambda_{rel,y}$ esbeltez relativa, ecuación 6.30.

b) flexocompresión.

Deben cumplirse las condiciones siguientes:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.38)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.39)$$

siendo:

$\sigma_{c,0,d}$ y $f_{c,0,d}$ definidos anteriormente (ecuaciones 6.23 y 6.24);

$\sigma_{m,y,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje y;

$f_{m,y,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje y;

$\sigma_{m,z,d}$ tensión de cálculo a flexión respecto al eje z;

$f_{m,z,d}$ resistencia de cálculo a flexión respecto al eje z;

k_m factor definido en la ecuación 6.16 del apartado 6.1.7;

$k_m = 0,7$ (sección rectangular);

$k_{c,y}$ y $k_{c,z}$ coeficientes de pandeo, ecuación 6.28.

Tabla 6.1 Valores del factor de pandeo k_c ($k_{c,y}$ o $k_{c,z}$), para las diferentes clases resistentes de madera maciza y laminada encolada, en función de la esbeltez mecánica y de la clase resistente.

Clase Resistente	Esbeltez mecánica de la pieza																		
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
C14	0,98	0,93	0,86	0,74	0,60	0,48	0,39	0,31	0,26	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,08	0,07
C16	0,99	0,94	0,87	0,77	0,64	0,51	0,41	0,34	0,28	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07
C18	0,99	0,94	0,88	0,78	0,65	0,53	0,43	0,35	0,29	0,24	0,21	0,18	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
C20	0,99	0,94	0,88	0,78	0,66	0,54	0,43	0,35	0,29	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
C22	0,99	0,94	0,88	0,78	0,66	0,53	0,43	0,35	0,29	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
C24	0,99	0,95	0,89	0,80	0,68	0,55	0,45	0,37	0,31	0,26	0,22	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08
C27	0,99	0,95	0,89	0,80	0,69	0,57	0,46	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08
C30	0,99	0,95	0,88	0,79	0,67	0,55	0,44	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
C35	0,99	0,95	0,88	0,79	0,67	0,55	0,45	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
C40	0,99	0,95	0,89	0,80	0,69	0,56	0,46	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08
C45	0,99	0,95	0,89	0,81	0,69	0,57	0,47	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09
C50	0,99	0,95	0,89	0,81	0,69	0,57	0,47	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,09	0,09
D30	0,99	0,95	0,88	0,79	0,67	0,55	0,44	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
D35	0,99	0,95	0,88	0,79	0,67	0,55	0,45	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
D40	0,99	0,95	0,89	0,80	0,69	0,56	0,46	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08
D50	1,00	0,96	0,91	0,83	0,73	0,61	0,50	0,42	0,35	0,29	0,25	0,21	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09
D60	1,00	0,96	0,92	0,85	0,76	0,65	0,54	0,45	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10
D70	1,00	0,97	0,93	0,87	0,79	0,69	0,58	0,49	0,41	0,35	0,30	0,26	0,22	0,20	0,17	0,16	0,14	0,13	0,11
GL24h	1,00	0,98	0,95	0,89	0,80	0,66	0,54	0,44	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09
GL28h	1,00	0,98	0,95	0,89	0,79	0,65	0,53	0,43	0,35	0,29	0,25	0,21	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09
GL32h	1,00	0,98	0,94	0,89	0,79	0,65	0,52	0,43	0,35	0,29	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09
GL36h	1,00	0,98	0,94	0,89	0,79	0,65	0,53	0,43	0,35	0,29	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09
GL24c	1,00	0,98	0,96	0,91	0,84	0,72	0,60	0,49	0,41	0,34	0,29	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11
GL28c	1,00	0,98	0,95	0,91	0,82	0,70	0,57	0,47	0,39	0,32	0,27	0,24	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10
GL32c	1,00	0,98	0,95	0,90	0,82	0,69	0,57	0,46	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10
GL36c	1,00	0,98	0,95	0,90	0,81	0,68	0,56	0,45	0,37	0,31	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10

6.3.3 Vuelco lateral de vigas

6.3.3.1 Consideraciones generales

- 1 En este apartado se incluye la comprobación al vuelco lateral (estabilidad a la torsión) para los dos casos siguientes:
 - a) flexión respecto al eje fuerte (y-y), con momento $M_{y,d}$;
 - b) flexión $M_{y,d}$ combinada con un esfuerzo axial de compresión $N_{c,d}$.
- 2 No será necesaria, en general, la comprobación a vuelco lateral en aquellas vigas o piezas en las que se impide el desplazamiento lateral del borde comprimido en toda su longitud (p.e. mediante tableros adecuadamente clavados a la viga).

6.3.3.2 Definiciones

- 1 Esbeltez relativa a flexión.

La esbeltez relativa a flexión, $\lambda_{rel,m}$, de una viga se determina mediante la siguiente expresión:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (6.40)$$

siendo:

$f_{m,k}$ resistencia característica a flexión;

$\sigma_{m,crit}$ tensión crítica a flexión calculada de acuerdo con la teoría de la estabilidad elástica, utilizando los valores característicos de los módulos de elasticidad, definida a continuación en la ecuación 6.41.

La tensión crítica de flexión, $\sigma_{m,crit}$, en piezas de directriz recta y sección constante puede obtenerse a partir de la expresión siguiente:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{\beta_v \cdot l_{ef} \cdot W_y} \quad (6.41)$$

siendo:

$E_{0,05}$ módulo de elasticidad longitudinal característico;

$G_{0,05}$ módulo de elasticidad transversal característico;

β_v coeficiente que define la longitud eficaz a vuelco lateral. Depende de las condiciones de apoyo y de la ley de cargas, tabla 6.2;

I_z momento de inercia respecto al eje débil;

I_{tor} módulo de torsión;

l_{ef} longitud eficaz de vuelco lateral de la viga:

$$l_{ef} = \beta_v \cdot l \quad (6.42)$$

donde:

l luz de la viga;

β_v coeficiente que depende de las condiciones de carga y de la restricción de los extremos, obtenido según tabla 6.2;

W_y módulo resistente respecto al eje fuerte.

La tensión crítica de flexión en piezas de madera de conífera de directriz recta y sección rectangular, puede obtenerse a partir de la siguiente expresión:

$$\sigma_{m,crit} = 0,78 \cdot \frac{E_{0,05} \cdot b^2}{l_{ef} \cdot h} \quad (6.43)$$

siendo:

$E_{0,05}$ módulo de elasticidad longitudinal característico;

b anchura de la sección;

h altura (canto) de la sección.

Tabla 6.2 Valores del coeficiente β_v para vigas de sección constante con diferentes condiciones de carga y de restricción en los extremos.

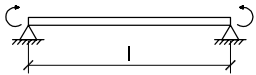
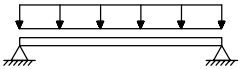
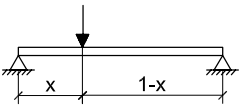
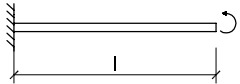
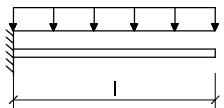
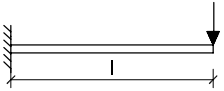
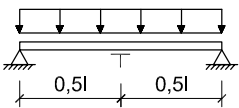
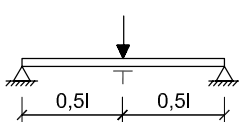
Tipo de carga y viga	$\beta_v = l_{ef} / l$
	$\beta_v = 1,00$
	$\beta_v = 0,95$
	$\beta_v = 0,8/\alpha$ $\alpha = 1,35 - 1,4 \times (l - x)/l^2$
	$\beta_v = 2,00$
	$\beta_v = 1,20$
	$\beta_v = 1,70$
	$\beta_v = 0,40$
	$\beta_v = 0,25$

Tabla 6.2 Valores del coeficiente β_v para vigas de sección constante con diferentes condiciones de carga y de restricción en los extremos.

Tipo de carga y viga	$\beta_v = I_{ef} / I$
<p>Los valores que se dan en esta tabla son válidos para una viga cargada en su centro de gravedad y con la torsión impedida en los apoyos. Si la carga se aplica en el borde comprimido la longitud eficaz I_{ef} se incrementará en $2h$ y si es aplicada en el borde traccionado se reducirá en $0,5h$, siendo h el canto de la pieza.</p> <p>T: sección con desplazamiento lateral del borde superior impedido</p>	

- 2 Los ejemplos indicados en la tabla 6.2 tienen impedido el desplazamiento lateral en los apoyos y en los dos últimos casos representados, también, en un punto intermedio. Generalmente, el sistema de arriostramiento en vigas de cierta luz inmoviliza varios puntos intermedios y no son aplicables directamente estos casos. En el caso de vigas biapoyadas esta comprobación se realiza para el tramo arriostrado más centrado, donde el momento es mayor, tomándose como distancia entre puntos arriostrados la correspondiente al tramo central, con $\beta_v=1$, como si el momento fuera constante.

6.3.3.3 Fórmulas para la comprobación de piezas de directriz recta y sección constante

- Solamente es necesaria la comprobación a vuelco lateral en vigas con esbeltez relativa a flexión $\lambda_{rel,m} > 0,75$, ecuación 6.40, apartado 6.3.3.2.
- Vuelco lateral en flexión simple.

Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \quad (6.44)$$

siendo:

$\sigma_{m,d}$ tensión de cálculo a flexión;

$f_{m,d}$ resistencia de cálculo a flexión;

k_{crit} coeficiente de vuelco lateral, obtenido a partir de las expresiones siguientes:

$$\begin{aligned} k_{crit} &= 1 && \text{para } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ k_{crit} &= 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} && \text{para } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ k_{crit} &= 1/\lambda_{rel,m}^2 && \text{para } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{aligned} \quad (6.45)$$

donde:

$\lambda_{rel,m}$ esbeltez relativa a flexión (ecuación 6.40).

En la tabla 6.3 se dan los valores de k_{crit} de piezas de sección rectangulares en función de la clase resistente y del coeficiente C_e definido por la expresión:

$$C_e = \sqrt{\frac{I_{ef} \cdot h}{b^2}} \quad (6.46)$$

siendo:

I_{ef} longitud eficaz de vuelco de la viga;

h altura, canto de la sección;

b anchura de la sección.

3 Vuelco lateral en flexocompresión.

Cuando actúa un momento flector $M_{y,d}$ (respecto al eje fuerte) combinado con un esfuerzo axial de compresión $N_{c,d}$, debe cumplirse la siguiente condición:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.47)$$

siendo:

$\sigma_{m,d}$, $f_{m,d}$ y k_{crit} definidos anteriormente en la ecuación 6.44;

$\sigma_{c,0,d}$ tensión de cálculo a compresión;

$f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión;

$k_{c,z}$ coeficiente de pandeo por flexión respecto al eje z (eje débil) definido en la ecuación 6.36.

4 Debe comprobarse, también, la inestabilidad al pandeo por flexión (véase el apartado 6.3.2.2).

Tabla 6.3 Valores del coeficiente de vuelco lateral, k_{crit} , para vigas de directriz recta y sección rectangular constante, según la clase resistente y el coeficiente C_e .

Clase Resistente	Coeficiente de esbeltez geométrica C_e														
	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
C14	1,00	1,00	0,91	0,82	0,73	0,63	0,54	0,45	0,39	0,33	0,29	0,26	0,23	0,20	0,18
C16	1,00	1,00	0,91	0,82	0,73	0,64	0,54	0,46	0,39	0,34	0,29	0,26	0,23	0,20	0,18
C18	1,00	1,00	0,91	0,82	0,72	0,63	0,54	0,45	0,38	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18
C20	1,00	0,99	0,90	0,80	0,71	0,61	0,52	0,43	0,37	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,17
C22	1,00	0,98	0,88	0,78	0,68	0,59	0,49	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,18	0,16
C24	1,00	0,98	0,88	0,79	0,69	0,59	0,50	0,42	0,36	0,31	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17
C27	1,00	0,97	0,87	0,77	0,67	0,57	0,48	0,40	0,34	0,29	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16
C30	1,00	0,94	0,83	0,73	0,62	0,52	0,43	0,36	0,31	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14
C35	1,00	0,91	0,81	0,70	0,59	0,48	0,40	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13
C40	1,00	0,90	0,78	0,67	0,56	0,46	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13
C45	0,99	0,88	0,76	0,65	0,53	0,43	0,36	0,30	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12
C50	0,98	0,86	0,75	0,63	0,52	0,42	0,34	0,29	0,25	0,21	0,19	0,16	0,14	0,13	0,12
D30	1,00	0,94	0,83	0,73	0,62	0,52	0,43	0,36	0,31	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14
D35	1,00	0,91	0,81	0,70	0,59	0,48	0,40	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13
D40	1,00	0,90	0,78	0,67	0,56	0,46	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13
D50	1,00	0,90	0,79	0,68	0,57	0,46	0,38	0,32	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13
D60	1,00	0,90	0,79	0,68	0,57	0,46	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13
D70	1,00	0,90	0,79	0,68	0,57	0,47	0,39	0,33	0,28	0,24	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13
GL24h-c	1,00	1,00	0,96	0,87	0,79	0,70	0,62	0,53	0,45	0,39	0,34	0,30	0,26	0,24	0,21
GL28h-c	1,00	1,00	0,94	0,85	0,76	0,67	0,58	0,49	0,42	0,36	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20
GL32h-c	1,00	1,00	0,92	0,83	0,74	0,65	0,56	0,47	0,40	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19
GL36h-c	1,00	1,00	0,91	0,81	0,72	0,63	0,53	0,45	0,38	0,33	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18

6.4 Agotamiento de secciones en piezas de canto variable o curvas de madera laminada encolada y microlaminada

6.4.1 Consideraciones generales

- 1 En este apartado se analizan aspectos singulares del cálculo como son el efecto del desvío de la fibra en piezas de canto variable y las tensiones perpendiculares a la dirección de la fibra que se presentan en las zonas de vértice de vigas a dos aguas. También se considera la pérdida de resistencia a flexión debida al curvado de las láminas.
- 2 Además de las comprobaciones que se incluyen en este apartado deben realizarse las que puedan afectar de las indicadas en los apartados 6.1, 6.2 y 6.3.
- 3 Las tensiones provocadas en una sección transversal por una fuerza axial N se calculan mediante la expresión:

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad (6.48)$$

siendo:

σ_N tensión axial;
 N esfuerzo axial;
 A área de la sección transversal.

6.4.2 Vigas de canto variable

- 1 En estas vigas, figura 6.9, se presentan en las secciones transversales al borde horizontal (borde paralelo a las láminas) leyes de distribución de tensiones normales debidas a la flexión que no son lineales. También las propiedades resistentes están afectadas por el desvío de la fibra en el borde inclinado.

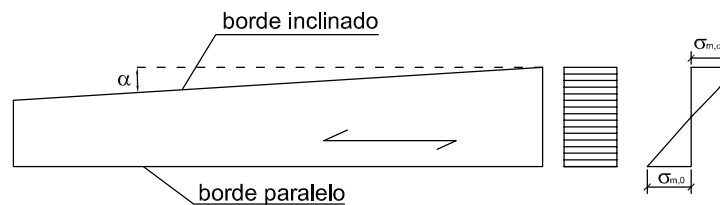


Figura 6.9 Viga a un agua

- 2 En las fibras extremas las tensiones de cálculo a flexión en el borde paralelo y en el inclinado con relación a la dirección de la fibra, $\sigma_{m,0,d}$ y $\sigma_{m,\alpha,d}$, respectivamente, deben cumplir las condiciones siguientes:

$$\sigma_{m,0,d} \leq f_{m,d} \quad \text{en borde paralelo respecto a la dirección de la fibra} \quad (6.49)$$

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d} \quad \text{en borde inclinado respecto a la dirección de la fibra} \quad (6.50)$$

siendo:

$f_{m,d}$ resistencia de cálculo a flexión;
 $k_{m,\alpha}$ coeficiente definido a continuación.

si las tensiones son de tracción, figura 6.10,

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0,75 \cdot f_{v,d}} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \right)^2}} \quad (6.51)$$

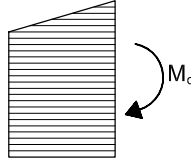


Figura 6.10 Tensiones de tracción en el borde inclinado.

si las tensiones son de compresión, figura 6.11,

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{1,5 \cdot f_{v,d}} \cdot \operatorname{tg} \alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha \right)^2}} \quad (6.52)$$

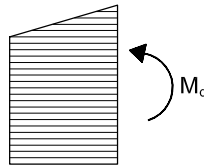


Figura 6.11 Tensiones de compresión en el borde inclinado.

3 Además, debe efectuarse la comprobación a cortante según el apartado 6.1.8.

6.4.3 Viga a dos aguas

1 Las comprobaciones que se indican a continuación son aplicables únicamente a piezas de madera laminada encolada o de madera microlaminada:

a) **en los semivanos.** En los dos tramos de viga con canto variable, figura 6.12, se realizarán las comprobaciones indicadas en el apartado 6.4.2;

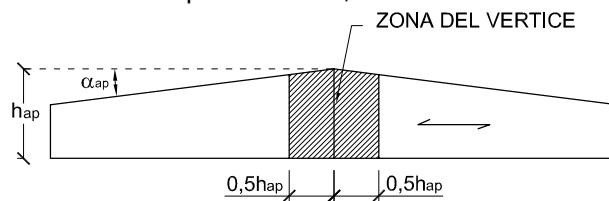


Figura 6.12. Viga "a dos aguas"

b) **en la zona del vértice** (zona rayada de la figura 6.12):

i) tensiones de flexión en la zona del vértice:

– en la zona del vértice, la tensión de cálculo a flexión, $\sigma_{m,d}$, debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (6.53)$$

siendo:

$f_{m,d}$ resistencia de cálculo a flexión.

- la tensión de flexión en la sección central de la zona de vértice, $\sigma_{m,d}$, puede obtenerse a partir de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} \quad (6.54)$$

siendo:

$$k_l = 1 + 1,4 \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.55)$$

$M_{ap,d}$ momento flector máximo de cálculo en la sección del vértice;

b anchura de la sección;

h_{ap} altura de sección en el vértice de la viga, figura 6.12;

α_{ap} ángulo del faldón, figura 6.12.

ii) tensiones de tracción perpendicular a la fibra:

- la tensión de cálculo máxima de tracción perpendicular a la fibra, $\sigma_{t,90,d}$, debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} \quad (6.56)$$

siendo:

$$\sigma_{t,90,d} = 0,2 \operatorname{tg} \alpha_{ap} \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} - 0,6 \cdot \frac{p_d}{b} \quad (6.57)$$

$k_{dis} = 1,4$ coeficiente que tiene en cuenta el efecto de la distribución de tensiones de tracción perpendicular en la zona de vértice;

k_{vol} factor de volumen definido en el apartado 2.1.1.2, ecuación 2.3. En este caso, V , es el volumen, en m^3 , de la zona de vértice, figura 6.12. Como valor máximo de V debe tomarse $2/3$ del volumen total de la viga; $V_0 = 0,01m^3$;

$f_{t,90,d}$ resistencia de cálculo a tracción perpendicular a la fibra;

p_d carga distribuida de compresión sobre la zona del vértice en el borde superior de la viga;

b ancho de la sección transversal de la viga.

2 Además, debe realizarse la comprobación a cortante según el apartado 6.1.8.

6.4.4 Vigas a dos aguas con la zona de vértice curvada

- 1 Este apartado se refiere a vigas cuyo alzado se corresponde con uno de los dos representados en las figuras 6.13 y 6.14.

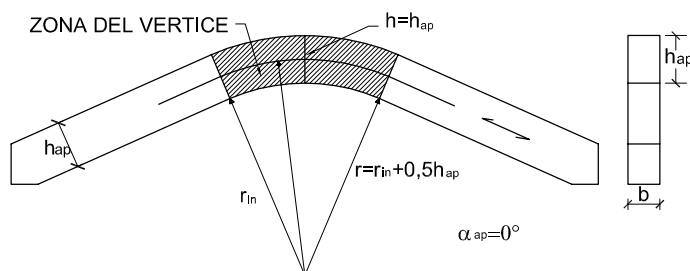


Figura 6.13 Viga curva de canto constante

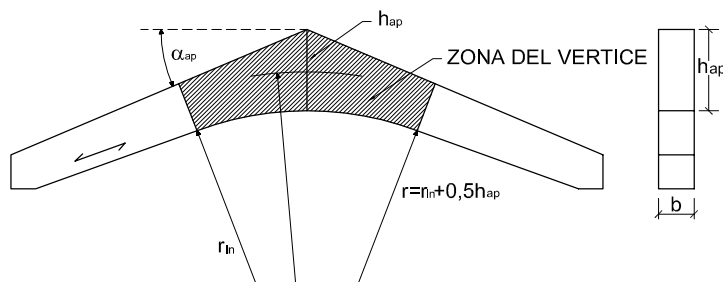


Figura 6.14 Viga "a dos aguas con intradós curvo

Deben efectuarse las comprobaciones siguientes:

a) en los tramos de directriz recta de la viga (exteriores a la zona del vértice):

- i) en los dos tramos de directriz recta y canto constante de la viga, figura 6.13, se realizarán las comprobaciones ya indicadas para piezas de sección constante (apartados 6.4.1, 6.4.2 y 6.4.3);
- ii) en los tramos de directriz recta y canto variable de la viga, figura 6.14, se realizarán, además de las comprobaciones ya indicadas para piezas de sección constante (apartados 6.4.1, 6.4.2 y 6.4.3), las del apartado 6.4.2 para piezas de canto variable.

b) en la zona del vértice (zona rayada de las figuras 6.13 y 6.14).

Se realizarán las comprobaciones siguientes:

i) tensiones de flexión.

La tensión de cálculo a flexión, $\sigma_{m,d}$, debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} \quad (6.58)$$

siendo:

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} \quad (6.59)$$

donde:

$$k_l = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^3 \quad (6.60)$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 5,4 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.61)$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \operatorname{tg} \alpha_{ap} \quad (6.62)$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 7,8 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.63)$$

$$k_4 = 6 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.64)$$

$M_{ap,d}$ momento flector de cálculo en la sección del vértice;

b anchura de la sección;

h_{ap} altura de sección en el vértice de la viga, figuras 6.13 y 6.14;

α_{ap} ángulo definido en las figuras 6.13 y 6.14;

$f_{m,d}$ resistencia de cálculo a flexión;

k_r coeficiente de curvatura que tiene en cuenta la pérdida de resistencia de la madera debida al curvado de las láminas en el proceso de fabricación. Adopta los valores siguientes:

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{para } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \frac{r_{in}}{t} & \text{para } \frac{r_{in}}{t} < 240 \end{cases} \quad (6.65)$$

donde:

r_{in} radio del intradós de la viga;

$$r = r_{in} + 0,5h_{ap}$$

t espesor de la lámina.

ii) tensiones de tracción perpendicular a la fibra.

La tensión máxima de cálculo a tracción perpendicular a la fibra, $\sigma_{t,90,d}$, debe cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} \quad (6.67)$$

siendo:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} - 0,6 \frac{p_d}{b} \quad (6.68)$$

donde:

p_d carga distribuida (de compresión) aplicada en la zona de vértice sobre el borde superior de la viga;

b ancho de la viga;

$M_{ap,d}$ momento flector de cálculo en la sección de vértice;

h_{ap} altura de la sección en el vértice de la viga, figuras 6.13 y 6.14.

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 \quad (6.69)$$

$$k_5 = 0,2 \operatorname{tg} \alpha_{ap} \quad (6.70)$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \operatorname{tg} \alpha_{ap} + 2,6 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.71)$$

$$k_7 = 2,1 \operatorname{tg} \alpha_{ap} - 4 \operatorname{tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.72)$$

k_{vol} factor de volumen definido en el apartado 2.1.1.2, ecuación 2.3. En este caso, V , es el volumen, en m^3 , de la zona de vértice, figuras 6.13 y 6.14. Como valor máximo de V debe tomarse 2/3 del volumen total de la viga; $V_0 = 0,01 m^3$;

k_{dis} coeficiente de distribución que adopta los valores siguientes:

$k_{dis} = 1,4$ para la viga representada en la figura 6.13;

$k_{dis} = 1,7$ para la viga representada en la figura 6.14;

$f_{t,90,d}$ resistencia de cálculo a tracción perpendicular a la fibra.

$$r = r_{in} + 0,5h_{ap}$$

3 Además, debe realizarse la comprobación a cortante según el apartado 6.1.8.

6.5 Piezas rebajadas

6.5.1 Principios generales

1 Debe considerarse la concentración de tensiones provocada por un rebaje, figura 6.15.

La influencia de la concentración de tensiones puede despreciarse en los casos siguientes:

- solicitaciones axiales de tracción o compresión paralela a la fibra;
- solicitación de flexión provocando tracciones en la zona del rebaje si su pendiente no es mayor que 1:10 (1:i), figura 6.15 (izquierda);
- solicitación de flexión provocando compresiones en la zona del rebaje, figura 6.15 (derecha).

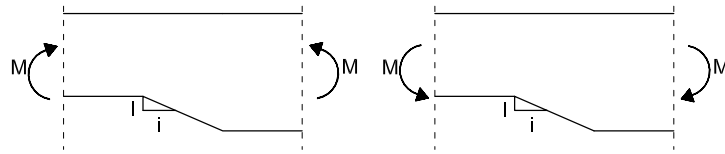


Figura 6.15 Flexión en la zona rebajada. Izquierda: tensiones de tracción en el rebaje; derecha: tensiones de compresión en el rebaje.

6.5.2 Vigas con rebaje en la zona de apoyo

- En las vigas con los extremos rebajados debe tenerse en cuenta la influencia de la concentración de tensiones, figura 6.16. Para las vigas de sección rectangular con la fibra sensiblemente paralela al eje esta influencia se considera haciendo la comprobación siguiente:

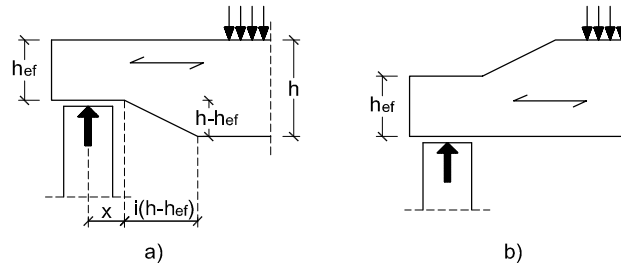


Figura 6.16 Extremos rebajados de vigas.

$$\tau_d = \frac{1,5 \cdot V_d}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d} \quad (6.73)$$

siendo:

V_d esfuerzo cortante de cálculo en el apoyo;

h_{ef} canto eficaz, véase figura 6.16;

k_v factor de reducción que adopta los valores siguientes:

- en el apoyo extremo de vigas con el rebaje en la parte superior, figura 6.16.b;

$$k_v = 1$$

- en el apoyo extremo de vigas con el rebaje en la parte inferior, figura 6.16.a.

$$k_v = \min \left\{ 1, \frac{k_n \cdot \left(1 + \frac{1,1 \cdot i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha)} + 0,8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \right\} \quad (6.74)$$

i define la inclinación del rebaje, figura 6.16.a;

h canto de la viga en mm, figura 6.16.a;

x distancia desde el eje del apoyo hasta el final del rebaje, figura 6.16.a.

$$\alpha = h_{ef} / h$$

$$k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{Para madera microlaminada} \\ 5,0 & \text{Para madera maciza} \\ 6,5 & \text{Para madera laminada encolada} \end{cases} \quad (6.75)$$

6.6 Piezas con agujeros

- 1 El efecto de la concentración de las tensiones en las proximidades de los agujeros debe ser tenida en cuenta en la comprobación de las piezas.
- 2 La verificación de las resistencias a la flexión y solicitaciones axiales de una pieza que tenga un agujero debe basarse en las propiedades de la sección reducida por el agujero.
- 3 La comprobación de la resistencia a cortante de una pieza con agujeros como los indicados en la figura 6.17, donde:

$$I_v \geq h$$

$$I_z \geq \max(h, 300 \text{ mm})$$

$$I_A \geq h/2$$

$$h_{ru} \geq 0,25 \cdot h$$

$$h_{rl} \geq 0,25 \cdot h$$

$$a \leq h$$

$$h_d \leq 0,4 \cdot h$$

$$r \geq 15 \text{ mm}$$

debe basarse en el análisis de una viga equivalente con una entalladura de acuerdo con el apartado 6.5.2 sometida a unos cortantes V_u u V_l respectivamente, definidos por las expresiones siguientes:

$$V_u = \frac{V \cdot h_{ru}}{h_{ru} + h_{rl}} \quad (6.76)$$

$$V_l = \frac{V \cdot h_{rl}}{h_{ru} + h_{rl}} \quad (6.77)$$

siendo:

V cortante total en la sección, figura 6.18.

- 4 En el caso de agujeros de forma circular la comprobación de la resistencia a cortante debe realizarse considerando una pendiente de la entalladura de 1:1, figura 6.18.

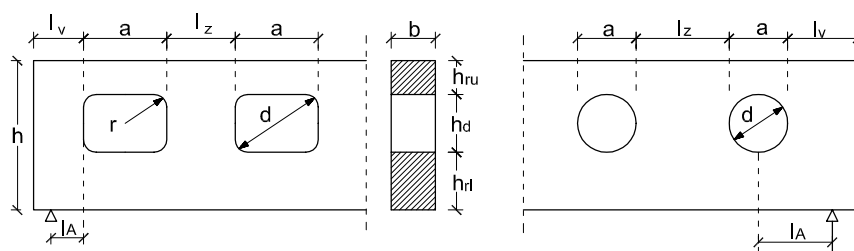


Figura 6.18 Dimensiones del agujero y distancias.

- 5 En las piezas con agujeros mayores, o cuando la carga o la geometría (por ejemplo vigas curvas) provoquen tensiones locales de tracción perpendicular a la fibra, debe realizarse un estudio más detallado.
- 6 Los agujeros con una dimensión interior d menor que 50 mm y menor que $0,1 \cdot h$ pueden despreciarse.

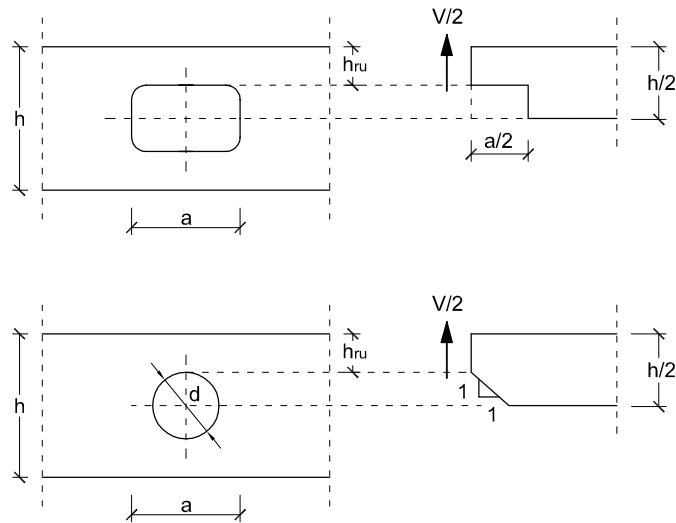


Figura 6.18 Las vigas con agujeros situados en el centro de la viga se comprobarán a cortante considerando un efecto equivalente como si se tratara de una entalladura en la viga. A la izquierda se representan los agujeros y a la derecha la entalladura equivalente.

7 Estados límite de servicio

7.1 Generalidades

- 1 Los principios generales del método de los estados límite de servicio están en el DB-SE.
- 2 El análisis estructural se basará en modelos adecuados considerando todas las variables relevantes que permitan evaluar el comportamiento estructural con la precisión adecuada. La deformación de la estructura debe permanecer dentro de los límites adecuados, teniendo en cuenta la posibilidad de daños en los revestimientos, pavimentos, falsos techos, tabiques y acabados. Además, debe garantizarse el cumplimiento de las necesidades de servicio y mantener la apariencia adecuada. Asimismo, deben evitarse vibraciones que causen incomodidad a las personas, daños al edificio o a sus contenidos, o que limiten su eficacia funcional.

7.2 Determinación de las deformaciones

- 1 El desplazamiento inicial, w_{ini} , debido a una determinada acción se realizará utilizando los valores medios de los módulos de elasticidad longitudinal y transversal y el módulo de deslizamiento de las uniones (véase apartado 7.3).
- 2 El desplazamiento final provocado por una determinada acción debe calcularse mediante la expresión siguiente:

$$w_{fin} = w_{ini} + w_{creep} = w_{ini} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \quad (7.1)$$

siendo:

w_{ini} desplazamiento instantáneo (flecha elástica), figura 7.1;

w_{creep} desplazamiento diferido, véase también figura 7.1;

ψ_2 coeficiente definido en norma UNE EN 1990. Para las cargas permanentes $\psi_2 = 1,0$;

k_{def} factor de deformación. Permite estimar el desplazamiento diferido. En la tabla 7.1 se dan los valores correspondientes en función de clase de servicio (véase apartado 2.1.2.2).

Tabla 7.1 Valores de k_{def} para madera y productos derivados de la madera para cargas de duración permanente.

Material	Norma	Clase de servicio		
		1	2	3
Madera maciza		0,60	0,80	2,00
Madera laminada encolada		0,60	0,80	2,00
Madera microlaminada (LVL)		0,60	0,80	2,00
Tablero contrachapado	UNE EN 636			
	Parte 1	0,80	-	-
	Parte 2	0,80	1,00	-
	Parte 3	0,80	1,00	2,50
Tablero de virutas orientadas (OSB)	UNE EN 300			
	OSB/2	2,25	-	-
	OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	-
Tablero de partículas	UNE EN 312			
	Parte 4	2,25	-	-
	Parte 5	2,25	3,00	-
	Parte 6	1,5	-	-
	Parte 7	1,50	2,25	-
Tablero de fibras duro	UNE EN 622-2			
	HB.LA	2,25	-	-
	HB.HLS	2,25	3,00	-
Tablero de fibras semiduro	UNE EN 622-3			
	MBH.LA	3,00	-	-
	MBH.HLS	3,00	4,00	-
Tablero de fibras de densidad media (DM)	UNE EN 622-5			
	MDF.LA	2,25	-	-
	MDF.HLS	2,25	3,00	-
Tablero de fibras blando	UNE EN 622-4	3,00	4,00	-

- 3 Si la estructura está formada por piezas o sistemas estructurales a los que se asocian diferentes comportamientos diferidos, la deformación final debe calcularse como suma de las contribuciones individuales.
- 4 Los desplazamientos debidos a una combinación de acciones se calcularán como la suma de la contribución individualizada de las diferentes acciones. La posibilidad de simultaneidad de dos o más acciones variables puede ponderarse considerando el coeficiente ψ_0 (tabla correspondiente del DB-SE).

7.3 Deslizamiento de las uniones

- 1 El módulo de deslizamiento K_{ser} para los estados límite de servicio puede determinarse mediante ensayos según la norma UNE EN 26891 (método de determinación de $k_s (= K_{ser})$, o calcularse de la manera de la manera indicada en el párrafo siguiente.
- 2 Para uniones de tipo clavija, bajo solicitaciones de servicio, el módulo de deslizamiento K_{ser} por plano de cortadura y por elemento de fijación puede elegirse de la tabla 7.2 con la densidad media, ρ_m en kg/m^3 , y d o d_c , en mm, (d_c se define en la norma UNE EN 13271).

Tabla 7.2 Valores de K_{ser} ($= k_s$ en la norma UNE EN 26891) para elementos de fijación de tipo clavija en N/mm.

Tipo de elemento de fijación	Madera – madera Tablero - madera
Pasadores Pernos sin holgura ⁽¹⁾ Tirafondos Clavos con pretaladro	$\rho_m^{1,5} \cdot d / 23$
Clavos sin pretaladro	$\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8} / 30$
Grapas	$\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8} / 80$
Conectores de placa (tipo A según norma UNE EN 912) Conectores de anillo (tipo B según norma UNE EN 912)	$\rho_m \cdot d_c / 2$
Conectores dentados Conectores de una cara (tipos C1 a C9 y C11 según norma UNE EN 912) Conectores de doble cara (tipo C10 según norma UNE EN 912)	$\rho_m \cdot d_c / 4$ $\rho_m \cdot d_c / 2$

⁽¹⁾ La holgura debe añadirse independientemente a la deformación.

Si las densidades medias de las dos piezas unidas derivadas de la madera son diferentes ($\rho_{m,1}$, $\rho_{m,2}$), se tomará como valor de ρ_m el siguiente:

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \cdot \rho_{m,2}}$$

Para uniones entre madera acero o madera hormigón, K_{ser} , puede multiplicarse por 2.

7.4 Exigencias

- 1 Las exigencias relativas al comportamiento en servicio son las establecidas en el DB-SE. En edificios con particiones no frágiles, como las que son habituales en la construcción con madera, se deben cumplir los límites máximos de desplazamientos indicados en las tablas 7.3 y 7.4.
- 2 Los desplazamientos se comprobarán para la combinación característica, véase apartado 2.2.2.
- 3 Las limitaciones de las flechas se indican en la figura 7.1 en la que se emplean los símbolos siguientes:
 - w_c contraflecha;
 - w_1 flecha inicial de las acciones permanentes de la combinación considerada;
 - w_2 flecha debida a la deformación diferida y a los efectos reológicos, si los hubiera, de las acciones permanentes;
 - w_3 flecha debida a las acciones variables de la combinación considerada, incluida la deformación diferida y los efectos reológicos, si los hubiera;
 - w_{tot} flecha total correspondiente a la suma de $w_1 + w_2 + w_3$;
 - w_{max} flecha total teniendo en cuenta la contraflecha;
 - w_{act} flecha activa ($w_2 + w_3$).

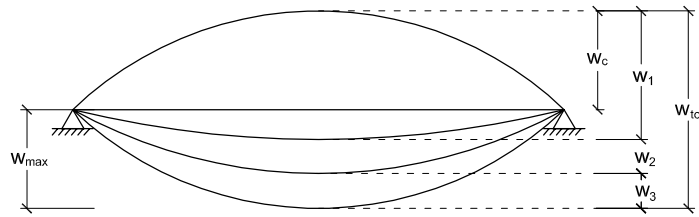


Figura 7.1 Componentes de la flecha.

Tabla 7.3 Valores indicativos de las flechas límite en función de la luz del elemento, l , o de dos veces la luz del voladizo, para la combinación característica

Tipo de estructura	W_{max}	W_{act}
Edificios en general sin particiones frágiles	$l/250$	$l/300$

- 4 Las limitaciones de los desplazamientos horizontales se indican en la tabla 7.4, con el siguiente significado de sus símbolos:

- u desplazamiento horizontal total sobre la altura del edificio;
- u_i desplazamiento horizontal relativo sobre la altura de una planta;
- H altura total del edificio;
- H_i altura de una planta.

Tabla 7.4 Valores indicativos de los desplazamientos horizontales, para la combinación característica.

Tipo de estructura	u	u_i
Naves	$H/150$	
Edificios de varias plantas:		
- En general		$H_i/200$
- Con particiones frágiles		$H_i/500$
Naves con puentes grúas	$H/300$	

7.5 Vibraciones

7.5.1 Generalidades

- Debe garantizarse que las acciones que pueden preverse razonablemente sobre un elemento estructural o sobre la estructura no causan vibraciones que puedan impedir la función de la estructura o provocar una situación de falta de comodidad a los usuarios.
- El nivel de vibración debe estimarse mediante mediciones o mediante cálculo teniendo en cuenta la rigidez esperada del elemento, sistema estructural o estructura y el coeficiente de amortiguamiento.
- Para el cálculo se emplearán los valores medios de las propiedades de rigidez.
- En forjados, a no ser que se demuestren otros valores más adecuados, se tomará un coeficiente de amortiguamiento de $\zeta = 0,01$ (es decir el 1%).

7.5.2 Vibraciones producidas por maquinaria

- Las vibraciones causadas por maquinaria rotatoria y otros equipos debe limitarse para las combinaciones desfavorables de las cargas permanentes y variables que pueden esperarse.
- En forjados deben tomarse como niveles aceptables de vibración continua los indicados en la figura 5a del Apéndice A de la norma ISO 2631-2 con un factor de multiplicación igual a 1,0.

7.5.3 Forjados con uso residencial

- En forjados con uso residencial con una frecuencia fundamental menor que 8 Hz ($f_1 \leq 8$ Hz) debe realizarse un estudio especial.
- En forjados con uso residencial con una frecuencia fundamental mayor que 8 Hz ($f_1 > 8$ Hz) deben cumplirse las siguientes condiciones:

$$\frac{u}{F} \leq a \text{ mm/kN} \quad (7.2)$$

y

$$v \leq b^{(f_1 \cdot \xi - 1)} \text{ m/(N} \cdot \text{s}^2) \quad (7.3)$$

siendo:

- u desplazamiento máximo vertical provocado por una carga estática concentrada y vertical, F, aplicada en cualquier punto del forjado, teniendo en cuenta el efecto de la distribución de la carga, y tomando $k_{\text{def}} = 0,0$;
- v velocidad de respuesta al impulso unitario, es decir, el valor máximo inicial de la velocidad de vibración en vertical del forjado (en m/s) provocado por un impulso unitario ideal (1 N·s)) aplicado sobre el punto del forjado que de lugar a la máxima respuesta. Las componentes por encima de 40 Hz pueden despreciarse;
- ξ coeficiente de amortiguación modal.

Nota: El rango de valores límites para a y b y la relación entre a y b se establece en la figura 7.2.

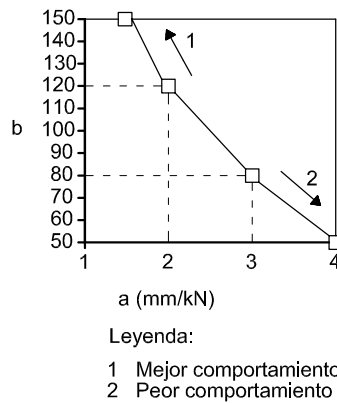


Figura 7.2 Rango recomendado para los valores de a y b y su relación.

- 3 Los cálculos realizados de acuerdo con el apartado 6.5.2 deben realizarse en el supuesto de que el forjado se encuentra descargado, es decir, sólo se considerará el peso propio del forjado y otras acciones permanentes.
- 4 En el caso de forjados de planta rectangular con dimensiones lxb, simplemente apoyado a lo largo de los cuatro lados y formado por vigas de madera con una luz l, la frecuencia fundamental f_1 , puede calcularse aproximadamente mediante la fórmula siguiente:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{(E \cdot I)_l}{m}} \quad (7.4)$$

siendo:

m masa por unidad de área en kg/m²;

l luz del forjado, en m;

(E·I)_l rigidez a flexión de la placa equivalente al forjado respecto al eje perpendicular a la dirección de las vigas, en N·m²/m.

- 5 El valor de v puede obtenerse aproximadamente de acuerdo con la siguiente expresión:

$$v = \frac{4 \cdot (0,4 + 0,6 \cdot n_{40})}{m \cdot b \cdot l + 200} \quad (7.5)$$

siendo:

- v velocidad de respuesta al impulso unitario, en $m/(N \cdot s^2)$;
 n_{40} número de modos de primer orden con frecuencias naturales inferiores a 40 Hz;
b anchura del forjado, en m;
m masa, en kg/m^2 ;
l luz del forjado, en m.

El valor de n_{40} puede obtenerse aproximadamente mediante la expresión siguiente:

$$n_{40} = \left\{ \left[\left(\frac{40}{f_i} \right)^2 - 1 \right] \cdot \left(\frac{b}{l} \right)^4 \cdot \frac{(E \cdot I)_l}{(E \cdot I)_b} \right\}^{0,25} \quad (7.6)$$

siendo:

$(E \cdot I)_b$ rigidez a flexión de la placa equivalente del forjado respecto a un eje paralelo a la viga,

donde:

$(E \cdot I)_b < (E \cdot I)_l$.

8 Uniones

8.1 Introducción

- 1 Las uniones contempladas en este capítulo corresponden a las uniones entre piezas de madera, tableros y chapas de acero mediante los sistemas de unión siguientes:
 - a) Elementos mecánicos de fijación de tipo clavija (clavos, pernos, pasadores, tirafondos y grapas), apartado 8.3;
 - b) Elementos mecánicos de fijación de tipo conectores, apartado 8.4;
 - c) Uniones tradicionales, apartado 8.5.
- 2 Las comprobaciones a realizar sobre la capacidad portante de las uniones son parte de los estados límite últimos. También las uniones pueden tener repercusión en los estados límite de servicio debido al deslizamiento que se produce en las piezas conectadas; este aspecto se trata en el capítulo 7.

8.2 Principios generales del cálculo de uniones

8.2.1 Capacidad de carga

- 1 La disposición y tamaño de los medios de unión, la separación y distancias a los bordes y testas deben elegirse de tal forma que se alcancen la resistencia y rigidez esperadas.
- 2 En general, el valor característico de la capacidad de carga y la rigidez de las uniones se determinarán mediante ensayo de acuerdo con las normas UNE EN 1380, UNE EN 1381, UNE EN 26891 y UNE EN 28970. Si en la norma se describen métodos de ensayo por tracción y compresión, la capacidad de carga característica debe obtenerse en tracción. Para los casos más frecuentes se incluyen en este capítulo fórmulas para la determinación de las capacidades de carga.
- 3 Debe evitarse o reducirse, en la zona de la unión, la presencia de gemas, nudos y otros defectos de la madera que se admitan para la clase resistente empleada.

8.2.2 Uniones con múltiples medios de fijación

- 1 Debe tenerse en cuenta que en una unión con varios elementos de fijación del mismo tipo y dimensiones, la capacidad de carga del conjunto es menor que la suma de las capacidades de carga de cada elemento de fijación.
- 2 Si en una unión la carga se transmite mediante más de un tipo de fijación, o cuando la rigidez de las uniones en los planos de corte de una unión con varios planos de cortadura es diferente, se debe verificar su compatibilidad.

8.2.3 Uniones con múltiples planos de cortadura

- 1 En las uniones de cortadura múltiple la resistencia de cada plano de cortadura debe determinarse como perteneciente a una serie de uniones de tres piezas.
- 2 Para poder combinar la resistencia de los planos de cortadura individuales en una unión de múltiples planos de cortadura, el modo de fallo crítico de los elementos de fijación en los respectivos planos de cortadura debe ser compatible con los restantes y no debe consistir en una combinación de los modos de fallo (a), (b), (g) y (h) de la figura 8.2 o de los modos (e), (f) y (j/l) de la figura 8.3 con los restantes modos de fallo.

8.2.4 Uniones con fuerzas oblicuas

- 1 Cuando en una unión la fuerza actúa con un ángulo α con respecto a la dirección de la fibra, debe tenerse en cuenta el efecto de hienda debido a las tensiones provocadas por una componente $F_d \cdot \sin \alpha$, perpendicular a la fibra, (véase figura 8.1).

- 2 En este caso, a no ser que se realice un cálculo más detallado debe cumplirse la siguiente condición:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad (8.1)$$

siendo:

$$F_{v,Ed} = \max \left\{ \begin{matrix} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{matrix} \right\} \quad (8.2)$$

donde:

$F_{v,Ed,1}$, $F_{v,Ed,2}$ valores de cálculo de los esfuerzos cortantes a cada lado de la unión, figura 8.1.

$F_{90,Rd}$ valor de cálculo frente a la hienda, calculada a partir de su valor característico, $F_{90,Rk}$, según ecuación 8.3.

- 3 En coníferas, la capacidad de carga característica frente a la hienda para la disposición de la figura 8.1, viene definida por la siguiente expresión:

$$F_{90,Rk} = 14 \cdot b \cdot w \cdot \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (8.3)$$

siendo:

$$w = \begin{cases} \left(\frac{w_{pl}}{100}\right)^{0,35} & \geq 1 \text{ para placas dentadas} \\ 1 & \text{para el resto} \end{cases} \quad (8.4)$$

donde:

$F_{90,Rk}$ valor característico de la capacidad de carga frente a la hienda, en N;

h_e distancia desde el borde cargado de la pieza central hasta el eje del elemento mecánico de fijación más alejado;

b espesor de la pieza central, [mm];

h canto de la pieza central, [mm];

w factor de modificación;

w_{pl} ancho de la placa dentada en dirección paralela a la fibra, [mm].

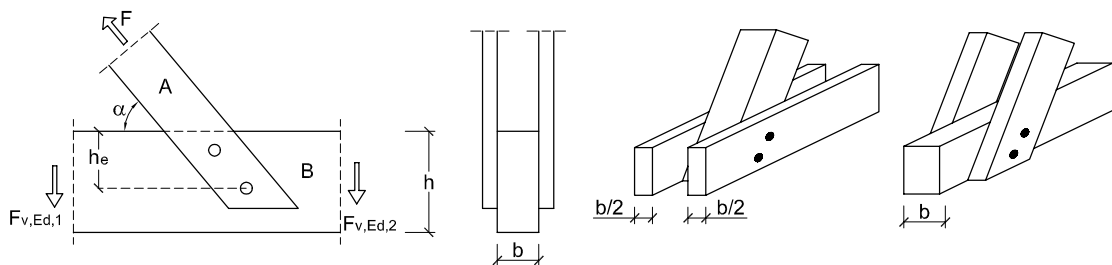


Figura 8.1 Fuerza oblicua transmitida en una unión.

8.2.5 Fuerzas alternas

- 1 El valor característico de la capacidad de carga de una unión debe reducirse si está sometida a solicitaciones con carácter alterno, de cargas de larga o media duración.
- 2 En el caso de que la solicitación en las piezas varíe entre un valor de tracción $F_{t,Ed}$ y de compresión $F_{c,Ed}$, se dimensionará la unión para los dos valores siguientes: $F_{t,Ed} + 0,5 \cdot F_{c,Ed}$ y $F_{c,Ed} + 0,5 \cdot F_{t,Ed}$, en valores absolutos, para tracción y compresión, respectivamente.

8.2.6 Número eficaz

- 1 La capacidad de carga característica eficaz de una unión con varios elementos de fijación, $F_{v,ef,Rk}$, se obtendrá de la siguiente expresión:

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} \cdot F_{v,Rk} \quad (8.5)$$

siendo:

$F_{v,ef,Rk}$ valor característico de la capacidad de carga eficaz de la unión;
 n_{ef} número eficaz de los elementos de fijación alineados con la carga, que se define posteriormente para cada tipo de elemento de fijación;
 $F_{v,Rk}$ valor característico de la capacidad de carga de un elemento de fijación.

8.3 Uniones de tipo clavija

- 1 Dentro de la denominación de clavija se incluyen los elementos de fijación mecánicos siguientes: clavos, grapas, pernos, pasadores y tirafondos.
- 2 Para la determinación del valor característico de la capacidad de carga de las uniones con elementos de fijación metálicos de tipo clavija deben considerarse las contribuciones del momento plástico, la resistencia al aplastamiento y la resistencia a la extracción.

8.3.1 Capacidad de carga lateral

- 1 El valor característico de la capacidad de carga lateral de un elemento mecánico de fijación, $F_{v,Rk}$, debe tomarse como el menor valor de los obtenidos en cada grupo de expresiones correspondientes a las distintas opciones de uniones.

8.3.1.1 Uniones madera-madera y tablero-madera

- 1 Simple cortadura

$$f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d \quad (8.6)$$

$$f_{h,2k} \cdot t_2 \cdot d \quad (8.7)$$

$$\frac{f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right)} + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \quad (8.8)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4,5 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \right. \quad (8.9)$$

$$1,05 \cdot \frac{f_{h,1k} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2 \cdot \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4,5 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (8.10)$$

$$1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (8.11)$$

- 2 Doble cortadura

$$(8.12)$$

$$(8.13)$$

$$(8.14)$$

$$f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \quad (8.12)$$

$$0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \quad (8.13)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{x,Rk}}{4} \right] \quad (8.14)$$

$$1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{x,Rk}}{4} \quad (8.15)$$

siendo:

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (8.16)$$

donde:

d diámetro del elemento de fijación;

t_i espesor del tablero o de la pieza o profundidad de penetración, referida a la pieza 1 o 2, véanse apartados 8.3.2 a 8.3.6;

$f_{h,i,k}$ resistencia característica al aplastamiento en la pieza i;

$M_{y,Rk}$ momento plástico característico, véanse apartados 8.3.2 a 8.3.6;

$F_{v,Rk}$ capacidad de carga por plano de cortante y por elemento de fijación;

$F_{ax,Rk}$ capacidad de carga a la extracción del elemento de fijación, véase (2).

Nota: El comportamiento plástico de las uniones puede garantizarse utilizando elementos de fijación relativamente esbeltos. En ese caso los modos de fallo críticos son los modos (f) y (k).

- 3 En doble cortadura, el subíndice 1 corresponde a las piezas laterales y el subíndice 2 a la pieza central.
- 4 En las expresiones 8.6 a 8.15, el primer sumando del lado derecho de la ecuación es la capacidad de carga calculada de acuerdo con la teoría de plastificación de Johansen, mientras que el segundo sumando, $F_{ax,Rk}/4$, es la contribución del efecto de rozamiento a la extracción. La contribución de este último efecto se limita a un porcentaje de la parte debida a Johansen cuyo valor es el siguiente:
 - a) clavos de sección circular: 15 %;
 - b) clavos de sección rectangular: 25 %;
 - c) otros clavos: 50 %;
 - d) tirafondos: 100 %;
 - e) pernos: 25 %;
 - f) pasadores: 0 %.
- 5 En uniones a simple cortadura, el valor característico de la capacidad de carga al arranque, $F_{ax,Rk}$, se toma como el más bajo de los correspondientes a las capacidades de carga de las dos piezas.
- 6 El valor característico de la resistencia al aplastamiento, $f_{h,k}$, se determinará de acuerdo con las normas UNE EN 383 y UNE EN 14358, salvo que se indique un procedimiento en este capítulo.
- 7 El valor característico del momento plástico, $M_{y,Rk}$, se determinará de acuerdo con las normas UNE EN 409 y UNE EN 14358.
- 8 Los diferentes modos de fallo, correspondientes a cada expresión, se representan gráficamente en la figura 8.2.

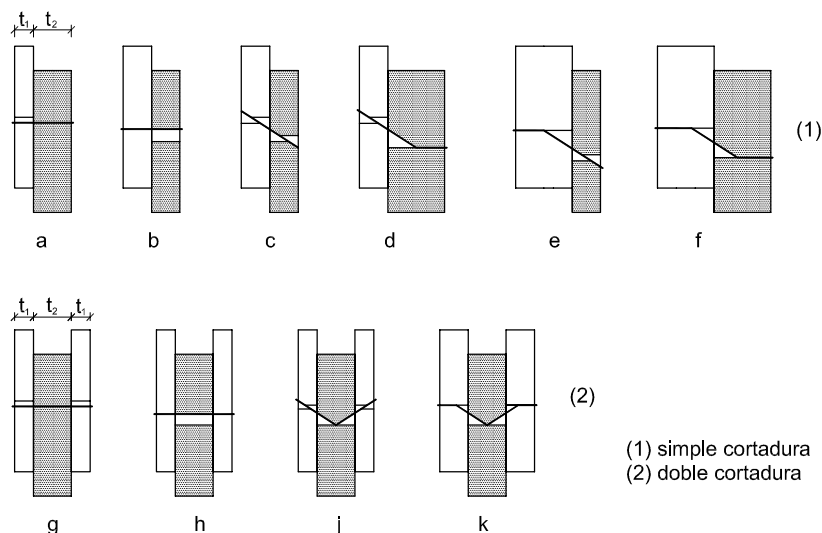


Figura 8.2 Modos de fallo en uniones madera – madera y madera - tablero.

8.3.1.2 Uniones acero-madera

- 1 El valor característico de la capacidad de carga de las uniones entre acero y madera depende del espesor de las placas de acero. Las placas con espesor menor o igual que $0,5 \cdot d$ se clasifican como placas delgadas y las placas con espesor mayor o igual que d , con una tolerancia en el diámetro del agujero inferior a $0,1 \cdot d$, se clasifican como placas gruesas. El valor característico de la capacidad de carga de las uniones con placas de acero con grueso intermedio entre las delgadas y las gruesas debe calcularse mediante interpolación lineal entre ambos casos.
- 2 Debe comprobarse la resistencia de la propia placa de acero.
- 3 Simple cortadura:

- a) placa delgada ($t \leq 0,5 \cdot d$);

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad (8.17)$$

$$(8.18)$$

- b) placa gruesa ($t \geq d$).

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad (8.19)$$

$$(8.20)$$

$$f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \quad (8.21)$$

- 4 Doble cortadura:

- a) pieza central de acero de cualquier espesor;

$$(8.22)$$

$$(8.23)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right| \quad (8.22)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right| \quad (8.23)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right| \quad (8.24)$$

b) pieza central de madera:

i) placa delgada ($t \leq 0,5 \cdot d$);

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right| \quad (8.25)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right| \quad (8.26)$$

ii) placa gruesa ($t \geq d$).

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right| \quad (8.27)$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{l} 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right| \quad (8.28)$$

siendo:

$F_{v,Rk}$ capacidad de carga por plano de corte y elemento de fijación

d diámetro del elemento de fijación;

t_i espesor del tablero o de la pieza o profundidad de penetración, referida a la pieza 1 o 2, véanse apartados 8.3.2 a 8.3.6;

$f_{h,i,k}$ resistencia característica al aplastamiento en la pieza i ;

$M_{y,Rk}$ momento plástico característico, véanse apartados 8.3.2 a 8.3.6.

5 Los diferentes modos de fallo, correspondientes a cada expresión, se representan gráficamente en la figura 8.3.

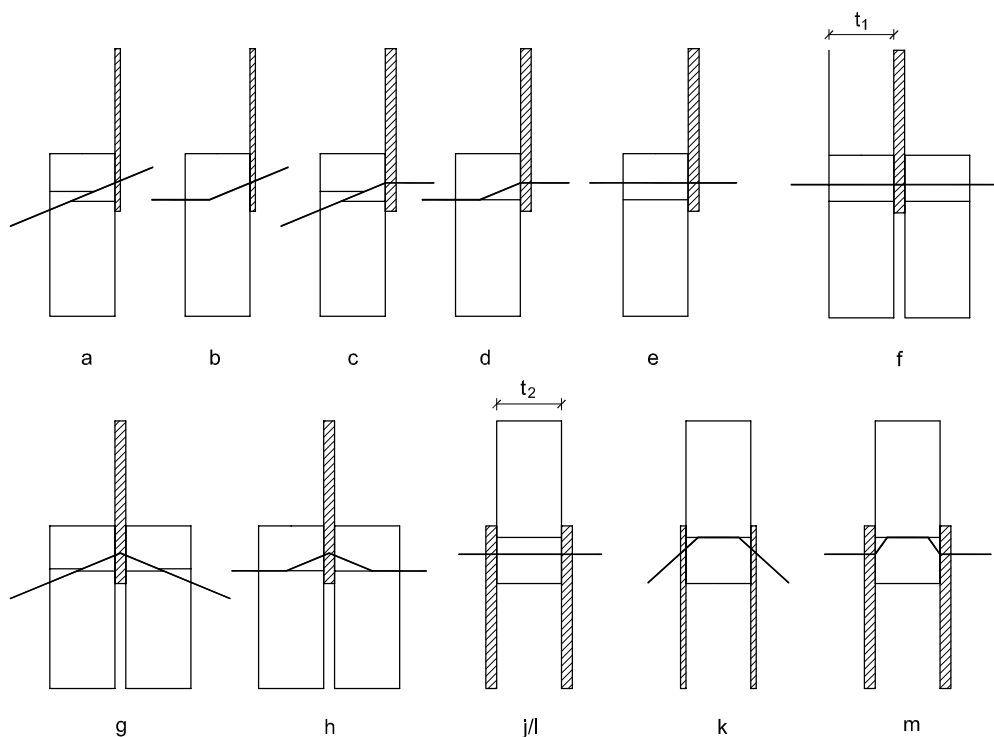


Figura 8.3 Modos de fallo en las uniones entre acero y madera.

- 6 Debe tenerse en cuenta que la capacidad de carga de las uniones entre acero y madera con la testa cargada puede reducirse por el posible fallo del perímetro que recoge al grupo de elementos de fijación.

Nota: En el anejo H (informativo) se incluye un método para determinar la resistencia de un grupo de elementos de fijación por fallo en el perímetro.

8.3.2 Clavos

8.3.2.1 Carga lateral

8.3.2.1.1 Principios generales

- 1 La capacidad de carga lateral se obtiene mediante la aplicación de las reglas definidas en el apartado 8.3.1, con el siguiente significado de los símbolos:
- t_1 en simple cortadura es el espesor de la pieza correspondiente a la cabeza del clavo o en doble cortadura es el menor valor de los dos siguientes: espesor de la pieza de cabeza o penetración en la pieza de punta, figura 8.4.
 - t_2 penetración en la pieza de punta en simple cortadura o espesor de la pieza central en doble cortadura.

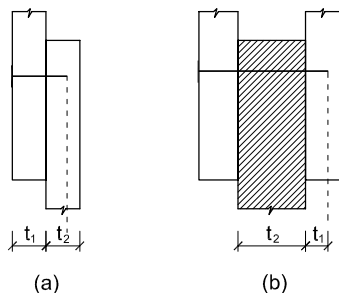


Figura 8.4 Definición de t_1 y t_2 . a) simple cortadura, b) doble cortadura.

- 2 Cuando la densidad característica de la madera sea superior o igual a 500 kg/m³ o cuando el diámetro del clavo sea mayor que 8 mm, debe realizarse un pretaladro en la madera.
- 3 En clavos de sección cuadrada, se tomará como diámetro d el lado del cuadrado.
- 4 Momento plástico.

En clavos comunes de fuste liso de alambre de acero con una resistencia mínima a tracción del alambre con el que están fabricados de 600 N/mm², el momento plástico característico se determinará según las expresiones siguientes:

$$M_{y,Rk} = \frac{f_u}{600} \cdot 180 \cdot d^{2,6} \quad \text{para clavos de sección circular} \quad (8.29)$$

$$M_{y,Rk} = \frac{f_u}{600} \cdot 270 \cdot d^{2,6} \quad \text{para clavos de sección cuadrada} \quad (8.30)$$

siendo:

$M_{y,Rk}$ valor característico del momento plástico, [N·mm];
 d diámetro o lado de la sección del clavo, [mm];
 f_u resistencia a tracción del alambre, [N/mm²].

- 5 En clavos introducidos con taladro previo, la separación a_1 , figura 8.7, puede reducirse hasta un mínimo de $4 \cdot d$, si la capacidad de carga se reduce por el factor siguiente:

$$k_r = \frac{a_1}{(4 + 3 \cdot |\cos \alpha|) \cdot d} \quad (8.31)$$

En uniones con clavos alineados con la dirección de la fibra y sometidos a una componente de la fuerza paralela a la fibra, a no ser que los clavos de esa fila estén colocados al tresbolillo con un desfase de al menos $1 \cdot d$ (véase figura 8.5), la capacidad de carga debe calcularse tomando como número eficaz de clavos el siguiente:

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (8.32)$$

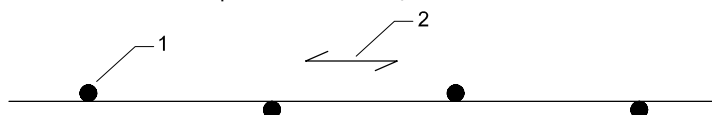
siendo:

n_{ef} número eficaz de clavos alineados con la carga y la fibra;
 n número de clavos alineados;
 k_{ef} factor definido en la tabla 8.1.

Tabla 8.1 Valores de k_{ef} .

Separación	k_{ef}	
	Sin pretaladro	Con pretaladro
$a_1 \geq 14 \cdot d$	1,00	1,00
$a_1 = 10 \cdot d$	0,85	0,85
$a_1 = 7 \cdot d$	0,70	0,70
$a_1 = 4 \cdot d$	-	0,50

Para separaciones intermedias se admite una interpolación lineal de k_{ef} .



Leyenda:

- 1 Elementos de fijación
- 2 Dirección de la fibra

Figura 8.5 Clavos en una fila paralela a la fibra desplazados transversalmente una dimensión igual a d .

- 6 Cuando la fuerza se ejerza con un ángulo respecto a la dirección de la fibra debe verificarse que la componente de la fuerza paralela a la fibra es menor o igual a la capacidad de carga calculada de acuerdo con el apartado 8.3.2.1.1.
- 7 El número mínimo de clavos en una unión será de 2.
- 8 Disposiciones constructivas:
 - a) salvo que se especifique de otro modo, los clavos deben introducirse en dirección perpendicular a la de la fibra y profundizarán de tal forma que la superficie de la cabeza quede enrasada con la de la madera;
 - b) salvo que se especifique de otro modo, los clavos de oído (oblicuos) deben ajustarse a las indicaciones de la figura 8.8.b;
 - c) el diámetro del pretaladro no debe exceder $0,8 \cdot d$.

8.3.2.1.2 Uniones con clavos entre madera y madera

1 Resistencia al aplastamiento.

La resistencia característica al aplastamiento en clavos con diámetro menor o igual a 8 mm y para cualquier ángulo con respecto a la fibra, puede obtenerse de las expresiones siguientes:

$$a) \text{ sin taladro previo: } f_{h,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (8.33)$$

$$b) \text{ con taladro previo: } f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k \quad (\text{N/mm}^2) \quad (8.34)$$

siendo:

ρ_k densidad característica de la madera, $[\text{kg/m}^3]$;
 d diámetro del clavo, $[\text{mm}]$.

2 Solape de clavos.

- a) En clavos de fuste liso la penetración en la pieza de punta debe ser de al menos $8 \cdot d$. En clavos de otro tipo, como se definen en la norma UNE EN 14545, la penetración en la pieza de punta debe ser al menos igual a $6 \cdot d$.
- b) En uniones del tipo de la representada en la figura 8.6, los clavos introducidos desde ambas caras pueden solapar en la pieza central, siempre que la distancia $(t - t_2)$ sea mayor que $4 \cdot d$.

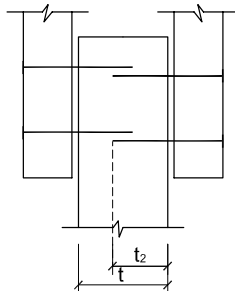


Figura 8.6 Solape de clavos.

3 Clavos en la testa de la pieza.

- a) En general, no se admite capacidad resistente para los clavos de fuste liso introducidos en la testa de la pieza. Cuando se utilicen clavos de fuste liso en la testa en estructuras secundarias, como por ejemplo para la fijación de una pieza de cabecero de los pares de una cubierta, el valor de cálculo de su capacidad de carga se tomará igual a $1/3$ del valor correspondiente a un clavado normal.

b) En clavos que no son de fuste liso, como se definen en la norma UNE EN 14545, colocados en la testa de la pieza, se tomará como capacidad de carga de cálculo 1/3 del valor correspondiente a un clavado normal, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- los clavos se encuentran sometidos exclusivamente a carga lateral;
- al menos existen tres clavos por unión;
- la penetración en la pieza de punta es como mínimo igual a 10·d;
- la unión no está expuesta a las condiciones de la clase de servicio 3;
- se cumplen los valores de separación de la tabla 8.2.

4 Separaciones y distancias mínimas.

Las separaciones y distancias mínimas se dan en la tabla 8.2, con las definiciones incluidas en la figura 8.7.

Tabla 8.2 Uniones con clavos en madera-madera con carga lateral. Separaciones y distancias mínimas.

Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Distancia mínima		
		Sin pretaladro		Con pretaladro
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
A ₁ (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm}; (5+5 \cos \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (5+7 \cos \alpha)d$	$(7+8 \cos \alpha)d$	$(4+ \cos \alpha)d$
A ₂ (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	5d	7d	$(3+ \sin \alpha)d$
A _{3,t} (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+5 \cos \alpha)d$	$(15+5 \cos \alpha)d$	$(7+5 \cos \alpha)d$
A _{3,c} (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	10d	15d	7d
A _{4,t} (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm}; (5+2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (5+5 \sin \alpha)d$	$d < 5 \text{ mm}; (7+2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (7+5 \sin \alpha)d$	$d < 5 \text{ mm}; (3+2 \sin \alpha)d$ $d \geq 5 \text{ mm}; (3+4 \sin \alpha)d$
A _{4,c} (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	5d	7d	3d

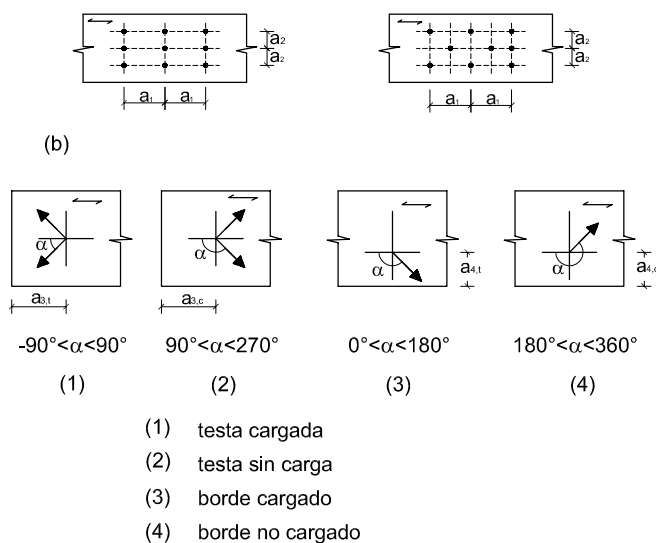


Figura 8.7 Separaciones, distancias y ángulo α .

5 Pretaladro.

Debe realizarse pretaladrado cuando el espesor de las piezas de madera sea menor que,

$$t = \max \left| \begin{array}{l} 7 \cdot d \\ (13 \cdot d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} \end{array} \right| \quad (8.35)$$

siendo:

t espesor mínimo, [mm];

- ρ_k densidad característica de la madera, [kg/m³];
 d diámetro del clavo, [mm].

8.3.2.1.3 Uniones clavadas entre tablero y madera

1 Resistencia al aplastamiento.

- las reglas que figuran a continuación son aplicables en clavos cuya cabeza tenga un diámetro mayor o igual a $2 \cdot d$;
- la resistencia característica al aplastamiento en uniones clavadas en tablero contrachapado puede obtenerse de la expresión siguiente:

$$f_{h,k} = 0,11 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} \quad (8.36)$$

siendo:

- $f_{h,k}$ resistencia característica al aplastamiento, [N/mm²];
 ρ_k densidad característica del tablero contrachapado, [kg/m³];
 d diámetro del clavo, [mm].

- la resistencia característica al aplastamiento en uniones clavadas en tablero de fibras duro de acuerdo con la norma UNE EN 622-2, puede obtenerse de la expresión siguiente:

$$f_{h,k} = 30 \cdot d^{-0,3} \cdot t^{-0,6} \quad (8.37)$$

siendo:

- $f_{h,k}$ resistencia característica al aplastamiento, [N/mm²];
 d diámetro del clavo, [mm];
 t grueso del tablero, [mm].

- la resistencia característica al aplastamiento en uniones clavadas sobre tableros de partículas y de virutas orientadas (OSB), puede obtenerse de la expresión siguiente:

$$f_{h,k} = 65 \cdot d^{-0,7} \cdot t^{-0,1} \quad (8.38)$$

siendo:

- $f_{h,k}$ resistencia característica al aplastamiento, [N/mm²];
 d diámetro del clavo, [mm];
 t grueso del tablero, [mm].

2 Separaciones y distancias mínimas.

- Las separaciones y distancias mínimas entre clavos serán en general las definidas en la tabla 8.2, multiplicadas por un factor igual a 0,85.
- Las distancias mínimas en tablero contrachapado serán igual a $3 \cdot d$ para bordes (o testas) no cargados y $(3 + 4 \sin \alpha) \cdot d$, para bordes (o testas) cargadas.

8.3.2.1.4 Uniones clavadas entre acero y madera

1 Separación y distancias mínimas.

Las distancias mínimas serán las indicadas en la tabla 8.2. Las separaciones mínimas entre clavos serán las de la tabla 8.2 multiplicadas por un factor igual a 0,7.

8.3.2.2 Carga axial (arranque)

- Los clavos de fuste liso no deben utilizarse para resistir esfuerzos axiales de duración permanente o larga.
- Normalmente no se considera capacidad alguna de transmisión de esfuerzos axiales en los clavos colocados en la testa de la pieza.

3 Capacidad de carga al arranque.

- a) La capacidad de carga característica al arranque de clavos introducidos perpendicularmente a la fibra, figura 8.8.a, y para el clavado oblicuo, figura 8.8.b, se tomará como el valor menor de los definidos en las fórmulas siguientes:

i) para clavos que no sean de fuste liso, como se definen en la norma UNE EN 14545:

ii)

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} & \text{a)} \\ f_{head,k} \cdot d_h^2 & \text{b)} \end{cases} \quad (8.39)$$

iii) para clavos de fuste liso:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} & \text{a)} \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 & \text{b)} \end{cases} \quad (8.41)$$

siendo:

- $f_{ax,k}$ resistencia característica al arranque en la pieza de la punta;
- $f_{head,k}$ resistencia característica al hundimiento en la pieza de cabeza;
- d diámetro del clavo, de acuerdo con el apartado 8.3.2.1.1;
- t_{pen} longitud de la penetración en la pieza de punta o longitud de la parte corrugada que se encuentra en la pieza de punta, [mm];
- t grueso de la pieza o longitud de la parte corrugada en la pieza de cabeza, [mm];
- d_h diámetro de la cabeza del clavo, [mm].

- b) Los valores característicos, $f_{ax,k}$ y $f_{head,k}$, deben determinarse de acuerdo con las normas UN-EN 1382, UNE EN 1383 y UNE EN 14358, a no ser que se especifique a continuación.

- c) Los valores característicos para la resistencia de arranque y hundimiento de la cabeza del clavo, para clavos de fuste liso con una penetración en la pieza de punta de al menos $12 \cdot d$, se definen en las expresiones siguientes:

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \quad (8.42)$$

$$f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \cdot \rho_k^2 \quad (8.43)$$

siendo:

- ρ_k densidad característica de la madera, [kg/m³];
- d_h diámetro de la cabeza, [mm].

- d) En madera colocada con un contenido de humedad cercano al punto de saturación de la fibra, y que probablemente se secará bajo carga, los valores de $f_{ax,k}$ y $f_{head,k}$ deben multiplicarse por 2/3.

- e) En clavos corrugados sólo se considera capaz de transmitir carga axial a la parte corrugada.

NOTA.- Las fórmulas (a) corresponden a la resistencia al arranque del clavo en la pieza que recibe la punta, y las fórmulas (b) corresponden a la resistencia al hundimiento de la cabeza del clavo.

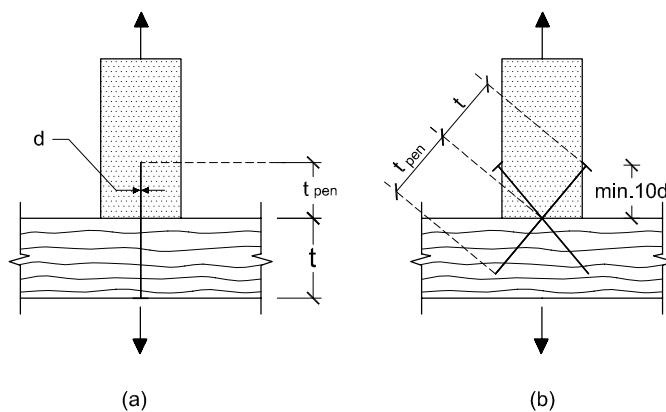


Figura 8.8, a y b Clavado perpendicular (a) y oblicuo (b)

4 Longitud mínima de penetración:

- en clavos de fuste liso la penetración en la pieza de punta t_{pen} , debe ser al menos $8 \cdot d$. Si la penetración en la pieza de punta fuera inferior a $12 \cdot d$ la capacidad de carga al arranque debe reducirse por el factor $*t_{pen}/4d - 2*$;
- en clavos corrugados la penetración en la pieza de punta debe ser al menos $6 \cdot d$. Si la penetración en la pieza de punta es inferior a $8 \cdot d$ la capacidad de carga al arranque debe reducirse por el factor $*t_{pen}/2d - 3*$.

5 Separaciones y distancias mínimas:

- las separaciones y distancias mínimas para clavos cargados axilmente serán las mismas que para los clavos cargados lateralmente. Para los clavos introducidos oblicuamente la distancia al borde cargado debe ser al menos igual a $10 \cdot d$, figura 8.8.b;
- al menos existirán dos clavos en una unión de clavado oblicuo.

8.3.2.3 Clavos sometidos a carga combinada lateral y axial1 En uniones con una combinación de carga axial, ($F_{ax,Ed}$) y lateral ($F_{v,Ed}$), deben cumplirse las siguientes condiciones:

- a) para clavos de fuste liso:

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad (8.44)$$

- b) para clavos que no sean de fuste liso, como se definen en la norma UNE EN 14547:

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (8.45)$$

siendo:

$F_{ax,Ed}$ y $F_{v,Ed}$ capacidades de cálculo de la unión cargada con esfuerzo axial o lateral de forma independiente.

8.3.3 Grapas

1 Generalidades:

- a) las reglas recogidas en el apartado 8.3.2 son de aplicación en grapas con patas de sección circular, redondeada o rectangular, con puntas biseladas o apuntadas simétricamente, excepto las reglas relativas a las separaciones, que se incluyen a continuación en el punto 4;
- b) en uniones con una fila de grapas alineadas con la dirección de la fibra y con una componente de la fuerza paralela a la fibra, la capacidad de carga se calculará a partir del número eficaz de elementos de fijación alineados, según el apartado 8.3.2.1.1 (ecuación 8.31);
- c) al menos existirán dos grapas por unión;
- d) en grapas con sección transversal de forma rectangular se tomará como diámetro d , la raíz cuadrada del producto de ambas dimensiones del rectángulo;
- e) en la figura 8.9 se indican otras dimensiones mínimas de las grapas:
 - i) anchura b de la corona de la grapa, $b \geq 6 \cdot d$;
 - ii) la longitud mínima de la penetración en la pieza de punta, t_2 , será de $14 \cdot d$.

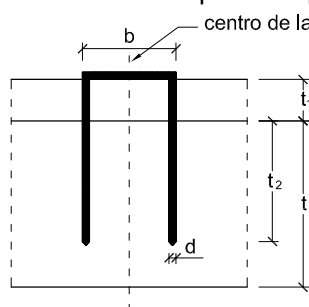


Figura 8.9 Dimensiones de las grapas

2 Capacidad de carga lateral:

- a) la capacidad de cálculo de carga lateral por grapa y por plano de cortadura debe considerarse como la equivalente a dos clavos de diámetro igual al de las patas de la grapa, siempre que el ángulo entre la corona y la dirección de la fibra de la madera bajo la corona sea mayor que 30° , figura 8.10;
- b) si el ángulo entre la corona y la dirección de la fibra bajo la corona es igual o menor a 30° , la capacidad de cálculo de carga lateral debe multiplicarse por un factor igual a 0,7.

3 Momento plástico.

En grapas con una resistencia mínima a tracción del alambre con el que están fabricadas, de 800 N/mm^2 , se utilizará el siguiente valor característico del momento plástico para una pata de la grapa:

$$M_{y,Rk} = 240d^{2,6} \quad (8.46)$$

siendo:

$M_{y,Rk}$ valor característico del momento plástico, [N·mm];
 d diámetro de la pata de la grapa, [mm].

4 Separaciones y distancias mínimas.

Las separaciones y distancias mínimas para uniones con grapas se dan en la tabla 8.3 con referencia a la figura 8.10.

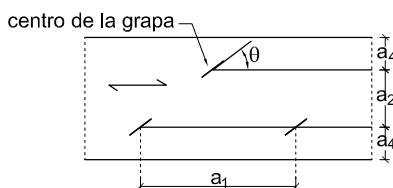


Figura 8.10 Definición de las separaciones en grapas.

Tabla 8.3 Separaciones y distancias mínimas en grapas

Separaciones y distancias (véase figura 8.10)	Ángulo	Separación o distancia mínima
a_1 (paralela a la fibra) para $\theta \geq 30^\circ$ para $\theta < 30^\circ$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(10 + 5 \cos \alpha) \cdot d$ $(15 + 5 \cos \alpha) \cdot d$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$15 \cdot d$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15 + 5 \cos \alpha) \cdot d$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$15 \cdot d$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(15 + 5 \sin \alpha) \cdot d$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$10 \cdot d$

8.3.4 Pernos

8.3.4.1 Carga lateral

8.3.4.1.1 Generalidades

- La capacidad de carga lateral se obtiene mediante la aplicación de las reglas definidas en el apartado 8.3.1, con el siguiente significado de los símbolos, figura 8.11:
 - t_1 en simple cortadura es el espesor de una de las piezas y en doble cortadura el espesor de las piezas laterales;
 - t_2 en simple cortadura es el espesor de la otra pieza y en doble cortadura el espesor de la pieza central.

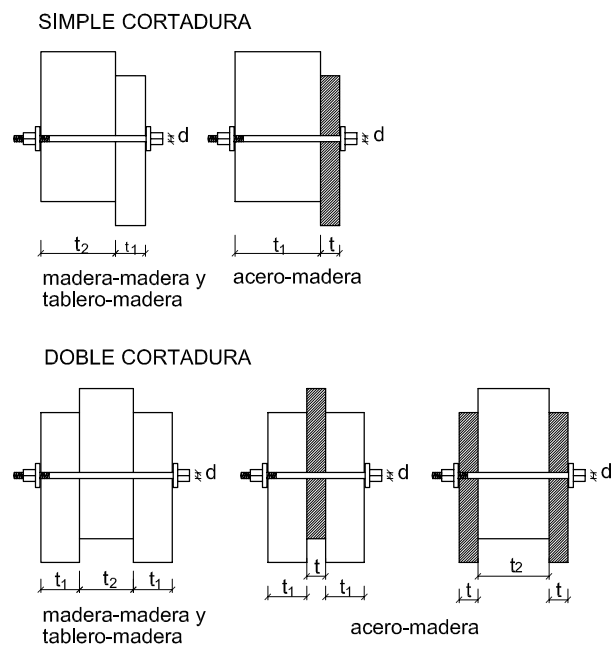


Figura 8.11 Espesores de las piezas en uniones de pernos.

- Las separaciones y distancias mínimas se dan en la tabla 8.4, con las definiciones incluidas en la figura 8.7.
- En uniones con pernos alineados con la dirección de la fibra y sometidos a una componente de la fuerza paralela a la fibra, la capacidad de carga debe calcularse tomando como número eficaz de pernos el menor valor de las expresiones siguientes:

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} \end{array} \right. \quad (8.47)$$

siendo:

n_{ef} número eficaz de pernos alineados con la carga y la fibra;
 n número de pernos alineados;
 a_1 separación en la dirección de la fibra, [mm];
 d diámetro del perno, [mm].

En caso de carga perpendicular a la fibra, el número eficaz de pernos se tomará según la siguiente expresión:

$$n_{ef} = n \quad (8.48)$$

Para cargas con direcciones comprendidas entre 0° y 90° , se interpolará linealmente entre los valores determinados por las ecuaciones (8.47 y 8.48).

Tabla 8.4 Uniones con pernos. Separaciones y distancias mínimas.

Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Separación o distancia mínima
a_1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80\text{mm})$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max([1 + 6 \sin \alpha] d; 4d)$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max([1 + 6 \sin \alpha] d; 4d)$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max([2 + 2 \sin \alpha] d; 3d)$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

4 En pernos de sección circular el valor característico del momento plástico será:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} \quad (8.49)$$

siendo:

$f_{u,k}$ resistencia característica a tracción, [N/mm²].

5 Disposiciones constructivas.

- Los agujeros en la madera para alojar los pernos deben tener un diámetro no mayor de 1 mm que el diámetro del perno. Los agujeros en las placas de acero deben tener un diámetro no mayor de 2 mm o de $0,1 \cdot d$ (el que resulte mayor) que el diámetro del perno.
- Las arandelas bajo la cabeza del perno y bajo la tuerca deben tener un lado (si son cuadradas) o un diámetro mínimo igual a $3 \cdot d$ y un espesor mínimo de $0,3 \cdot d$ (d es el diámetro del perno). La arandela debe tener pleno contacto con la superficie de la pieza.
- Los pernos y tirafondos deben apretarse de tal forma que las piezas queden firmemente unidas, y deben volver a apretarse si fuera necesario cuando la madera alcance su humedad de equilibrio higroscópico, siempre que sea requerido para garantizar la capacidad de carga o rigidez de la estructura.
- El diámetro del perno se elegirá de acuerdo con la tabla 8.4.

Tabla 8.5 Requisitos del diámetro del perno.

Tipo de conector UNE EN 912	d _c (mm)	d mínimo (mm)	d máximo (mm)
A – A5	≤ 130	12	24
A1, A4, A5	> 130	0,1·d _c	24
B		d – 1	d

d_c diámetro del conector, [mm]
d diámetro del perno, [mm].

8.3.4.1.2 Uniones con pernos entre madera y madera

- 1 La resistencia característica al aplastamiento de pernos con diámetros no superiores a 30 mm para un ángulo α entre el esfuerzo y la dirección de la fibra se obtiene de la siguiente expresión:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,o,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.50)$$

siendo:

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d \quad \text{para coníferas} \quad (8.51)$$

$$k_{90} = 0,90 + 0,015 \cdot d \quad \text{para frondosas} \quad (8.52)$$

$$f_{h,o,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k (\text{N/mm}^2) \quad (8.53)$$

donde:

ρ_k densidad característica de la madera, [kg/m³];

d diámetro del perno, [mm].

8.3.4.1.3 Uniones con pernos entre tablero y madera

- 1 La resistencia característica al aplastamiento para cualquier ángulo respecto a la dirección de la fibra en tablero contrachapado será:

$$f_{h,k} = 0,11 (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k (\text{N/mm}^2) \quad (8.54)$$

siendo:

ρ_k densidad característica de la madera, [kg/m³];

d diámetro del perno, [mm].

8.3.4.1.4 Uniones con pernos entre acero y madera

- 1 La capacidad de carga de uniones con pernos entre piezas de acero y madera se calculará de acuerdo con las especificaciones del apartado 8.3.1.2.

8.3.4.2 Carga axial

- 1 La capacidad de carga axial y la capacidad de carga al arranque de un perno debe tomarse como el menor valor de los dos siguientes:
 - a) la capacidad del perno a tracción;
 - b) la capacidad de carga de la arandela o (en el caso de uniones entre acero y madera) la capacidad de la placa de acero.
- 2 La tensión del cálculo de compresión bajo la arandela no debe superar $3 \cdot f_{c,90,k}$.
- 3 La capacidad de carga en el apoyo de una placa de acero debe limitarse a la correspondiente a una arandela circular con un diámetro igual al menor de los dos valores siguientes:
 - a) $12 \cdot t$, siendo t el espesor de la placa;
 - b) $4 \cdot d$, siendo d el diámetro del perno.

8.3.5 Pasadores

- La capacidad de carga lateral se obtiene mediante la aplicación de las reglas definidas en el apartado 8.3.1, con el siguiente significado de los símbolos, con referencia análoga al caso de los pernos en la figura 8.10:
 - t_1 en simple cortadura es el espesor de una de las piezas y en doble cortadura el espesor de las piezas laterales;
 - t_2 en simple cortadura es el espesor de la otra pieza y en doble cortadura el espesor de la pieza central.
- El diámetro mínimo del pasador debe ser de 6 mm y el máximo de 30 mm.
- El valor característico del momento plástico puede obtenerse mediante la aplicación de la ecuación 8.49 definida para los pernos en el apartado 8.3.4.1.1.
- Además son de aplicación los apartados 8.3.4.1.2 (sobre la tensión de aplastamiento) y 8.3.4.1.1 (sobre el número eficaz).
- Las separaciones y distancias mínimas se dan en la tabla 8.6, con las definiciones incluidas en la figura 8.7.

Tabla 8.6 Separaciones y distancias mínimas para pasadores

Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Separación o distancia mínima
a_1 (paralelo a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(3 + 2 \cos \alpha) \cdot d$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\max(a_{3,t} \sin \alpha \cdot d; 3d)$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$3d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$\max(a_{3,t} \sin \alpha \cdot d; 3d)$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha) \cdot d; 3d]$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3d$

6 Disposiciones constructivas:

El diámetro mínimo de los pasadores será de 6 mm. La tolerancia en el diámetro del pasador será de $-0/+0,1$ mm. Los taladros de alojamiento en las piezas de madera deben tener un diámetro no superior al del pasador.

8.3.6 Tirafondos

8.3.6.1 Carga lateral

- En el cálculo de la capacidad de carga el efecto de la parte roscada del tirafondo se tendrá en cuenta utilizando un diámetro eficaz d_{ef} .
- Bajo el supuesto de que existe una garantía de contacto íntimo entre las piezas unidas, se aplican las siguientes consideraciones:
 - En tirafondos con la caña lisa (zona no roscada), cuyo diámetro en la parte roscada es igual al de la caña, se aplican las reglas definidas en el apartado 8.3.1, siempre que:
 - el diámetro eficaz, d_{ef} , se tome como el diámetro de la caña;
 - la penetración en la pieza de punta de la caña no es inferior a $4 \cdot d$.
 - En otros casos, se aplican las reglas definidas en el apartado 8.3.1, siempre que el diámetro eficaz, d_{ef} , se tome igual a $1,1$ veces el diámetro interno de la cuerda (o parte roscada).
- En tirafondos con caña lisa con diámetro $d > 6$ mm, se aplicarán las reglas definidas en el apartado 8.3.4.1 (carga lateral en pernos). En otros diámetros se aplican las reglas definidas en el apartado 8.3.2.1 (carga lateral en clavos).
- Disposiciones constructivas.

- a) En tirafondos colocados en coníferas con un diámetro de la caña menor que 6 mm, no se requiere pretaladro. En tirafondos con diámetro $d \geq 6$ mm, se requiere un pretaladro, con los requisitos siguientes:
 - i) el orificio de alojamiento de la caña tendrá el mismo diámetro que la caña y la misma profundidad que la longitud de la parte no roscada;
 - ii) el orificio de alojamiento de la cuerda (parte roscada) debe tener un diámetro de aproximadamente el 70 % del diámetro de la caña.
- b) En maderas con densidades superiores a 500 kg/m^3 , el diámetro del pretaladro debe determinarse mediante ensayos.

8.3.6.2 Carga axial

- 1 Para la determinación de la capacidad de carga de uniones con tirafondos cargados axialmente deben comprobarse los siguientes modos de fallo:
 - a) la capacidad al arranque de la parte roscada del tirafondo;
 - b) en tirafondos utilizados en combinación con placas de acero la capacidad de carga de desgarro de la cabeza del tirafondo debe ser mayor que la resistencia a tracción del tirafondo;
 - c) la resistencia de la cabeza contra la perforación o punzamiento;
 - d) la resistencia a tracción del tirafondo;
 - e) en tirafondos utilizados en combinación con placas de acero, el fallo por el perímetro de un grupo de tirafondos (fallo de bloque de cortante).
- 2 Las separaciones y distancias mínimas se indican en la tabla 8.7.

Tabla 8.7 Separación y distancia mínima para tirafondos con carga axial

Tirafondos insertados	Separación mínima	Distancia mínima al borde
perpendicularmente a la dirección de la fibra	4d	4d
en la testa	4d	2,5d

- 3 La penetración mínima en la pieza de punta de la parte roscada debe ser igual a 6·d; sin embargo, la longitud eficaz de penetración, l_{ef} , utilizada en los cálculos debe tornarse igual a la longitud en la pieza de punta menos un diámetro.
- 4 El valor característico de la capacidad de arranque de conexiones con tirafondos cargados axialmente debe obtenerse de la siguiente expresión:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef}) \cdot 0,8 \cdot f_{v,ax,\alpha,k} \quad (8.55)$$

siendo:

- $F_{ax,\alpha,Rk}$ valor característico de la capacidad de arranque de la conexión, para un ángulo \forall ;
 n_{ef} número eficaz de los tirafondos;
 d diámetro exterior medido en la parte roscada;
 l_{ef} longitud de penetración en la pieza de punta de la parte roscada menos un diámetro;
 $f_{v,ax,\alpha,k}$ valor característico de la resistencia al arranque con un ángulo α con respecto a la dirección de la fibra.

- 5 El valor característico de la resistencia al arranque con un ángulo α con respecto a la dirección de la fibra debe tomarse como:

$$f_{v,ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cos^2 \alpha} \quad (8.56)$$

siendo:

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \rho_k^{1,5} \quad (8.57)$$

donde:

- $f_{ax,\forall,k}$ valor característico de la resistencia al arranque para un ángulo de 90° con la dirección de la fibra;
 $f_{ax,k}$ valor característico de la resistencia al arranque en dirección perpendicular a la fibra;
 ρ_k valor característico de la densidad, [kg/m³].

NOTA.- Los modos de fallo en el acero o en la madera que rodea el tirafondo son frágiles, es decir, con deformaciones últimas pequeñas y por tanto, con pocas posibilidades de redistribución de las tensiones.

- 6 La capacidad de carga al punzonamiento de la cabeza debe determinarse mediante ensayos de acuerdo con la norma UNE EN 1383.
- 7 En una conexión con un grupo de tirafondos cargados con una componente de la fuerza paralela a la caña, el número eficaz de tirafondos está definido por la siguiente expresión:

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (8.58)$$

siendo:

- n_{ef} número eficaz de tirafondos;
 n número tirafondos actuando conjuntamente en la unión.

8.3.6.3 Combinación de carga lateral y axial

- 1 En uniones con tirafondos sometidos a una combinación de carga axial y lateral debe aplicarse la ecuación 8.45.

8.4 Uniones con conectores

8.4.1 Conectores de anillo o de placa

- 1 En uniones realizadas con conectores de anillo de tipo A (madera-madera) o conectores de placa de tipo B (acero-madera) según norma UNE EN 912, y con diámetro no mayor que 200 mm, el valor característico de la capacidad de carga para una fuerza paralela a la fibra, $F_{v,0,Rk}$, por conector y por plano de cortadura se obtiene de la siguiente expresión:

$$F_{v,0,Rk} = \min \begin{cases} k_1 k_2 k_3 k_4 (35 \cdot d_c^{1,5}) \\ k_1 k_3 h_e (31,5 \cdot d_c) \end{cases} \quad (8.59)$$

siendo:

- $F_{v,0,Rk}$ valor característico de la capacidad de carga paralela a la fibra, en N;
 d_c diámetro del conector, [mm];
 h_e profundidad de inserción, [mm];
 k_i factores de modificación, con $i = 1$ a 4, definidos a continuación.

NOTA.- El primer término de la expresión (8.59) representa el fallo por cortadura y el segundo el fallo por aplastamiento.

- 2 El espesor mínimo de las piezas externas de madera debe ser igual a $2,25 \cdot h_e$, y el de la pieza interna de madera debe ser igual a $3,75 \cdot h_e$, donde h_e es la profundidad de inserción, véase figura 8.12.

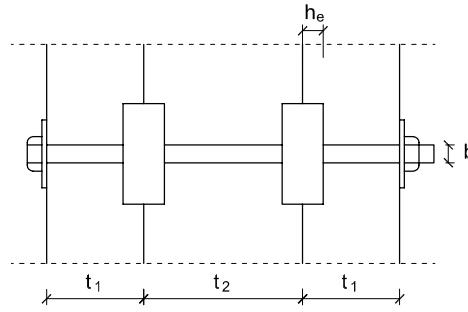


Figura 8.12 Espesores mínimos de las piezas.

- 3 El factor k_1 , depende de los espesores de las piezas t_1 y t_2 y de la profundidad de inserción h_e de la unión, y su valor se define en la siguiente expresión:

$$k_1 = \min \begin{cases} 1 \\ t_1 / 3h_e \\ t_2 / 5h_e \end{cases} \quad (8.60)$$

- 4 El factor k_2 depende de la distancia a la testa cargada $a_{3,t}$ de la unión y se aplica únicamente en uniones con testa cargada (es decir, $-30^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$), y se obtiene de la siguiente expresión:

$$k_2 = \min \begin{cases} k_a \\ \frac{a_{3,t}}{2d_c} \end{cases} \quad (8.61)$$

$k_a = 1,25$ en uniones con un conector por plano de cortadura

$k_a = 1,00$ en uniones con más de un conector por plano de cortadura

$a_{3,t}$ se define en la tabla 8.8.

(8.62)

Para otros valores de α , el factor k_2 se tomará igual a 1,0.

- 5 El factor k_3 depende de la densidad de la madera y se obtiene de la siguiente expresión:

$$k_3 = \min \begin{cases} 1,75 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{cases} \quad (8.63)$$

siendo:

ρ_k valor característico de la densidad de la madera, $[\text{kg/m}^3]$.

- 6 El factor k_4 depende de los materiales unidos, y toma los siguientes valores:

$k_4 = 1,0$ para uniones madera-madera; (8-64)

$k_4 = 1,1$ para uniones acero-madera. (8.65)

- 7 En las uniones con un solo conector por plano de cortadura trabajando sin que exista testa cargada ($150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$), la primera condición de la ecuación 8.59 puede despreciarse.

- 8 El valor característico de la capacidad de carga para una fuerza que forma un ángulo α con la dirección de la fibra, $F_{\alpha,Rk}$, por conector y por plano de cortadura debe calcularse con la siguiente expresión:

$$F_{\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.66)$$

con:

$$k_{90} = 1,3 + 0,001 \cdot d_c \quad (8.67)$$

siendo:

$F_{v,0,Rk}$ valor característico de la capacidad de carga de un conector sometido a una fuerza paralela a la fibra, definido anteriormente;
 d_c diámetro del conector, [mm].

- 9 Las separaciones y distancias mínimas deben ajustarse a las especificaciones de la tabla 8.8, con los símbolos definidos en la figura 8.7.

Tabla 8.8 Separaciones y distancias mínimas para conectores de anillo y de placa.

Separaciones y distancias (véase figura 6.3.2.1b)	Ángulo	Distancia mínima
a_1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,8 \cos \alpha) \cdot d_c$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$1,5 \cdot d_c$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,4 + 1,6 \sin \alpha) \cdot d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,4 + 1,6 \sin \alpha) \cdot d_c$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \sin \alpha) \cdot d_c$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 \cdot d_c$

- 10 Cuando los conectores se disponen al tresbolillo (véase figura 8.13), las distancias mínimas de separación paralela y perpendicular a la fibra, respectivamente, deben cumplir la condición expresada en la ecuación siguiente:

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1 \quad (8.68)$$

con

$$0 \leq k_{a1} \leq 1$$

$$0 \leq k_{a2} \leq 1$$

siendo:

k_{a1} factor de reducción de la distancia mínima paralela a la fibra;

k_{a2} factor de reducción de la distancia mínima perpendicular a la fibra.

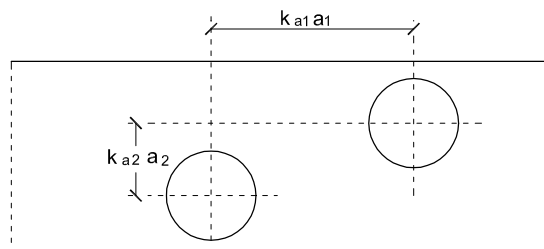


Figura 8.13 Distancias reducidas en conectores.

- 11 La distancia paralela a la fibra $k_{a1} \cdot a_1$ puede, además, reducirse hasta un 50 %, siempre que la capacidad de carga se reduzca proporcionalmente hasta el 40 %.

- 12 Cuando existe una fila de conectores dispuestos paralelos a la fibra y se encuentran cargados con una fuerza paralela a la fibra, el número eficaz de conectores se obtendrá de la siguiente expresión:

$$n_{ef} = 2 + (1 - n/20) \cdot (n - 2) \quad (8.69)$$

siendo:

n_{ef} número eficaz de conectores;

n número de conectores situados en una línea paralela a la fibra.

Los conectores se consideran alineados con la fibra cuando $k_{a2} \cdot a_2 < 0,5 \cdot k_{a1} \cdot a_1$.

8.4.2 Conectores dentados

- El valor característico de la capacidad de carga de uniones realizada con conectores dentados debe obtenerse como suma del valor característico de la capacidad de carga de los conectores propiamente y de los pernos que acompañan, de acuerdo con el apartado 8.3.4.1.
- El valor característico de la capacidad de carga, $F_{v,Rk}$, por conector del tipo C según norma UNE EN 912 (de simple cara: tipos C1 a C9, de doble cara: tipos C10 y C11) debe calcularse según la siguiente expresión:

$$F_{v,Rk} = 18 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1,5} \quad \text{para los tipos C1 a C9} \quad (8.70)$$

$$F_{v,Rk} = 25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1,5} \quad \text{para los tipos C10 a C11} \quad (8.71)$$

siendo:

$F_{v,Rk}$ valor característico de la capacidad de carga por cada conector dentado;

k_i factores de modificación, con $i = 1$ a 3, definidos a continuación;

d_c - diámetro del conector dentado para los tipos C1, C2, C6, C7, C10 y C11, [mm];

- lado del conector dentado para los tipos C5, C8 y C9, [mm];

- raíz cuadrada del producto de los lados para los tipos C3 y C4, [mm].

- Respecto a los espesores mínimos de las piezas se aplica el apartado 8.4.1.
- El factor k_1 depende del espesor de la madera y su valor es el siguiente:

$$k_1 = \min \left| \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3 \cdot h_e} \\ \frac{t_2}{5 \cdot h_e} \end{array} \right| \quad (8.72)$$

siendo:

t_1 espesor de la pieza lateral;

t_2 espesor de la pieza central;

h_e profundidad de penetración del dentado.

- El factor k_2 depende de la distancia a la testa, $a_{3,t}$, y su valor es el siguiente:
 - para los tipos C1 a C9:

$$k_2 = \min \left| \begin{array}{l} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{1,1 \cdot d_c} \end{array} \right| \quad (8.73)$$

con

$$a_{3,t} = \max \begin{cases} 1,1 \cdot d_c \\ 7 \cdot d \\ 80\text{mm} \end{cases} \quad (8.74)$$

siendo:

d diámetro del perno, [mm].

b) para los tipos C10 y C11:

$$k_2 = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{2,0 \cdot d_c} \end{cases} \quad (8.75)$$

siendo

$$a_{3,t} = \max \begin{cases} 1,5 \cdot d_c \\ 7 \cdot d \\ 80\text{mm} \end{cases} \quad (8.76)$$

donde:

d diámetro del perno, [mm].

6 El factor k_3 depende de la densidad de la madera y su valor es el siguiente:

$$k_3 = \min \begin{cases} 1,5 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{cases} \quad (8.77)$$

siendo:

ρ_k valor característico de la densidad de la madera, [kg/m³].

7 Las distancias y separaciones mínimas para los conectores dentados de tipo C1 a C9 se recogen en la tabla 8.9 con los símbolos referidos en la figura 8.7.

Tabla 8.9 Separación y distancia mínima para conectores dentados de tipo C1 a C9.

Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Distancia mínima
a_1 (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,3 \cos \alpha) \cdot d_c$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2,0 \cdot d_c$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,9 + 0,6 \sin \alpha) \cdot d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,9 + 0,6 \sin \alpha) \cdot d_c$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \sin \alpha) \cdot d_c$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 \cdot d_c$

8 Las distancias y separaciones mínimas para los conectores dentados de tipo C10 y C11 se recogen en la tabla 8.10, con los símbolos referidos en la figura 8.7.

Tabla 8.10 Separación y distancias mínimas para conectores dentados de tipo C10 y C11.

Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Distancia mínima
A ₁ (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,8 \cos \alpha) \cdot d_c$
a ₂ (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
a _{3,t} (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2,0 \cdot d_c$
a _{3,c} (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,4 + 1,6 \sin \alpha) \cdot d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2 \cdot d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,4 + 1,6 \sin \alpha) \cdot d_c$
a _{4,t} (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \sin \alpha) \cdot d_c$
a _{4,c} (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 \cdot d_c$

- 9 Cuando los conectores de tipos C1, C2, C6 y C7 con forma circular se disponen al tresbolillo, las separaciones y distancias mínimas paralela y perpendicular a la fibra, respectivamente, deben cumplir la condición expresada en la ecuación siguiente:

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1 \quad (8.78)$$

con

$$0 \leq k_{a1} \leq 1$$

$$0 \leq k_{a2} \leq 1$$

siendo:

k_{a1} factor de reducción de la distancia mínima paralela a la fibra;

k_{a2} factor de reducción de la distancia mínima perpendicular a la fibra.

- 10 La elección del diámetro del perno y dimensiones de la arandela y otros requisitos para utilizar junto con los conectores dentados se realizará de acuerdo con el apartado 8.3.4.1.1.

8.5 Uniones tradicionales

8.5.1 Generalidades

- Las uniones tradicionales o carpinteras transmiten las fuerzas generalmente mediante tensiones de compresión y de cortante a través de rebajes, cajas y otros mecanizados, entre las superficies de las piezas de madera.
- El cálculo se puede realizar aplicando las indicaciones relevantes del capítulo VI, con alguna precisión que se incluye en los apartados siguientes, que limitan las tensiones de contacto.
- En el apartado 8.6.3 se recoge el planteamiento para la comprobación de los ensambles en barbilla, habituales en la construcción con madera. No obstante, las líneas generales del proceso son aplicables a otros tipos de uniones tradicionales.
- Debe tenerse en cuenta que normalmente las uniones tradicionales no admiten una inversión de los esfuerzos, por lo que debe preverse en su caso los elementos de fijación auxiliares.

8.5.2 Tensiones de compresión localizadas

- En el caso de uniones de empalme a tope en piezas de madera sometidas a compresión (superficie de contacto perpendicular a la fibra) el valor de la resistencia de cálculo $f_{c,0,d}$ (véase apartado 6.1.4), se limitará multiplicándolo por el factor 0,8.
- En el caso de encuentro oblicuo entre las piezas la resistencia a compresión oblicua se deducirá de la ecuación 6.20 del apartado 6.2.1, utilizando un valor de $f_{c,0,d}$ reducido por 0,8.
- En el caso de uniones entre madera y un material rígido o si se insertan cuñas o calzos rígidos (en acero, por ejemplo), se admite no utilizar la reducción indicada en el apartado 8.5.2.
- La deformación admitida en una unión de empalme a tope u oblicua será de 1 a 1,5 mm.

8.5.3 Embarbillados

1 Los ensambles de barbilla indicados en la figura 8.14, deben cumplir las siguientes condiciones:

- Longitud del cogote:
$$a \geq \frac{F_d \cdot \cos \beta}{b \cdot f_{v,d}} \quad (8.79)$$

- Profundidad de la barbilla:
$$t \geq \frac{F_d \cdot \cos \beta}{b \cdot f_{c,\alpha,d}} \quad (8.80)$$

siendo:

$$\alpha = \frac{\beta}{2} \quad (\text{simple embarbillado})$$

$$\alpha = \frac{3}{4} \cdot \beta \quad (\text{doble embarbillado}) \quad y \quad t = t_1 + t_2$$

- Altura de la sección del par:
$$d \geq \frac{F_d}{b \cdot f_{c,\alpha,d}} \quad (8.81)$$

siendo:

$$\alpha = \beta$$

donde:

b anchura de la pieza;

β ángulo entre la fuerza F_d y la dirección de las fibras, figura 8.14;

$f_{v,d}$ valor de cálculo de la resistencia a cortante;

$f_{c,\alpha,d}$ valor de cálculo de la resistencia a compresión oblicua, teniendo en cuenta lo indicado en el apartado 8.5.2.

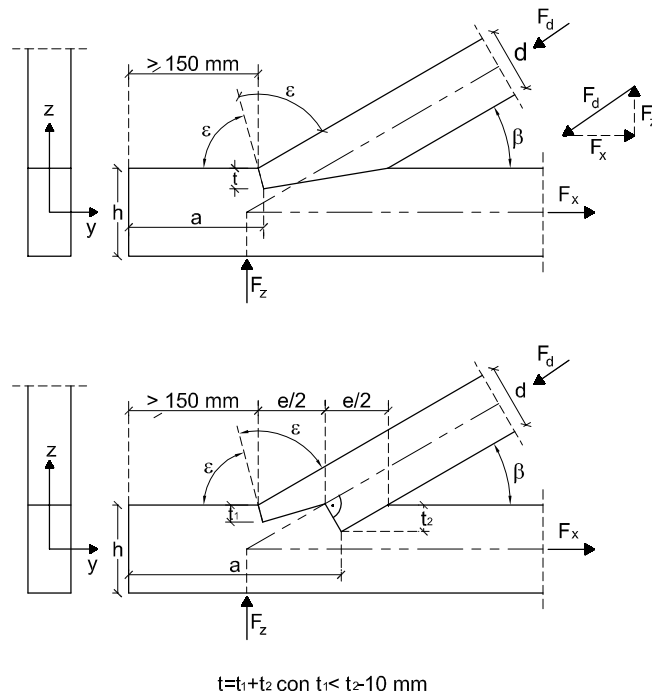


Figura 8.14 Embarbillado simple y doble.

- 2 La profundidad de la barbilla debe cumplir las condiciones establecidas en la tabla 8.11.

Tabla 8.11 Profundidad t , de la barbilla.

Embarbillado simple	Embarbillado doble
$t \leq h/4$ para $\beta \leq 50^\circ$	$t_1 \leq h/6$
$t \leq h/6$ para $\beta \geq 60^\circ$	$t_2 \leq h/4$
Para valores intermedios se interpolará linealmente	Además: $t_1 < t_2 - 10 \text{ mm}$

- 3 La deformación admitida en un ensamble de barbilla será de 1 a 1,5 mm.

9 Fatiga

9.1 Generalidades

- 1 En estructuras o elementos estructurales y particularmente en las uniones sometidas a sollicitaciones alternas bajo el efecto del tráfico, se comprobará que no se alcanza un fallo por fatiga a causa del viento u otras acciones durante la vida prevista de la estructura.
- 2 En las pasarelas peatonales y de ciclistas no es necesaria la comprobación de la fatiga bajo el efecto del tráfico.
- 3 En general no es preciso realizar una comprobación de la fatiga de la estructura. Sin embargo, si es necesario en aquellas estructuras sometidas a vibraciones provocadas por maquinaria o por movimientos rítmicos similares.

9.2 Comprobación de estructuras sometidas a fatiga

- 1 La comprobación se realizará teniendo en cuenta la diferencia de tensiones:

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \quad (9.1)$$

siendo σ_{\max} y σ_{\min} , los valores característicos de las tensiones máxima y mínima bajo el efecto de las sollicitaciones de fatiga.

- 2 Las tensiones se calcularán considerando un comportamiento elástico de la estructura bajo los efectos de las acciones que provocan la fatiga. En el modelo de cálculo se tendrán en cuenta las tensiones secundarias producidas como consecuencia de las deformaciones o distorsiones de las piezas.
- 3 No es necesario realizar una comprobación de la fatiga si $\Delta\sigma$ es inferior al 10 % del valor de cálculo de la resistencia, f_d .
- 4 En el caso de acciones periódicas con n ciclos, es preciso comprobar que la diferencia de tensión $\Delta\sigma$, no supera el valor de cálculo de fatiga, definido en la siguiente expresión:

$$\Delta\sigma \leq k_{\text{fat}} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{\text{M,fat}}} \quad (9.2)$$

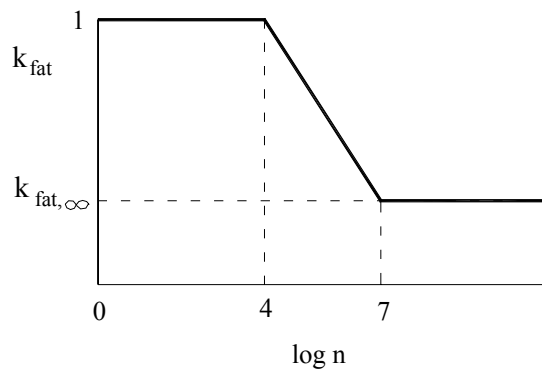
siendo:

f_k valor característico de la resistencia;

k_{fat} coeficiente de fatiga;

$\gamma_{\text{M,fat}}$ coeficiente parcial de comprobación a la fatiga (generalmente, $\gamma_{\text{M,fat}} = 1,0$).

Los valores de k_{fat} se determinarán de acuerdo con la figura 9.1, en la que n es el número de ciclos de carga. Los valores de este coeficiente correspondientes a $k_{\text{fat},\infty}$ se indican en la tabla 9.1.

Figura 9.1 Factor de fatiga, k_{fat} .Tabla 9.1. Factor de fatiga, $k_{fat, \infty}$.

Elemento estructural	Solicitación	$k_{fat, \infty}$
Pieza de madera	Compresión paralela o perpendicular a la fibra	0,60
	- Flexión	0,30
	- Tracción	
	- Alterna entre tracción y compresión	
	- Cortante	0,20
Uniones	- Conectores	0,25
	- Clavos	0,15

5 En el caso de diferencias de tensiones variables $\Delta\sigma_i$, se debe cumplir la siguiente condición:

$$\frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad (9.3)$$

siendo:

n_i número de ciclos de tensiones $\Delta\sigma_i$ durante el periodo de utilización;

N_i número de ciclos de tensiones $\Delta\sigma_i$ que implican la rotura.

10 Sistemas estructurales de madera y productos derivados

10.1 Vigas mixtas

10.1.1 Vigas encoladas

- 1 En los siguientes apartados se establecen las condiciones específicas adicionales que deben cumplir las vigas mixtas encoladas de madera y tablero.

10.1.1.1 Principios generales

- 1 Para el cálculo de las tensiones se admiten leyes lineales de variación de tensiones que se determinarán considerando las secciones como mixtas sin que existan deslizamientos entre almas y alas en los planos de encolado.
- 2 Ha de tenerse en cuenta que el módulo de elasticidad longitudinal medio de la madera y de sus productos derivados varía aparentemente, con el tiempo, como consecuencia de la deformación por fluencia:

- a) en el estado inicial:

$$E_i = E_{\text{medio},i} \quad (10.1)$$

- b) en el estado final:

$$E_{\text{medio},\text{fin}} = \frac{E_{\text{medio},i}}{1 + \psi_2 \cdot k_{\text{def}}} \quad (10.2)$$

siendo:

$E_{\text{medio},i}$ módulo de elasticidad longitudinal medio en el estado inicial;
 ψ_2 coeficiente definido en la norma UNE – EN 1990. Para cargas permanentes $\psi_2 = 1$;
 k_{def} factor de deformación definido en la tabla 7.1.

10.1.1.2 Vigas de alma delgada encolada

- 1 Este tipo de viga esta formada por almas de tablero estructural en la dirección de la luz y alas encoladas, de madera aserrada, laminada encolada o microlaminada.
- 2 En este apartado se consideran las vigas de sección en I (doble T) y la viga-cajón. (Véase figura 10.1).

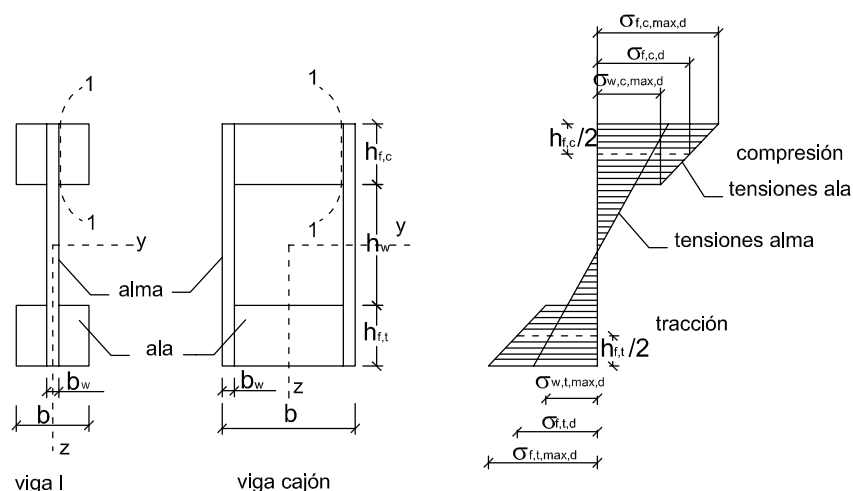


Figura 10.1 Vigas en doble T y cajón de alma delgada

3 Tensiones normales en las alas

Las tensiones normales en las alas, considerando una ley de deformación plana de la sección de la viga, figura 10.1, deben cumplir las siguientes condiciones:

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d} \quad (10.3)$$

$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d} \quad (10.4)$$

$$\sigma_{f,c,d} \leq k_c f_{c,0,d} \quad (10.5)$$

$$\sigma_{f,t,d} \leq f_{t,0,d} \quad (10.6)$$

siendo:

$\sigma_{f,c,max,d}$ tensión de cálculo a compresión en la fibra extrema comprimida del ala;
 $\sigma_{f,t,max,d}$ tensión de cálculo a tracción en la fibra extrema traccionada del ala;
 $\sigma_{f,c,d}$ valor medio de la tensión de cálculo a compresión en el ala;
 $\sigma_{f,t,d}$ valor medio de la tensión de cálculo a tracción en el ala;
 k_c coeficiente de pandeo lateral del ala comprimida de la viga. Puede obtenerse conservadoramente, especialmente para vigas cajón, como se indica en el apartado 6.3.2.2., ecuación 6.36, para $k_{c,z}$, partiendo en este caso de:

$$\lambda_z = \sqrt{12} \cdot \frac{l_c}{b} \quad (10.7)$$

donde:

l_c distancia entre las secciones que tienen impedida la deformación lateral en el ala comprimida;
 b según figura 10.1;
 $f_{m,d}$ resistencia de cálculo a flexión del material que se utiliza para las alas, según el apartado 2.1.3;
 $f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela del material que se utiliza para las alas, según el apartado 2.1.3;
 $f_{t,0,d}$ resistencia de cálculo a tracción paralela del material que se utiliza para las alas, según el apartado 2.1.3.

4 Tensiones normales en el alma:

a) las tensiones normales en el alma deben cumplir las siguientes condiciones:

$$\sigma_{w,c,max,d} \leq f_{c,w,d} \quad (10.8)$$

$$\sigma_{w,t,max,d} \leq f_{t,w,d} \quad (10.9)$$

siendo:

$\sigma_{w,c,max,d}$ tensión de cálculo a compresión en el alma debida a la flexión;
 $\sigma_{w,t,max,d}$ tensión de cálculo a tracción en el alma debida a la flexión;
 $f_{c,w,d}$ resistencia de cálculo a compresión en el alma, debida a la flexión;
 $f_{t,w,d}$ resistencia de cálculo a tracción en el alma, debida a la flexión.

b) salvo que se conozcan las resistencias a compresión y a tracción del tablero trabajando de canto, los valores de $f_{c,w,d}$ y $f_{t,w,d}$ deben tomarse igual a la resistencia de compresión y tracción del tablero trabajando de tabla.

5 Abolladura del alma.

En el caso de no realizarse un análisis detallado de la abolladura del alma debe verificarse que:

$$h_w \leq 70 \cdot b_w \quad (10.10)$$

y

$$F_{v,w,Sd} \leq \begin{cases} b_w \cdot h_w \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot (h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w}\right) \cdot f_{v,0,d} & \text{para } h_w \leq 35 \cdot b_w \end{cases} \quad (10.11)$$

$$F_{v,w,Sd} \leq \begin{cases} 35 \cdot b_w^2 \cdot \left(1 + \frac{0,5 \cdot (h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w}\right) \cdot f_{v,0,d} & \text{para } 35 \cdot b_w \leq h_w \leq 70 \cdot b_w \end{cases} \quad (10.12)$$

siendo:

$h_w, b_w, h_{f,c}$ y $h_{f,t}$ según figura 10.1;
 $F_{v,w,Sd}$ esfuerzo cortante de cálculo, actuando en cada alma;
 $f_{v,0,d}$ ($=f_{v,p,0,d}$) resistencia de cálculo a cortante de cizalladura del tablero del alma.

6 Superficies críticas a tensiones tangenciales de rodadura.

En las secciones 1-1 de la Figura 10.1., superficie de contacto tablero-madera, debe verificarse que:

$$\tau_{medio,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{para } h_f \leq 4 \cdot b_{ef} \\ f_{v,90,d} \cdot \left(\frac{4 \cdot b_{ef}}{h_f} \right)^{0,8} & \text{para } h_f > 4 \cdot b_{ef} \end{cases} \quad (10.13)$$

siendo:

$\tau_{medio,d}$ tensión tangencial de cálculo en la superficie de contacto tablero-madera admitiendo una distribución uniforme de las tensiones tangenciales;
 $f_{v,90,d}$ ($=f_{v,r,p,d}$) resistencia de cálculo a cortante de rodadura en el tablero;
 $h_{f,c}$ o $h_{f,t}$ según figura 10.2;
 $b_{ef} = b_w$ en vigas cajón;
 $b_{ef} = b_w / 2$ en secciones en doble te;
 h_f indistintamente $h_{f,c}$ o $h_{f,t}$, figura 10.1.

7 Para la determinación de la tensión media de rodadura $\tau_{medio,d}$ en vigas mixtas de alma delgada encolada, tipo doble T, figura 10.1, se tomará la mas desfavorable de las expresiones siguientes:

$$\tau_{medio,d} = \frac{F_{v,w,Sd} \cdot S_y}{2 \cdot h_{f,c} \cdot I_y} \quad \text{si } h_{f,c} < h_{f,t} \quad (10.15)$$

$$\tau_{medio,d} = \frac{F_{v,w,Sd} \cdot S_y}{2 \cdot h_{f,t} \cdot I_y} \quad \text{si } h_{f,c} \geq h_{f,t} \quad (10.16)$$

siendo:

$F_{v,w,Sd}$ esfuerzo cortante de cálculo;
 S_y momento estático del ala de la sección homogeneizada, respecto al eje y;
 I momento de inercia de la sección homogeneizada respecto al eje y;
 $h_{f,c}$ y $h_{f,t}$ cantos de las alas (figura 10.1).

8 Condición de los empalmes.

Cuando sea necesario realizar empalmes debe verificarse que tienen la resistencia suficiente.

10.1.1.3 Vigas cajón de alas delgadas encoladas

- 1 Este tipo de vigas esta formada por almas, de madera aserrada, madera laminada encolada o microlaminada en la dirección de la luz y dos paramentos de tableros estructurales encolados que constituyen las alas.
- 2 Para el cálculo se descomponen en secciones eficaces en I (doble T) y en U (véase figura 10.2).
- 3 Se supone que a lo largo de la altura de la viga las tensiones normales se distribuyen linealmente.
- 4 Debe tenerse en consideración la distribución no uniforme de tensiones normales en las alas debidas al retraso por cortante y a la abolladura.

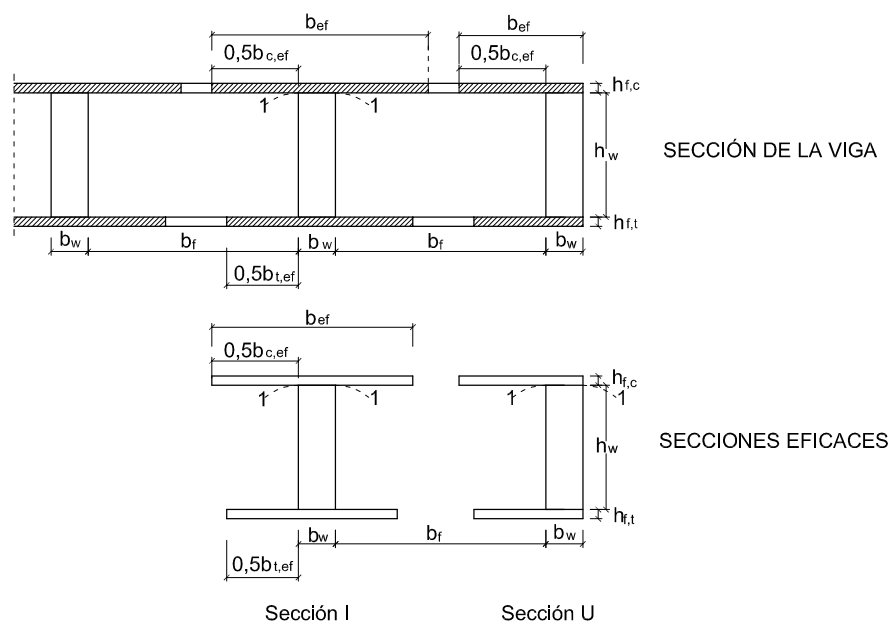


Figura 10.2 Viga cajón de alas delgadas

a) Anchura eficaz de las alas b_{ef} :

i) de no realizarse cálculos más detallados, el conjunto debe considerarse como una serie de vigas con sección en I o en U, figura 10.2, con una anchura eficaz de las alas b_{ef} que debe cumplir las condiciones siguientes:

– en secciones en I (interiores):

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w \quad \text{ala comprimida} \quad (10.17)$$

$$b_{ef} = b_{t,ef} + b_w \quad \text{ala traccionada} \quad (10.18)$$

– en secciones en U (extremos):

$$b_{ef} = 0,5 \cdot b_{c,ef} + b_w \quad \text{ala comprimida} \quad (10.19)$$

$$b_{ef} = 0,5 \cdot b_{t,ef} + b_w \quad \text{ala traccionada} \quad (10.20)$$

ii) los valores máximos de anchuras eficaces de $b_{c,ef}$ y $b_{t,ef}$ no deben superar el valor máximo calculado por flexibilidad frente a esfuerzos rasantes. Además, $b_{c,ef}$ no debe ser mayor que el valor máximo calculado teniendo en cuenta la abolladura del ala. Estos valores máximos se indican en la tabla 10.1.

Tabla 10.1. Valores máximos de anchuras eficaces ($b_{c,ef}$, o $b_{t,ef}$) del ala debidas al efecto del flexibilidad frente a esfuerzos rasantes y a la abolladura

Material del ala	Anchura debida al efecto de:	
	Flexibilidad por rasante	Abolladura
Tablero contrachapado con la dirección de la fibra en las chapas exteriores		
	paralela a las almas	$0,1 \cdot l$
	perpendicular a las almas	$20 \cdot h_f$
Tablero de virutas orientadas (OSB)	$0,15 \cdot l$	$25 \cdot h_f$
Tablero de partículas y tablero de fibras con orientación aleatoria de las partículas	$0,2 \cdot l$	$30 \cdot h_f$

h_f es, según corresponda, $h_{f,c}$ o $h_{f,t}$ (véase figura 10.2)

l luz de la viga

$$\tau_{\text{medio,d}} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{para } b_w \leq 4 \cdot h_f \\ f_{v,90,d} \cdot \left(\frac{4 \cdot h_f}{b_w} \right)^{0,8} & \text{para } b_w > 4 \cdot h_f \end{cases} \quad (10.26)$$

$$(10.27)$$

e) Condición de los empalmes.

Cuando sea necesario realizar empalmes debe verificarse que tienen la resistencia suficiente.

10.1.2 Vigas mixtas unidas con medios de fijación mecánicos

- 1 Si la sección transversal de una pieza está formada de varias partes conectadas con medios mecánicos de fijación debe considerarse el deslizamiento de las uniones.
- 2 Los cálculos deben considerar que entre fuerza y deslizamiento existe una relación lineal.
- 3 En el caso de disponer los medios de fijación a distancias variables entre s_{\min} y s_{\max} ($\leq 4 \cdot s_{\min}$), en la dirección longitudinal, la fuerza rasante puede obtenerse considerando una separación eficaz s_{ef} , definida por la expresión:

$$s_{\text{ef}} = 0,75 \cdot s_{\min} + 0,25 \cdot s_{\max} \quad (10.28)$$

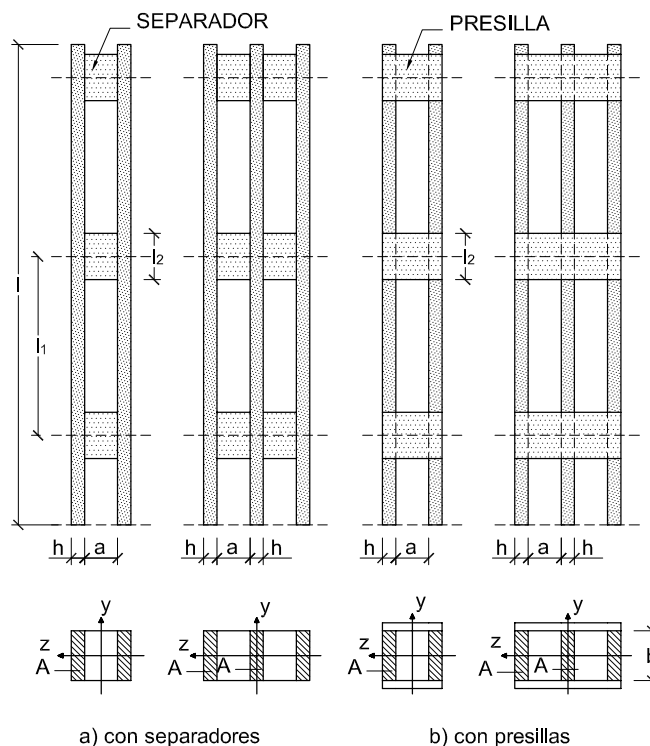
10.2 Soportes compuestos

- 1 Para el cálculo de los soportes compuestos incluidos en este apartado se aplican las hipótesis de cálculo siguientes:
 - a) los soportes son biarticulados de longitud l ;
 - b) los cordones son de una sola pieza con la longitud completa del soporte;
 - c) el soporte está solicitado por una fuerza axial F_c actuando en el centro de gravedad de la sección completa.

10.2.1 Soportes compuestos enlazados por separadores o presillas

- 1 Los tipos de soportes considerados se muestran en la figura 10.3; son soportes formados por varios cordones enlazados con separadores o presillas.

Las uniones pueden realizarse mediante clavos, encolado o pernos con conectores.



Para columnas con dos cordones de área A , el área A_{tot} y el momento de inercia total I_{tot} se determinan según las expresiones siguientes:

$$A_{tot} = 2A$$

$$I_{tot} = b((2h + a)^3 - a^3)/12$$

Para columnas con tres cordones, A_{tot} y I_{tot} se calculan según:

$$A_{tot} = 3A$$

$$I_{tot} = b((3h + 2a)^3 - (h + 2a)^3 - h^3)/12$$

siendo:

A_{tot} y A área total de la sección transversal del soporte y de un cordón, respectivamente.

I_{tot} e I_z momento de inercia respecto al eje y y respecto al eje z , respectivamente.

a , b y h separación entre cordones, ancho y grueso del cordón, respectivamente.

Figura 10.3 Soportes compuestos: a) con separadores. b) con presillas

10.2.1.1 Hipótesis

- 1 Se tendrán en cuenta las hipótesis siguientes (véase figura 10.3):
 - a) el soporte se encuentra sometido a carga axial concéntrica F_c ;
 - b) los soportes están biarticulados con una longitud l ;
 - c) los cordones son de una pieza con la longitud completa del soporte;
 - d) la sección transversal se compone de 2, 3 ó 4 cordones iguales;
 - e) la sección transversal tiene dos ejes de simetría;
 - f) el número mínimo de tramos en los que queda dividido el soporte es de 3; es decir los cordones se encuentran conectados al menos en los extremos y en los dos puntos intermedios situados a los tercios de la longitud del soporte;
 - g) la distancia libre entre cordones, a , no es superior a 3 veces el espesor del cordón, h , en soportes con separadores y no superior a 6 veces el espesor del cordón en soportes con presillas;
 - h) los esfuerzos de los separadores y presillas se calculan de acuerdo con el apartado 10.2.1.3;
 - i) la dimensión del separador, l_2 , cumple la condición siguiente: $l_2/a \geq 1,5$;
 - j) la dimensión de la presilla, l_2 , cumple la condición siguiente: $l_2/a \geq 2$;

- k) existen como mínimo 4 clavos o 2 pernos con conectores en cada plano de cortante. En uniones clavadas existen al menos 4 clavos situados en una fila en cada extremo, en la dirección longitudinal del soporte.

10.2.1.2 Capacidad de carga

- 1 Se tomará, como capacidad de carga del soporte, la que resulte menor de calcular a pandeo respecto a las dos direcciones principales (véase figura 10.3):

- a) Pandeo con desplazamiento en la dirección y (flectando respecto al eje z - z).

Cada cordón se comprobará para resistir la carga F_c/n (n , número de cordones y F_c , carga axial concéntrica) aplicando la ecuación 6.34.

- b) Pandeo con desplazamiento en la dirección z (flectando respecto al eje y - y).

Debe cumplirse que:

$$\sigma_{c,o,d} \leq k_c f_{c,o,d} \quad (10.29)$$

siendo:

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{F_{c,Sd}}{A_{tot}} \quad (10.30)$$

$F_{c,Sd}$ valor de cálculo de la carga axial concéntrica aplicada;

A_{tot} área total de la sección transversal (véase figura 10.3);

$f_{c,o,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra de la madera del cordón;

k_c coeficiente de pandeo determinado según la ecuación 6.36 correspondiente a la esbeltez efectiva, λ_{ef} , que se establece a continuación:

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \frac{n}{2} \lambda_1^2} \quad (10.31)$$

siendo:

λ esbeltez mecánica de un soporte de sección maciza con la misma longitud (l), el mismo área (A_{tot}) y el mismo momento de inercia (I_{tot}), es decir:

$$\lambda = l \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{tot}}} \quad (10.32)$$

λ_1 esbeltez mecánica de los cordones. Se tomará para λ_1 el mayor de los dos valores siguientes:

$$\lambda_1 = \sqrt{12} \frac{l_1}{h} \quad (10.33)$$

$$\lambda_1 = 30 \quad (10.34)$$

l_1 y h según figura 10.2;

n número de cordones;

η factor obtenido de la Tabla 10.2.

Tabla 10.2 Factor η

Duración de la carga ⁽¹⁾	Unión de los separadores			Unión de las presillas	
	<i>Encolados</i>	<i>Con clavos</i>	<i>Con pernos y conectores</i>	<i>Encoladas</i>	<i>Clavadas</i>
Permanente/larga	1	4	3,5	3	6
Media/corta	1	3	2,5	2	4,5

⁽¹⁾ Véase Clase de duración de la carga en el apartado 2.1.2.1

10.2.1.3 Esfuerzos en las piezas de fijación, separadores y presillas

- 1 El esfuerzo en las piezas de fijación, separadores y presillas, debe deducirse de acuerdo con lo indicado en la figura 10.4, en función del esfuerzo rasante total en los cordones, V_d , obtenido mediante las expresiones siguientes:

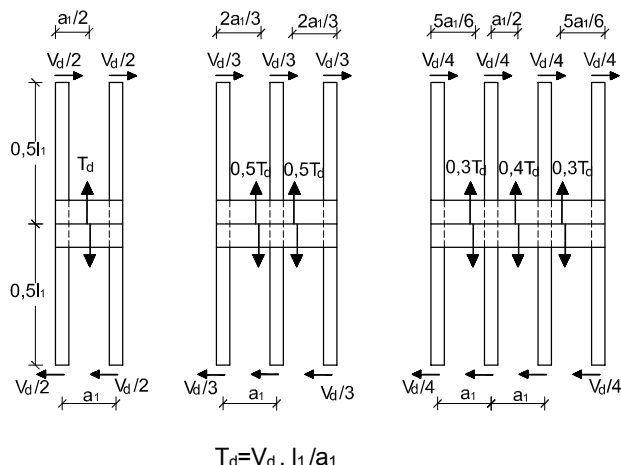


Figura 10.4 Distribución de esfuerzos en cordones, separadores y presillas.

$$V_d = \frac{F_{c,d}}{120k_c} \quad \text{para } \lambda_{ef} < 30 \quad (10.35)$$

$$V_d = \frac{F_{c,d} \lambda_{ef}}{3600k_c} \quad \text{para } 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \quad (10.36)$$

$$V_d = \frac{F_{c,d}}{60k_c} \quad \text{para } 60 \leq \lambda_{ef} \quad (10.37)$$

siendo:

$F_{c,d}$ valor de cálculo de la carga axial concéntrica aplicada;
 λ_{ef} esbeltez efectiva obtenida de la ecuación 10.4;
 k_c coeficiente de pandeo asociado a la esbeltez mecánica λ_{ef} , obtenido en el punto b del apartado 10.2.1.2.

- 2 De la Figura 10.4 se establecen los esfuerzos, así como otras consideraciones relativas a esfuerzos y deslizamiento de las uniones, a tener en cuenta en el cálculo y dimensionado de cordones, separadores y presillas.

- a) Esfuerzo cortante en el cordón.

Como consecuencia del rasante total, cada cordón deberá resistir un esfuerzo cortante perpendicular a la fibra, de valor:

$$V_d/n \quad (10.38)$$

siendo:

V_d esfuerzo rasante total del soporte según las expresiones 10.35 a 10.37;
 n número de cordones del soporte.

- b) Esfuerzos en separadores y presillas.

Cada separador y presilla se calculará para resistir los siguientes esfuerzos:

- i) cortante:

-soporte de dos cordones;

$$T_{2,s,d} = V_d l_1 / a_1 \quad \text{para cada separador} \quad (10.39)$$

$$T_{2,p,d} = 0,5.V_d l_1/a_1 \quad \text{para cada presilla} \quad (10.40)$$

- soporte de tres cordones;

$$T_{3,s,d} = 0,5.V_d l_1/a_1 \quad \text{para cada separador} \quad (10.41)$$

$$T_{3,p,d} = 0,25.V_d l_1/a_1 \quad \text{para cada presilla} \quad (10.42)$$

- soporte de cuatro cordones.

$$T_{4,s,e,d} = 0,3.V_d l_1/a_1 \quad \text{para cada separador extremo} \quad (10.43)$$

$$T_{4,s,c,d} = 0,4.V_d l_1/a_1 \quad \text{para cada separador central} \quad (10.44)$$

$$T_{4,p,e,d} = 0,15.V_d l_1/a_1 \quad \text{para cada presilla extrema} \quad (10.45)$$

$$T_{4,p,c,d} = 0,2.V_d l_1/a \quad \text{para cada presilla central} \quad (10.46)$$

ii) momento (solamente para presillas):

- soporte de dos cordones;

$$M_{2,p,d} = T_d \cdot a_1/4 \quad \text{para cada presilla} \quad (10.47)$$

- soporte de tres cordones;

$$M_{3,p,d} = T_d \cdot a_1/3 \quad \text{para cada presilla} \quad (10.48)$$

- soporte de cuatro cordones.

$$M_{4,p,d} = T_d \cdot a_1/2,4 \quad \text{para cada presilla} \quad (10.49)$$

siendo:

V_d valor definido en el punto a;

$T_d = V_d \cdot l_1/a_1$;

l_1 separación entre uniones con separadores o presillas (Figura 10.3);

$a_1 = a + h$;

a y h separación entre cordones y grueso del cordón, respectivamente, (Figura 10.3).

c) Esfuerzos en las uniones (cordón-separador o cordón-presilla).

La unión (cordón-separador o cordón-presilla), tanto encolada como con elementos mecánicos de fijación, deberá resistir los esfuerzos que le correspondan de los determinados anteriormente, ecuaciones 10.38 a 10.49.

10.3 Celosías

10.3.1 Disposiciones generales

- 1 En las celosías cargadas predominantemente en los nudos, el índice que corresponde a la suma de los índices procedentes de la combinación de los esfuerzos axiales de compresión y de flexión, ecuaciones 6.23 y 6.24, se limita a 0,9 en vez de 1.
- 2 Para las barras comprimidas, la longitud efectiva de pandeo en el plano de la celosía se tomará, generalmente, igual a la distancia entre puntos adyacentes de inflexión.
- 3 Para celosías totalmente trianguladas la longitud eficaz de pandeo de las barras comprimidas es igual a la longitud del vano, figura 5.1, siempre que se cumpla:
 - a) las barras constan de un solo vano sin conexiones rígidas en los extremos;
 - b) las barras de dos o más vanos son continuas y no están cargadas.
- 4 Si se realiza un análisis simplificado (véase apartado 5.4.4) la comprobación de la resistencia de las barras comprimidas y de las conexiones debe realizarse incrementando las fuerzas axiales en un 10 %. Como longitudes de pandeo en el plano de la celosía pueden considerarse las siguientes (véase la figura 10.5):

- a) barras continuas con cargas de vano contenidas en el plano de la celosía sin momentos significativos en los apoyos extremos y en las que las tensiones debidas a la flexión provocada por las cargas son al menos el 40 % de las tensiones de compresión:
 - i) en los vanos de orilla: 0,8 veces la longitud del vano;
 - ii) en los vanos interiores: 0,6 veces la longitud del vano;
 - iii) en los nudos interiores: 0,6 veces la longitud del vano adyacente de mayor luz.
- b) barras continuas con cargas de vano contenidas en el plano de la celosía y momentos significativos en los apoyos extremos y en las que las tensiones debidas a la flexión provocada por las cargas son al menos el 40 % de las tensiones de compresión:
 - i) en el vano de orilla con momento: 0,0 veces la longitud del vano (es decir no hay efecto de columna);
 - ii) en el penúltimo vano: 1,0 veces la longitud del vano;
 - iii) en los restantes vanos y nudos: como en a).
- c) para los restantes casos, la longitud del vano:

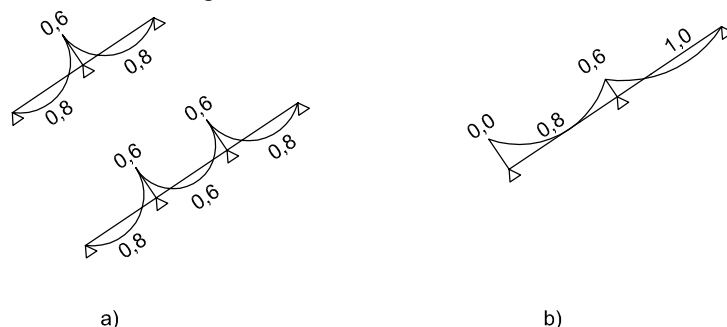


Figura 10.5 Diagramas de momentos y longitudes eficaces de barras comprimidas

- 5 Si se realiza un análisis simplificado en celosías que están cargadas en los nudos, los índices correspondientes a las tensiones de tracción y compresión, así como también la capacidad de carga de las conexiones, debe limitarse al 70%.
- 6 Debe comprobarse la adecuada estabilidad al pandeo fuera del plano de la celosía.
- 7 Las uniones deben ser capaces de transmitir las fuerzas que se presentan en el transporte y montaje.
- 8 Todas las uniones deben ser capaces de transmitir una fuerza $F_{r,d}$ actuando en cualquier dirección dentro del plano de la celosía. Se supone que esta fuerza $F_{r,d}$ actúa durante un tiempo de aplicación corto, en una clase de servicio 2 y con el valor siguiente:

$$F_{r,d} = 1,0 + 0,1 \cdot L \quad (\text{kN}) \quad (10.50)$$

siendo:

L longitud total de la celosía en metros.

10.3.2 Celosías con uniones de placas dentadas

- 1 Se deben aplicar los principios generales recogidos en 5.4.4. y los que se indican en este apartado.
- 2 En celosías totalmente trianguladas en las que en las que una carga concentrada pequeña (por ejemplo el peso de una persona) tiene una componente perpendicular a la barra inferior a 1,5 kN, y donde $\sigma_{c,d} < 0,4 \cdot f_{c,d}$ y $\sigma_{t,d} < 0,4 \cdot f_{t,d}$ los requisitos de los apartados 6.2.2 y 6.2.3 pueden remplazarse por:

$$\sigma_{m,d} \leq 0,75 f_{m,d} \quad (10.51)$$

- 3 El solape mínimo de una placa dentada sobre cualquier barra de madera será superior al mayor de los dos valores siguientes: 40 mm o un tercio del canto de la barra.
- 4 Las placas dentadas utilizadas en los empalmes de cordones deben cubrir al menos 2/3 de la altura de la sección de la barra.

10.4 Diafragmas

10.4.1 Diafragmas de forjados y cubiertas

10.4.1.1 Análisis simplificado

- 1 Este apartado se refiere a diafragmas simplemente apoyados de forjados y cubiertas, formados por tableros derivados de la madera unidos al entramado de madera mediante elementos mecánicos de fijación (clavos, grapas, tirafondos, pernos).
- 2 La capacidad de carga de los elementos de fijación en los bordes del tablero pueden incrementarse multiplicando por un factor de 1,2 los valores obtenidos con el capítulo 10.
- 3 El análisis simplificado de diafragmas simplemente apoyados solicitados por una carga uniformemente repartida puede realizarse como se indica más adelante siempre que se cumplan las condiciones siguientes:
 - a) la luz l varía entre $2b$ y $6b$, siendo b el ancho del diafragma;
 - b) el fallo del forjado o faldón-diafragma es debido a los medios de fijación y no a los tableros;
 - c) los paneles se fijarán de acuerdo con las especificaciones dadas en apartado 10.4.1.2.

De no realizarse un análisis más detallado, los cordones de borde, figura 10.6, deben proyectarse para resistir el esfuerzo axial de tracción o compresión, N , derivado del momento flector:

$$N=M/b \quad (10.52)$$

siendo:

$$M=ql^2/8 \quad (10.53)$$

Se supone que las tensiones tangenciales debidas a los esfuerzos cortantes que actúan sobre el diafragma se reparten uniformemente en todo el ancho, b .

- 4 Si los paneles se disponen al tresbolillo, figura 10.6, la separación entre clavos en los bordes discontinuos de encuentro entre paneles puede incrementarse un 50% más (hasta un máximo de 150 mm) sin aplicar reducción alguna en la capacidad de carga.

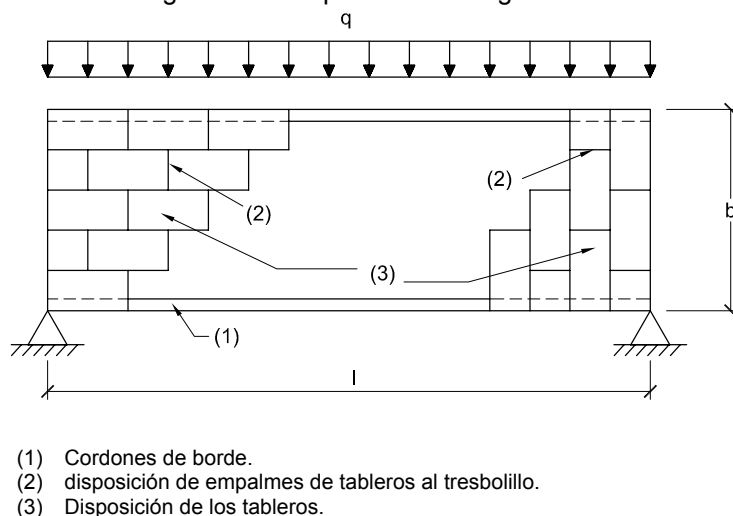


Figura 10.6 Diafragma de forjado de cubierta con carga uniforme y tableros al tresbolillo

10.4.1.2 Consideraciones constructivas

- 1 La aplicación del método simplificado de cálculo requiere que aquellos tableros que no estén soportados por viguetas o pares de cerchas se conecten unos a otros utilizando listones/cubrejuntas que permitan la fijación resistente del tablero en dicho borde (véase figura 10.7). Deben utilizarse clavos anillados, clavos corrugados o tirafondos con una separación máxima de 150 mm a lo largo de los bordes del tablero. En las líneas internas el espaciamiento máximo no será superior a 300 mm.

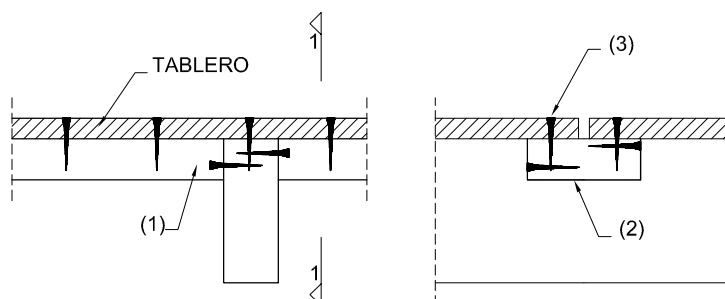


figura 10.7 Ejemplo de junta entre tableros con brochal.

10.4.2 Diafragma de muros

- 1 En este apartado se establecen las condiciones específicas adicionales para que un entramado de madera con paramentos de tableros estructurales actúe como muro-diafragma con independencia de que el entramado (montantes, testeros, etc.) y los tableros tengan que calcularse para resistir, también, otras solicitaciones (cargas de uso, nieve, viento, etc.).
- 2 Para garantizar el efecto diafragma-vertical (arriostramiento-rigidez) los tableros deben ir unidos en todo su perímetro al entramado de madera mediante elementos mecánicos de fijación. Se fijarán también a las piezas de madera del entramado que queden dentro del perímetro del tablero (montantes centrales).

10.4.2.1 Principios generales

- 1 Los muros-diafragma deben proyectarse para resistir las acciones horizontales y verticales que correspondan.
- 2 Deben sujetarse adecuadamente para resistir el deslizamiento y el vuelco.
- 3 En el plano del tablero deben tener la resistencia adecuada al descuadre. De no ser así, deben incluirse triangulaciones (tornapuntas, cruces de San Andrés, etc) o conexiones rígidas.
- 4 La resistencia al descuadre de los muros-diafragma puede determinarse a partir de resultados de ensayos de prototipos que deben ajustarse a la norma UNE EN 594, o mediante cálculos que empleen métodos adecuados de análisis o modelos.
- 5 Debe comprobarse que la respuesta del muro-diafragma a las acciones que ha de resistir garantiza el cumplimiento del Estado Límite de Servicio.
- 6 Para muros-diafragma anclados en sus extremos se da en el apartado 10.4.2.2 un procedimiento simplificado de cálculo. No obstante, pueden aceptarse otros métodos dados por normas específicas nacionales para muros-diafragma que tengan otras condiciones específicas de sujeción.

10.4.2.2 Análisis simplificado

- 1 La resistencia al descuadre, $F_{v,Rd}$, de un muro-diafragma en voladizo, que consta de uno o más paneles en los que cada tablero queda fijado a un solo lado del entramado de madera mediante elementos mecánicos de fijación, asegurado convenientemente al levantamiento (mediante fuerzas verticales o anclajes), solicitado por una fuerza horizontal F_k , que actúa en el borde superior, puede determinarse por el procedimiento simplificado que se indica a continuación, siempre que se cumplan las condiciones siguientes:
 - a) La separación entre los elementos de fijación es constante a lo largo del perímetro de cada tablero y

- b) El ancho b_i de cada panel es igual o superior a $h/4$.

siendo:

b_i y h longitud y altura, respectivamente, del panel, según figura 10.9.

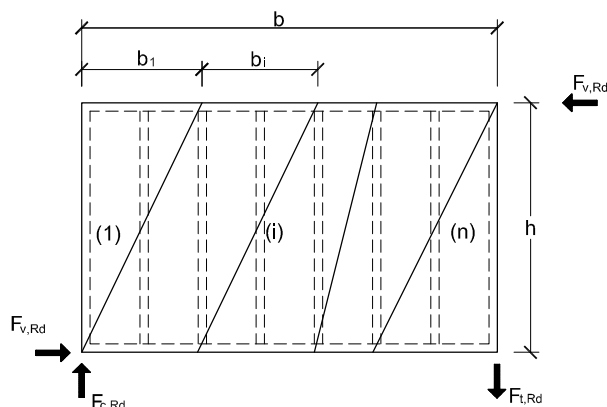


Figura 10.8 Muro-diafragma

- 2 El valor de cálculo de la resistencia al descuadre, $F_{v,Rd}$, de un muro-diafragma que consta de varios paneles con un solo tablero fijado a un lado del entramado, puede calcularse aplicando la fórmula siguiente:

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (10.54)$$

siendo:

$F_{i,v,Rd}$ la resistencia al descuadre de cada panel, figura 10.9, definida por la expresión:

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{s} \quad (10.55)$$

donde:

$F_{f,Rd}$ valor de cálculo de la capacidad de carga lateral por elemento de fijación.

- 3 La capacidad de carga obtenida de acuerdo con el capítulo 8 puede multiplicarse por 1,2 para los elementos de fijación dispuestos en el perímetro del tablero. En la determinación de la separación de los medios de fijación de acuerdo con los requisitos del capítulo 8, los bordes deben considerarse como descargados.

b_i anchura del módulo (b_1, b_i, b_j, b_n , figura 10.8);

s separación entre elementos de fijación;

$c_i=1$ para $b_i \geq h/2$;

$c_i = b_i / (h/2)$ para $b_i < h/2$.

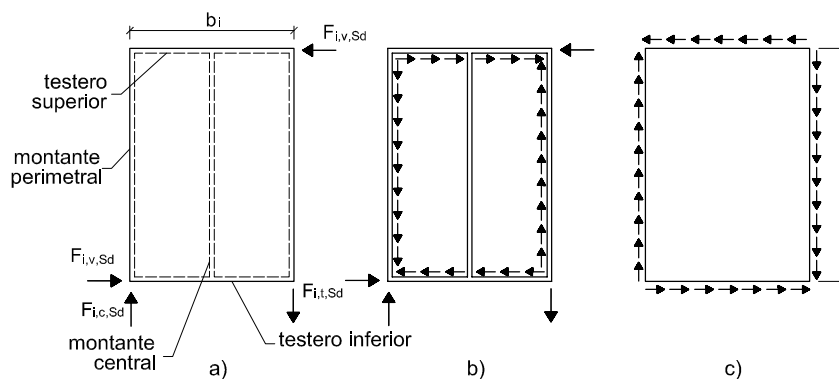


Figura 10.9 Solicitaciones sobre un panel

- 4 Aquellos paneles del muro diafragma que tengan huecos de puertas o ventanas no se consideran en la contribución a la resistencia al descuadre del grupo (muro-diafragma).

Para muros-diafragma formados con módulos con tableros en las dos caras son de aplicación las reglas siguientes:

- si los tableros y medios de fijación son del mismo tipo y dimensión, la resistencia al descuadre del muro-diafragma es suma de las resistencias correspondientes a cada paramento;
 - si en cada paramento se emplean diferentes tipos de tableros podrá añadirse a la resistencia al descuadre del paramento más resistente el 75% de la resistencia del paramento más débil, siempre que los medios de fijación tengan el mismo módulo de deslizamiento. En los restantes casos no debe añadirse más del 50% de la resistencia del paramento más débil.
- 5 Las fuerzas externas $F_{i,c,Sd}$ y $F_{i,t,Sd}$, figura 10.9, pueden determinarse mediante la expresión siguiente:

$$F_{i,c,Sd} = F_{i,t,Sd} = \frac{F_{i,v,Sd} \cdot h}{b_i} \quad (10.56)$$

siendo:

$F_{i,v,Sd}$ fuerza que actúa sobre el panel i.

Estas fuerzas pueden transmitirse a los módulos adyacentes del muro-diafragma o a la construcción situada por encima o por debajo. Si se transmiten fuerzas de tracción a la construcción situada por debajo, el panel debe anclarse adecuadamente. Si las fuerzas son de compresión los montantes deben comprobarse a pandeo de acuerdo con el apartado 6.3.2.2. En aquellos casos en los que los montantes descansan sobre los testeros debe comprobarse la compresión perpendicular a la fibra de acuerdo con el apartado 6.1.5.

- 6 Las fuerzas externas $F_{v,Sd}$ que se presentan en los módulos que contienen huecos de puertas o ventanas o paneles de ancho menor a $h/4$, pueden transmitirse a lo largo de todo el testero superior, figura 10.10, originando, igualmente, fuerzas que pueden ser de tracción o compresión en la construcción situada en el nivel superior e inferior.
- 7 Puede despreciarse el pandeo del tablero si se cumple que:

$$\frac{b_{net}}{t} \leq 100 \quad (10.57)$$

siendo:

b_{net} espacio libre entre montantes, véase figura 10.10;
 t espesor del tablero.

- 8 Para que el montante central del módulo pueda considerarse que actúa como soporte del tablero la separación de los medios de fijación no debe ser superior al doble de la separación de los medios de fijación en el perímetro.
- 9 Cuando cada módulo es un elemento de pared prefabricado, debe comprobarse que se realiza adecuadamente la transferencia de las fuerzas de corte entre módulos.

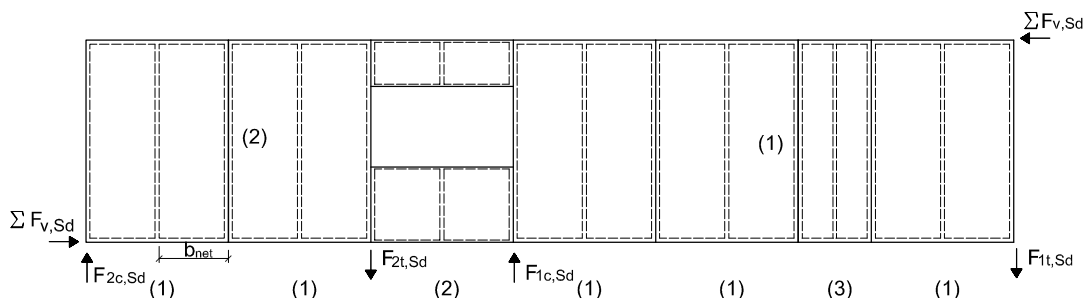
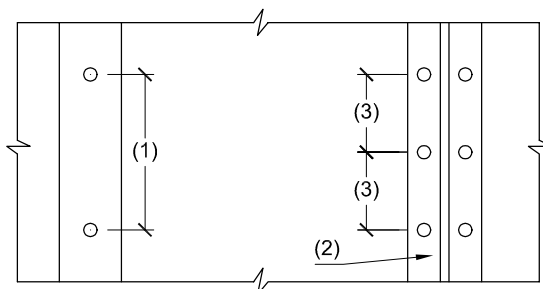


Figura 10.10 Ejemplo de un conjunto de muros diafragma con paneles que contienen huecos de puertas o ventanas y panel de anchura menor.

10.4.2.3 Consideraciones constructivas

- 1 El método simplificado de cálculo definido anteriormente, supone que la fijación del tablero se efectúa con una separación máxima de los clavos o tirafondos, a lo largo de los bordes de 150 mm para los clavos y 200 mm para los tirafondos. En las líneas interiores la separación máxima será de 300 mm.



- (1) Separación máxima entre clavos, 300 mm, en los montantes centrales.
- (2) Montante perimetral.
- (3) Separación máxima entre clavos, 150 mm, en los montantes perimetrales.

Figura 10.11 Fijación de tableros en panel de muro-diafragma.

10.5 Arriostramientos

10.5.1 Principios generales

- 1 Las estructuras que no sean de por sí suficientemente rígidas, deben arriostrarse para prevenir su inestabilidad o una deformación excesiva.
- 2 En los cálculos deben tenerse en cuenta las tensiones producidas por imperfecciones geométricas y estructurales así como también las que proceden de los desplazamientos inducidos (incluyendo la contribución de cualquier deslizamiento de las uniones).
- 3 Las solicitaciones procedentes de la función del arriostramiento deben obtenerse para la combinación más desfavorable de las imperfecciones estructurales y de los desplazamientos inducidos.

10.5.2 Piezas simples con restricciones intermedias

- 1 En piezas simples comprimidas, que requieran restricciones laterales intermedias a intervalos a (véase figura 10.12.), las desviaciones iniciales de la forma recta entre los puntos de restricción deben tomarse como $a/500$ en elementos de madera laminada encolada y de madera microlaminada y $a/300$ en otras piezas.
- 2 Cada restricción intermedia debe aportar un coeficiente de rigidez mínimo C definido por la expresión siguiente:

$$C = k_s \frac{N_d}{a} \quad (10.58)$$

siendo:

N_d valor medio de cálculo de la fuerza axial de compresión de la pieza comprimida;

a separación entre secciones arriostradas;

k_s factor de modificación deducido de la expresión:

$$k_s = 2(1 + \cos \pi/m) \quad (10.59)$$

donde:

m número de vanos de longitud a .

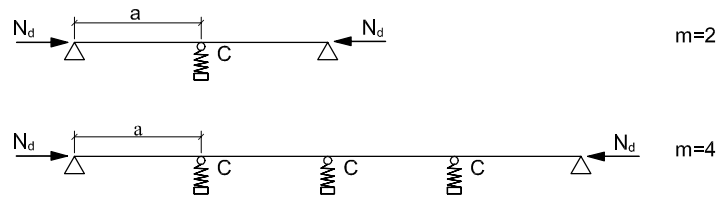


Figura 10.12 Piezas simples con restricciones laterales intermedias.

- 3 Consecuencia de la restricción aportada por las barras de atado se genera en los puntos de arriostramiento una fuerza de estabilización, F_d , definida de la manera siguiente:

a) Soportes o piezas comprimidas.

El valor de cálculo de la fuerza de estabilización F_d , en cada punto de restricción de la pieza, debe tomarse como mínimo:

$$F_d = N_d / 80 \text{ para madera maciza;} \quad (10.60)$$

$$F_d = N_d / 100 \text{ para madera laminada encolada y microlaminada.} \quad (10.61)$$

siendo:

N_d valor medio de la fuerza axial de compresión de la pieza.

b) Vigas o piezas flectadas.

El valor de cálculo de la fuerza de estabilización F_d , del borde comprimido de una viga o pieza flectada de sección rectangular, debe determinarse utilizando las fórmulas anteriores 10.60 y 10.61, tomando como axil N_d , el valor deducido de la expresión siguiente:

$$N_d = (1 - k_{crit}) \frac{M_d}{h} \quad (10.62)$$

siendo:

k_{crit} valor del factor por vuelco lateral (véase apartado 6.3.3.3, ecuación 6.45), considerando la viga o pieza flectada no arriostrada lateralmente en toda su longitud;

M_d momento flector máximo de cálculo en la viga, o pieza flectada;

h canto de la pieza simple flectada.

Debe tenerse en cuenta que la fuerza de estabilización F_d puede actuar en ambos sentidos (compresión y tracción) en cada punto de restricción lateral. Y que además de la fuerza axial F_d , o la que resulte de la acumulación de dos o más fuerzas F_d procedentes de otras barras de atado, figura 10.13, pueden existir otras sollicitaciones ocasionadas por cargas que soportan directamente.

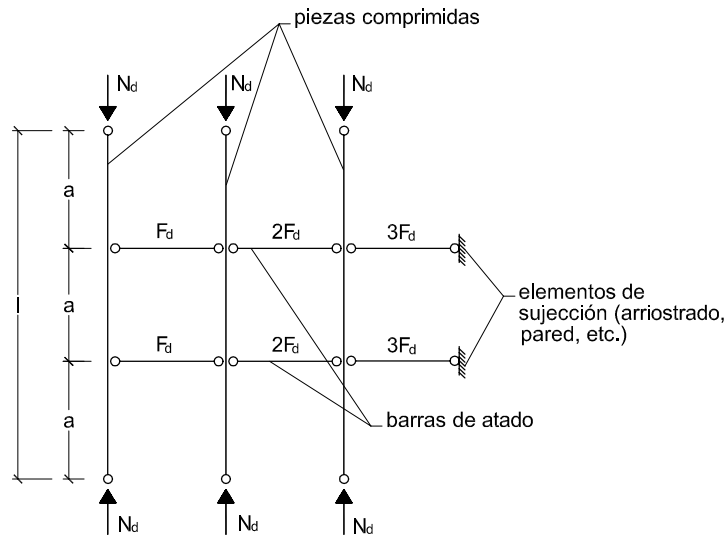


Figura 10.13 Posible acumulación de cargas axiales en barras de atado

El coeficiente de rigidez que genera un determinado apoyo viene deducido como la carga necesaria para provocar un desplazamiento unidad. Con el ejemplo representado en la figura 10.14 se aclara esta cuestión. En ella el extremo del soporte en voladizo es el que generará el correspondiente coeficiente de muelle C deducido en este caso por la expresión siguiente:

$$C = \frac{3EI}{h^3} \quad (10.63)$$

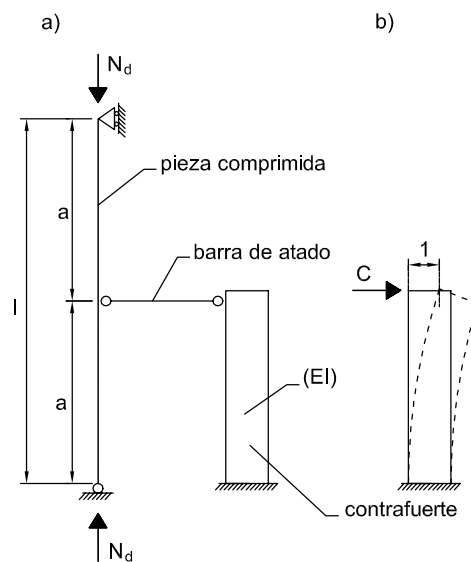


Figura 10.14

10.5.3 Sistemas de vigas y cerchas con arriostramiento

- 1 En una serie de n piezas paralelas (como vigas o pares de cerchas) que requieren restricciones laterales en puntos intermedios A, B, etc. (véase figura 10.15), debe disponerse un sistema de arriostramiento que, además de los esfuerzos debidos a otras acciones que pueden actuar (p.e. carga de viento), resista una carga lineal q_d definida mediante la ecuación:

$$q_d = k_1 \frac{n N_d}{50 \cdot l} \quad (10.64)$$

siendo:

- n número de piezas arriostradas asociadas al arriostramiento;
 N_d valor medio del axil de cálculo de compresión en la pieza;
 l longitud de la pieza en m;
 k_1 Factor de imperfección corresponde al menor valor de los dos siguientes:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} k_1 = 1 \\ k_1 = \sqrt{\frac{15}{l}} \end{array} \right. \quad (10.65)$$

La flecha horizontal en el centro del vano debida a q_d actuando sólo no debe superar $l/700$.

La flecha horizontal debida a q_d y a cualquier otra carga (p.e. empuje de viento) no debe superar $l/500$.

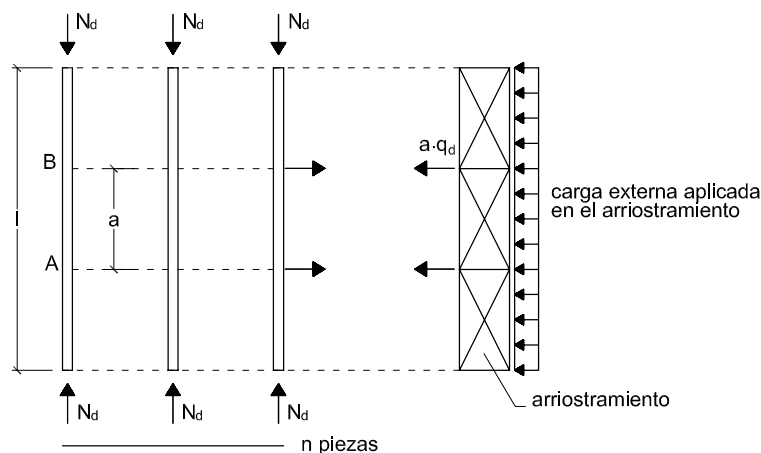


Figura 10.15 Sistema de vigas o cerchas que requieren restricciones laterales

11 Ejecución

11.1 Principios generales

11.1.1 General

- 1 En este Capítulo se recogen las reglas de buena práctica y algunas orientaciones generales a tener en cuenta en los detalles constructivos, en la ejecución de los distintos elementos estructurales y en el montaje de las estructuras de madera.
- 2 Las estructuras de madera deben construirse conforme a los planos y especificaciones indicadas en el proyecto. Los materiales deben ser utilizados y enlazados de modo que realicen adecuadamente las funciones para las que han sido designados.
- 3 La preparación, fabricación y montaje deben ajustarse a las reglas comúnmente aceptadas como de buena práctica.

11.1.2 Materiales

- 1 Antes de su utilización en la construcción, la madera debe ser secada, en la medida que sea posible, hasta alcanzar contenidos de humedad adecuados a la estructura finalizada (humedad de equilibrio higroscópico). Si los efectos de las contracciones o mermas no son considerados importantes, o si han sido reemplazadas las partes dañadas de la estructura, pueden aceptarse contenidos más elevados de humedad durante el montaje siempre que se asegure que la madera podrá secarse al contenido de humedad deseado.
- 2 Las especificaciones y los requisitos de fabricación de la madera laminada encolada se establecen en la norma UNE EN 386.

11.1.3 Uniones encoladas

- 1 Cuando la resistencia de la unión encolada sea requisito en el estado límite último, su fabricación debe estar sometida al correspondiente control de calidad para asegurar que su fiabilidad y calidad responden a las especificaciones técnicas.
- 2 Para el uso adecuado del adhesivo se tendrán en cuenta las recomendaciones del fabricante con respecto a la mezcla, las condiciones ambientales durante su aplicación, el curado, el contenido de humedad de las piezas y otros factores relevantes.
- 3 Debe retrasarse la puesta en la carga de aquellas uniones encoladas que precisen de cierto tiempo para alcanzar la resistencia adecuada.

11.1.4 Detalles constructivos

- 1 Debe disponerse de un programa en el que se especifiquen las medidas de control (mantenimiento de la inspección) que deben llevarse a cabo en servicio cuando el cumplimiento de las hipótesis básicas del proyecto no queden garantizadas a largo plazo.
- 2 Se representarán en los planos del proyecto los detalles constructivos de la estructura, o elemento estructural, tales como uniones de piezas, apoyos, restricciones al vuelco lateral de vigas y anclajes, de manera que se correspondan con las hipótesis adoptadas en el cálculo.
- 3 No debe impedirse el giro libre de los apoyos de vigas que han sido proyectados como rótulas. Para ello se utilizarán dispositivos mecánicos de unión adecuados, figura 11.1.

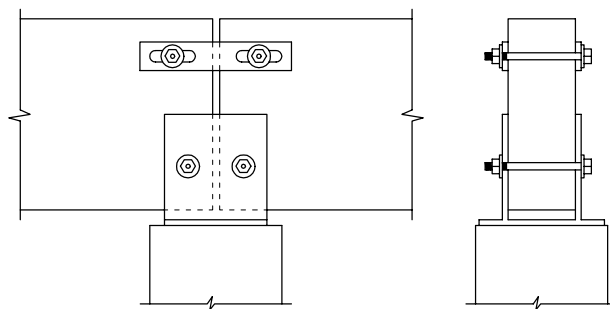


Figura 11.1 Ejemplo de giro libre. Orificios ranurados en la pletina superior que permiten el giro de la sección.

- 4 En las juntas entre tableros se dejarán las holguras necesarias para los movimientos higrotérmicos.

Para la protección de la madera contra la humedad se tendrá en cuenta, siempre que sea posible, lo siguiente:

- evitar el contacto directo de la madera con el terreno, manteniendo una distancia mínima de 20cm si procede, disponiendo material hidrófugo (barrera antihumedad);
- evitar que los arranques de soportes y arcos queden embebidos en el hormigón u otro material de fábrica. Para ello se protegerán de la humedad colocándolos a una distancia suficiente del suelo o sobre capas impermeables;
- ventilar los encuentros de vigas en muros, manteniendo una separación mínima de 15 mm entre la superficie de la madera y el material del muro. El apoyo en su base debe realizarse a través de un material intermedio, separador, que no transmita la posible humedad del muro, figura 11.2.a;
- evitar uniones en las que se pueda acumular el agua;
- proteger la cara superior de los elementos de madera que estén expuestos directamente a la intemperie y en los que pueda acumularse el agua. En el caso de utilizar una albardilla (normalmente de chapa metálica), esta albardilla debe permitir, además, la aireación de la madera que cubre, figura 11.2.b);
- evitar que las testas de los elementos estructurales de madera queden expuestas al agua de lluvia ocultándolas, cuando sea necesario, con una pieza de remate (protector, figura 11.2.c);
- facilitar, en general, al conjunto de la cubierta la rápida evacuación de las aguas de lluvia y disponer sistemas de desagüe de las condensaciones en los lugares pertinentes.

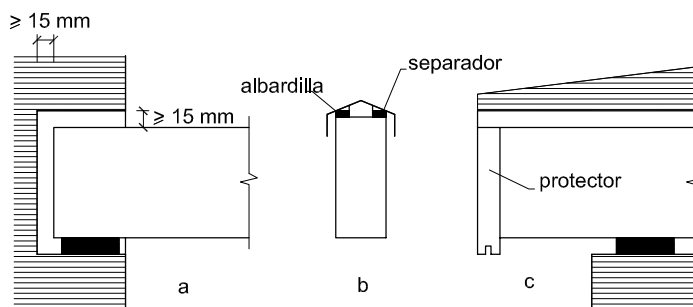
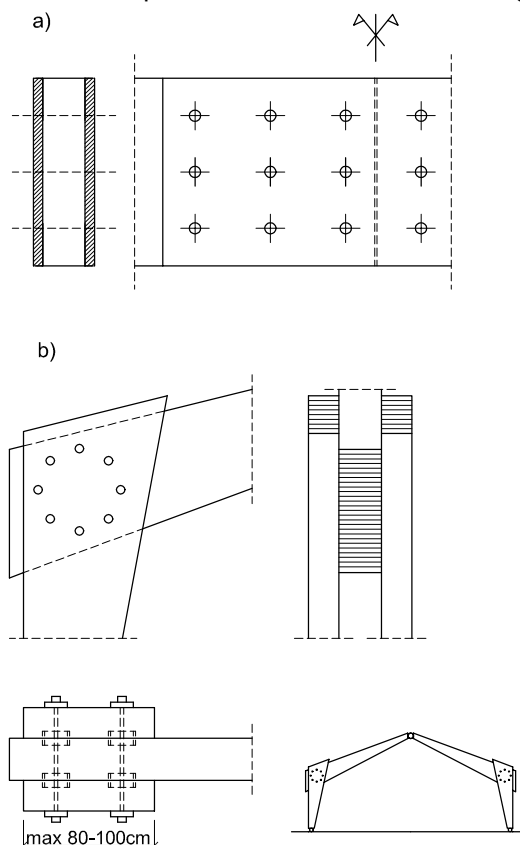


Figura 11.2 a), b) y c). Ejemplos de detalles constructivos de protección de elementos estructurales.

- 5 Los posibles cambios de dimensiones, producidos por la hinchazón o merma de la madera, no deben quedar restringidos por los elementos de unión:

- en general, en piezas de canto superior a 80 cm, no deben utilizarse empalmes ni nudos rígidos realizados con placas de acero que coarten el movimiento de la madera, figura 11.3.a;
- las soluciones con placas de acero y pernos quedan limitadas a situaciones en las que se esperan pequeños cambios de las condiciones higrotérmicas del ambiente y el canto de los

elementos estructurales no supera los 80 cm. Igualmente acontece en uniones de tipo corona en los nudos de unión de pilar/dintel en pórticos de madera laminada, figura 11.3.



a) Enlace con cubrejuntas metálicas que abrazan ambas piezas. Se fijan con pernos y conectores. Si se emplean placas metálicas hay que tener en cuenta el efecto de restricción de los movimientos de la madera por cambios del contenido de humedad. Por tal motivo quedarán limitados los cantos de las piezas a unir.

b) Unión en corona de nudo de pórtico. Se trata de una unión rígida entre las dos piezas que constituyen el pilar y el dintel, que queda abrazado por las piezas del pilar. La unión se realiza mediante una serie de pernos más conectores según las necesidades del cálculo, que cosen las tres piezas. Es aconsejable que el canto de la pieza no supere los 80 cm.

Figura 11.3 Uniones en corona.

11.1.5 Celosías con uniones de placas dentadas

- 1 La fabricación debe realizarse forma que se cumplan las especificaciones de este DB.

11.2 Condiciones generales de la ejecución

11.2.1 Relativas al almacenamiento

- 1 Los elementos estructurales de madera y sus productos derivados no deben exponerse innecesariamente a condiciones climáticas que sean más desfavorables que las que, previsiblemente, deba soportar la estructura terminada
- 2 El almacenamiento de elementos estructurales de madera debe realizarse preferentemente bajo cubierta y sobre una superficie nivelada con el fin de evitar torceduras o alabeos. Las piezas deben apoyarse en calzos dispuestos con una separación que garantice un apoyo adecuado y uniforme y que faciliten, en su caso, la pronta evacuación del agua.
- 3 Los elementos estructurales deben quedar separados entre sí mediante rastreles que permitan que el aire circule alrededor de las cuatro caras evitando que se produzcan, como consecuencia de la distribución de apoyos y cargas, tensiones superiores a las previstas en el cálculo.

- 4 Los envoltorios de elementos estructurales deben permitir la aireación y posible evacuación del agua para lo cual estarán perforados en la zona inferior.

11.2.2 Relativas al montaje

- 1 En obra o en taller, según corresponda, se tendrán en cuenta las consideraciones que se indican a continuación:
 - a) en general conviene que en el taller se desarrollen los planos de montaje basados en los planos y datos del proyecto, comprobando previamente en obra las cotas de replanteo de la estructura. Se consultará con el Director de Obra cualquier duda sobre la estructura definida en proyecto y no se realizará ninguna variación sin su aprobación previa;
 - b) la estructura debe montarse de forma adecuada evitando tensiones en sus elementos estructurales que resulten superiores a las previstas en el cálculo. Como ejemplo puede citarse algunas deformaciones forzadas que puedan darse a las piezas estructurales con el fin ajustarlas a su posición final;
 - c) durante el montaje deben tomarse precauciones para impedir daños en las caras y aristas de los elementos estructurales evitando, especialmente, arrastrarlos o golpearlos;
 - d) en general no debe realizarse el montaje de la estructura sin el correspondiente arriostramiento siendo recomendable disponer simultáneamente en cada planta los elementos rigidizadores que estabilicen el conjunto, como muros o forjados diafragma, cajas de escalera, etc;
 - e) se debe verificar que los elementos estructurales se monten en la posición correcta.

11.2.3 Relativas al transporte e izado

- 1 En elementos estructurales de grandes dimensiones realizados en taller, deben tenerse en cuenta las limitaciones del medio de transporte. Cuando sea necesario se dispondrán juntas específicas de transporte para su viabilidad.
- 2 Durante el transporte deben tomarse las precauciones necesarias para evitar, en los elementos estructurales, tensiones superiores a las previstas en el cálculo así como su exposición a la humedad u otros daños.
- 3 En el izado de los elementos estructurales o piezas deben utilizarse sistemas de amarre que no dañen las caras y aristas o produzcan sobretensiones no previstas en el cálculo. Se evitarán los golpes y siempre que sea posible se izarán en posición de canto.
- 4 En el caso de elementos estructurales planos, tales como arcos, pórticos o cerchas, deben tomarse las debidas precauciones para evitar la distorsión durante el alzamiento desde la posición horizontal a la vertical.

12 Tolerancias

12.1 Principios generales

- 1 Las exigencias relativas a las dimensiones y a las tolerancias de fabricación de los elementos estructurales deben establecerse en el proyecto en función de las condiciones de fabricación y montaje. Es preciso asegurarse de que las exigencias pueden cumplirse realmente en las condiciones de puesta en obra.

12.2 Elementos estructurales

- 1 Las tolerancias dimensionales, desviaciones admisibles respecto a las dimensiones nominales de la madera aserrada, se ajustarán a los límites de tolerancia de la clase 1 definidos en la norma UNE EN 336 para coníferas y chopo. Esta norma se aplicará, también, para maderas de otras especies de frondosas con los coeficientes de hinchazón y merma correspondientes, en tanto no exista norma propia.
- 2 Las tolerancias dimensionales, desviaciones admisibles respecto a las dimensiones nominales de la madera laminada encolada, se ajustarán a los límites de tolerancia definidos en la norma UNE EN 390.
- 3 La combadura de columnas y vigas medida en el punto medio del vano, en aquellos casos en los que puedan presentarse problemas de inestabilidad lateral, o en barras de pórticos, debe limitarse a 1/500 de la longitud del vano en piezas de madera laminada y microlaminada o a 1/300 en piezas de madera maciza.

12.3 Celosías con uniones de placas dentadas

- 1 Durante la fabricación, las piezas deben estar libres de distorsiones dentro de los límites definidos en la norma EN TC 124-1.3. Sin embargo, si las piezas se distorsionan durante el periodo de tiempo que transcurre entre la fabricación y el montaje pueden enderezarse sin causar daño a la madera o a las uniones. En este caso las cerchas pueden considerarse válidas para su uso.
- 2 Después del montaje, se admite una combadura máxima de 10 mm en cualquier pieza de la cercha siempre que se afiance de manera segura en la cubierta terminada de forma que se evite el momento provocado por dicha distorsión.
- 3 Después del montaje, la desviación máxima de una cercha respecto a la vertical no debe exceder el valor de $10 + 5 \cdot (H - 1)$ mm, con un valor máximo de 25 mm; donde H es la altura (diferencia de cota entre apoyos y punto más alto), expresada en metros.

13 Control

13.1 Principios generales

- 1 Debe realizarse un control de la madera durante el almacenamiento en taller, fabricación, transporte, almacenamiento en obra y montaje.

13.2 Condiciones generales de la ejecución

13.2.1 Relativas al almacenamiento

- 1 Los elementos estructurales de madera y sus productos derivados no deben exponerse innecesariamente a condiciones climáticas que sean más desfavorables que las que, previsiblemente, deba soportar la estructura terminada
- 2 El almacenamiento de elementos estructurales de madera debe realizarse preferentemente bajo cubierta y sobre una superficie nivelada con el fin de evitar torceduras o alabeos. Las piezas deben apoyarse en calzos dispuestos con una separación que garantice un apoyo adecuado y uniforme y que faciliten, en su caso, la pronta evacuación del agua.
- 3 Los elementos estructurales deben quedar separados entre sí mediante rastreles que permitan que el aire circule alrededor de las cuatro caras evitando que se produzcan, como consecuencia de la distribución de apoyos y cargas, tensiones superiores a las previstas en cálculo.
- 4 Los envoltorios de elementos estructurales deben permitir la aireación y posible evacuación del agua para lo cual estarán perforados en la zona inferior.

13.2.2 Relativas al montaje

- 1 En general conviene que en el taller se desarrollen los planos de montaje basados en los planos y datos del proyecto, comprobando previamente en obra las cotas de replanteo de la estructura. Se consultará con el Director de Obra cualquier duda sobre la estructura definida en proyecto y no se realizará ninguna variación sin su aprobación previa.
- 2 La estructura debe montarse de forma adecuada evitando tensiones en sus elementos estructurales que resulten superiores a las previstas en el cálculo. Como ejemplo puede citarse algunas deformaciones forzadas que puedan darse a las piezas estructurales con el fin ajustarlas a su posición final.
- 3 Durante el montaje deben tomarse precauciones para impedir daños en las caras y aristas de los elementos estructurales evitando, especialmente, arrastrarlos o golpearlos.
- 4 En general no debe realizarse el montaje de la estructura sin el correspondiente arriostramiento siendo recomendable disponer simultáneamente en cada planta los elementos rigidizadores que estabilicen el conjunto, como muros o forjados diafragma, cajas de escalera, etc..
- 5 Se debe verificar que los elementos estructurales se monten en la posición correcta.

13.2.3 Relativas al transporte e izado

- 1 En elementos estructurales de grandes dimensiones realizados en taller, deben tenerse en cuenta las limitaciones del medio de transporte. Cuando sea necesario se dispondrán juntas específicas de transporte para su viabilidad.
- 2 Durante el transporte deben tomarse las precauciones necesarias para evitar, en los elementos estructurales, tensiones superiores a las previstas en el cálculo así como su exposición a la humedad u otros daños.
- 3 En el izado de los elementos estructurales o piezas deben utilizarse sistemas de amarre que no dañen las caras y aristas o produzcan sobretensiones no previstas en el cálculo. Se evitarán los golpes y siempre que sea posible se izarán en posición de canto.

- 4 En el caso de elementos estructurales planos, tales como arcos, pórticos o cerchas, deben tomarse las debidas precauciones para evitar la distorsión durante el alzamiento desde la posición horizontal a la vertical.

13.3 Suministro y recepción de los productos

13.3.1 Identificación del suministro

- 1 En el albarán de suministro o, en su caso, en documentos aparte, el suministrador facilitará, al menos, la siguiente información para la identificación de los materiales y de los elementos estructurales:

a) con carácter general:

- nombre y dirección de la empresa suministradora;
- nombre y dirección de la fábrica o del aserradero, según corresponda;
- fecha del suministro;
- cantidad suministrada;
- distintivo de calidad del producto, en su caso.

b) con carácter específico:

i) madera aserrada:

- especie botánica y Clase Resistente (La Clase Resistente puede declararse indirectamente mediante la Calidad con indicación de la norma de clasificación resistente empleada);
- dimensiones nominales;
- contenido de humedad o indicación de acuerdo con la norma de clasificación correspondiente.

ii) tablero:

- tipo de tablero estructural según norma UNE (con declaración de los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociadas al tipo de tablero estructural);
- dimensiones nominales.

iii) elemento estructural de madera laminada encolada:

- tipo de elemento estructural y Clase Resistente (de la madera laminada encolada empleada);
- dimensiones nominales;
- marcado según UNE EN 386.

iv) otros elementos estructurales realizados en taller:

- tipo de elemento estructural y declaración de la Capacidad Portante del elemento con indicación de las condiciones de apoyo (o los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad de los materiales que lo conforman);
- dimensiones nominales.

v) madera y productos derivados de la madera tratados con productos protectores:

- certificado del tratamiento en el que debe figurar:

- la identificación del aplicador;
- la especie de madera tratada;
- el protector empleado y su número de registro;
- el método de aplicación empleado;
- la categoría de riesgo que cubre;
- la fecha del tratamiento;
- precauciones a tomar ante mecanizaciones posteriores al tratamiento;
- informaciones complementarias, en su caso.

vi) elementos mecánicos de fijación:

- tipo (clavo sin o con resaltes, tirafondo, pasador, perno o grapa) y resistencia característica a tracción del acero y tipo de protección contra la corrosión;
- dimensiones nominales;
- declaración, cuando proceda, de los valores característicos de resistencia al aplastamiento y momento plástico para uniones madera-madera, madera-tablero y madera-acero.

13.3.2 Control de recepción en obra

1 Comprobaciones:

a) a la llegada de los productos a la obra, el responsable de la recepción comprobará:

i) con carácter general:

- aspecto y estado general del suministro;
- que el producto es identificable, según el apartado 13.3.1, y se ajusta a las especificaciones del proyecto (memoria, planos, pliego de prescripciones técnicas particulares, etc.).

ii) con carácter específico:

- se realizarán, también, las comprobaciones que en cada caso se consideren oportunas de las que a continuación se establecen salvo, en principio, las que estén avaladas por los procedimientos reconocidos en el CTE;
- madera aserrada:
 - especie botánica: La identificación anatómica se realizará en laboratorio especializado;
 - Clase Resistente: La propiedad o propiedades de resistencia, rigidez y densidad, se especificarán según notación y ensayos del apartado 4.1.2 del Capítulo 4 "Materiales";
 - tolerancias en las dimensiones: Se ajustarán a la norma UNE EN 336 para maderas de coníferas. Esta norma, en tanto no exista norma propia, se aplicará también para maderas de frondosas con los coeficientes de hinchazón y merma de la especie de frondosa utilizada;
 - contenido de humedad: Salvo especificación en contra, debe ser $\leq 20\%$ según UNE 56529 o UNE 56530.
- tableros:
 - propiedades de resistencia, rigidez y densidad: Se determinarán según notación y ensayos del apartado 4.4.2 del Capítulo 4;

- tolerancias en las dimensiones: Según UNE EN 312-1 para tableros de partículas, UNE EN 300 para tablero de virutas orientadas (OSB), UNE EN 622-1 para tableros de fibras y UNE EN 315 para tableros contrachapados;
- elementos estructurales de madera laminada encolada:
 - Clase Resistente: La propiedad o propiedades de resistencia, de rigidez y la densidad, se especificarán según notación del apartado 4.2.2 del Capítulo 4 "Materiales";
 - tolerancias en las dimensiones: Según UNE EN 390.
- otros elementos estructurales realizados en taller.

Tipo, propiedades, tolerancias dimensionales, planeidad, contraflechas (en su caso):
Comprobaciones según lo especificado en la documentación de proyecto.
- madera y productos derivados de la madera, tratados con productos protectores.

Tratamiento aplicado: Se comprobará la certificación del tratamiento.
- elementos mecánicos de fijación.

Se comprobará la certificación del tipo de material utilizado y del tratamiento de protección.

2 Criterio general de no-aceptación del producto

El incumplimiento de alguna de las especificaciones de un producto, salvo demostración de que no suponga riesgo apreciable, tanto de las resistencias mecánicas como de la durabilidad, será condición suficiente para la no-aceptación del producto y en su caso de la partida.

13.4 Construcción y control en obra

13.4.1 Montaje de los elementos estructurales

- 1 Para los diferentes elementos estructurales se tendrá en cuenta lo establecido en la documentación del proyecto y, salvo especificación en contra, el orden de ejecución, las reglas y criterios que a continuación se establecen:
 - a) replanteo y marcado de ejes teniendo en cuenta:
 - i) distancias, ángulos y alineaciones de los ejes de otros elementos estructurales;
 - ii) coincidencia de ejes cuando corresponda (soporte inferior, vigas continuas).
 - b) cotas de apoyo.

Preparación y nivelación de la superficie de apoyo y colocación, si procede, del material protector contra la humedad.
 - c) izado por los puntos previstos especialmente para elementos estructurales de grandes dimensiones como cerchas, arcos y pórticos.
 - d) presentación, fijación y aplomado provisional de soportes y nivelado provisional de vigas, teniendo en cuenta:
 - i) paralelismo y alineación, cuando proceda, con otros elementos similares (viguetas, correas, cerchas);
 - ii) mantener, en el encuentro de vigas con muro, las separaciones entre las cabezas de la viga y el material del muro así como las distancias de entrega;
 - iii) discontinuidades, previstas en el proyecto, de los huecos y pasos de instalaciones;
 - iv) arriostramiento provisional del elemento estructural, en los casos que proceda.
 - e) ejecución de las uniones y anclajes;
 - f) ajustes, aplomado y/o nivelado final del elemento estructural;

- g) arriostramiento final del elemento estructural o entre elementos estructurales similares, en los casos que proceda.

13.4.2 Control del montaje de los elementos estructurales

1 Comprobaciones:

- a) en el control del montaje se tendrá en cuenta lo establecido en el plan de control de la ejecución y, salvo especificación en contra, se comprobarán, para los diferentes elementos estructurales, los siguientes aspectos:
 - i) comprobación de los puntos de apoyo de los elementos estructurales de madera;
 - ii) antes del montaje del elemento estructural de madera se debe comprobar el replanteo de los apoyos (hormigón u otros) e indicar a la Empresa Constructora y a la Dirección Facultativa las anomalías que hubiese encontrado;
 - iii) en general se admiten las tolerancias no acumulables siguientes:
 - alineación de apoyos ± 1 cm;
 - nivelación de apoyos ± 2 cm.Distancia entre ejes de apoyos (luz):
 - elementos principales (vigas, cerchas, etc.) ± 2 cm;
 - elementos secundarios (viguetas, correas, etc.) ± 1 cm.
 - iv) las tolerancias serán reducidas a la mitad, en el caso de colocación de los elementos de anclaje en el momento del hormigonado, cuando proceda;
 - v) comprobación de los elementos mecánicos de fijación en uniones.
- b) en uniones con clavos, tirafondos, o pernos se comprobará que:
 - i) el tipo, el diámetro y el número de los elementos de fijación es el especificado;
 - ii) el perno tiene dos arandelas y tuerca y la parte roscada sale de la tuerca al menos un filete;
 - iii) el tamaño de los agujeros, para elementos mecánicos de fijación con pretaladrado, es el especificado;
 - iv) se cumplen, para los elementos mecánicos de fijación, las separaciones especificadas a la testa, a bordes y las distancias entre elementos.

2 Criterio general de no aceptación de la ejecución del elemento estructural:

- a) el incumplimiento en alguna comprobación será objeto, en principio, de no aceptación de la ejecución de un elemento estructural;
- b) en la documentación del proyecto o en el plan de control de la ejecución es conveniente que queden establecidas las decisiones y sistemática a seguir en caso de incumplimiento.

13.4.3 Pruebas de carga

- 1 En general no será necesario someter a pruebas de carga a las estructuras, o elementos estructurales de madera proyectados y contruidos con arreglo a esta parte de este DB, salvo cuando así se establezca en el proyecto o lo ordene el director de obra.
- 2 En estos casos será necesario indicar con precisión el número de pruebas de carga, la forma de realizarlas y los criterios de aceptación/rechazo.

14 Inspección y mantenimiento

14.1 Generalidades.

- 1 Este Capítulo tiene como objetivo la conservación de la estructura de madera y de sus prestaciones durante su periodo de servicio, en la hipótesis de un uso correcto del edificio.
- 2 El contenido de este Capítulo facilita, también, la elaboración de la documentación y de la programación necesarias para un adecuado mantenimiento de las estructuras de madera.

14.2 Mantenimiento de las estructuras de madera

- 1 A los efectos de este DB las distintas actuaciones y recomendaciones, relativas al mantenimiento, se establecen en tres bloques de criterios de la forma siguiente:
 - a) criterios de inspección, apartado 14.2.1;
 - b) criterios de reparación o modificación, apartado 14.2.2;
 - c) criterios de uso y conservación, apartado 14.2.3.

14.2.1 Criterios de inspección

- 1 El mantenimiento consiste en actuaciones periódicas tales como la inspección de los elementos estructurales, su limpieza y, en su caso, la renovación del tratamiento aplicado, para lo cual, se tendrán también, en cuenta:
 - a) la accesibilidad al elemento estructural;
 - b) el tipo de elemento estructural y de la madera que lo compone así como de los elementos de fijación;
 - c) las características del producto empleado inicialmente; protector, pintura, barniz, lasur, etc.;
 - d) las condiciones de preparación de las superficies y las condiciones ambientales para la aplicación de la protección así como contraindicaciones, si las hubiere.
- 2 Inspección:
 - a) se realizará una inspección después, y en el lugar, que se produzca una anomalía (como: aparición de manchas tras periodos de lluvias o rotura de una conducción, presencia de serrín, de orificios de salida de insectos xilófagos);
 - b) al menos una vez cada tres años se inspeccionarán, y en su caso limpiarán, las superficies vistas de los elementos estructurales anotando el estado de conservación y evaluando los deterioros si los hubiere;
 - c) si de la inspección se deduce que el deterioro puede afectar a la capacidad resistente del elemento estructural se tendrá en cuenta lo especificado en el apartado 14.2.2.
- 3 Renovación del tratamiento frente a agentes bióticos:
 - a) se efectuará cuando en la inspección se detecten indicios de ataques de organismos xilófagos o cuando el suministrador de la madera así lo haya indicado, en función del tipo de protección aplicada, duración de la eficacia del protector y clase de riesgo que deba cubrir;
 - b) el sistema de aplicación a utilizar será el adecuado para la obtención del tipo de protección que corresponda a cada clase de riesgo.
- 4 Renovación de revestimientos y de protectores decorativos (lasures):
 - a) se efectuará cuando en la inspección se detecte alguna anomalía en el revestimiento o protector decorativo (como decoloraciones, ampollas, desconchados, agrietamientos, etc.);

- b) en general para determinar la periodicidad y el tratamiento de la aplicación de los revestimientos y protectores decorativos de las superficies de cada elemento estructural se tendrá en cuenta lo especificado en la documentación técnica del proyecto así como el contenido del apartado 10.2.3;
- c) los revestimientos deteriorados se eliminarán sin producir una merma notable de la sección del elemento estructural (evitando cepillado, acuchillado, etc.);
- d) si durante la aplicación del revestimiento o del protector decorativo se deduce que el deterioro pueda afectar a la capacidad resistente del elemento estructural se tendrá en cuenta lo especificado en el apartado 14.2.2.

14.2.2 Criterios de reparación o modificación

- 1 Cuando se detecten deterioros importantes, en algún elemento de la estructura de madera, (como: deformaciones excesivas, defectos en las uniones) se consultará, a la mayor brevedad posible, a un técnico competente para que dictamine sobre las causas y en su caso la reparación o actuaciones que procedan.
- 2 En cualquier caso, la reparación de la estructura o la modificación de la sección o alteración de la forma de trabajo de un elemento estructural precisarán la intervención previa de un técnico competente.

14.2.3 Criterios de uso y conservación

- 1 Generalidades.

La propiedad conservará en su poder la documentación técnica de la obra ejecutada y en particular la relativa a los elementos estructurales de madera en la que figurarán las solicitudes y condiciones de uso para las que han sido proyectados.

- 2 Criterios específicos de uso.

Se evitará someter a los elementos estructurales a cargas o formas de trabajo distintas de las especificadas en la documentación técnica del proyecto o que puedan dañarlo, teniendo en cuenta en particular que:

- a) en soportes no deben apoyarse elementos que produzcan cargas horizontales importantes no previstas;
- b) en vigas o cerchas no deben colgarse cargas importantes no previstas;
- c) en muros no deben adosarse elementos o acopios importantes no previstos;
- d) en forjados no deben acumularse cargas de uso superiores a las previstas en el proyecto. A estos efectos, es recomendable, especialmente en locales comerciales y de almacenamiento, indicar en ellos de manera visible la limitación de sobrecarga a que quedan sujetos;
- e) se evitará cualquier uso que someta al forjado a humedad habitual o prolongada .

- 3 Criterios específicos de conservación:

- a) se procurará limpiar y ventilar diariamente todas las dependencias así como evitar, en ellas, la concentración de vapor de agua;
- b) para la aplicación del revestimiento protector, en las superficies de los elementos estructurales, se tendrán en cuenta, en su caso, los plazos establecidos en el proyecto, así como las indicaciones del fabricante del revestimiento.

Cuando dichos plazos no estén especificados se recomienda que, en general, se apliquen al menos una vez cada 3 años en las superficies de los elementos estructurales situadas al exterior, siendo conveniente coordinarlo con los plazos del mantenimiento del resto de la fachada, incluso la carpintería de huecos.

La conservación y el entretenimiento, en su caso, de los elementos mecánicos de unión (rótula, patín, etc.) de un elemento estructural se ajustará a lo especificado en la documentación técnica y las recomendaciones del fabricante del dispositivo de unión.

Anejo A. Terminología

- 1 En este apartado se recopilan solamente los términos propios de las estructuras de madera que se citan en el CTE pero no se definen expresamente.

Borde: Arista paralela al eje longitudinal de una pieza de madera de sección rectangular. Cada elemento mecánico de fijación debe situarse, en una determinada unión, a una distancia mínima del borde. Véase testa.

Capa de chapas de madera: Pieza plana formada por una, dos o más chapas de madera de la misma especie arbórea y con las mismas propiedades mecánicas. Cuando la forman dos o más chapas éstas van encoladas entre sí con la dirección de la fibra paralela. Véase tablero contrachapado.

Chapa de madera: Hoja de madera de espesor inferior a 7 mm obtenida, de un tronco de árbol maderable, por desenrollo o a la plana y con las que se conforma la capa de chapas de un tablero contrachapado.

Contenido de humedad de la madera: Masa de agua contenida en la madera, expresada en porcentaje respecto a su masa anhidra. Véase humedad de equilibrio higroscópico.

Cordones: Piezas principales, en soportes compuestos, de madera aserrada o de madera laminada encolada.

Dirección de la fibra: Dirección de las células alargadas que constituyen fundamentalmente la madera y son visibles en la superficie de cortes planos y paralelos al eje de un tronco de árbol maderable. En general, la dirección de la fibra, coincide con la dirección del eje longitudinal de la pieza de madera aserrada (tabla, tablón, etc.)

Elemento mecánico de fijación: Dispositivo de unión como clavo, tirafondo (tornillo rosca madera), pasador y perno.

Humedad de equilibrio higroscópico: Contenido de humedad de la madera cuando no intercambia vapor de agua con la atmósfera que la rodea, si se mantiene constante la pareja de valores higrotérmicos temperatura y humedad relativa del aire. A cada pareja de valores higrotérmicos corresponde, por tanto, una humedad de equilibrio higroscópico en la madera.

Lámina de madera: Cada una de las capas que conforman un elemento estructural de *madera laminada encolada*.

Una capa o *lámina de madera* está formada por tablas de *madera aserrada*, normalmente de la misma especie arbórea y de la misma clase resistente, empalmadas a testa, mediante uniones dentadas encoladas y, en su caso, también lateralmente de forma que cada lámina abarque toda la anchura y longitud de la correspondiente capa del elemento estructural.

Esta disposición garantiza que la *dirección de la fibra* de las tablas se corresponda, constantemente, con la dirección de la directriz de la *lámina de madera*.

Madera: Materia leñosa y lignocelulósica situada entre la médula y la corteza de un árbol o arbusto. Como material de construcción, en estructuras de madera, las especies arbóreas más utilizadas son las maderas de coníferas (grupo botánico de las gimnospermas) y las maderas de frondosas (grupo botánico de las dicotiledóneas). Véanse:

- madera aserrada;
- madera laminada encolada;
- tablero.

Madera aserrada: Pieza de madera maciza obtenida por aserrado del árbol generalmente escuadrada, es decir con caras paralelas entre sí y cantos perpendiculares a las mismas. Se la denomina, también:

- madera maciza (Véase, en madera maciza, otra acepción);
- madera estructural.

Madera de coníferas: Véase madera

Madera de frondosas: Véase madera

Madera estructural: Véase madera

Madera laminada encolada (elemento estructural de): Elemento estructural formado por láminas de madera, encoladas en varias capas superpuestas hasta conseguir la altura (canto mecánico) en cada sección transversal del elemento estructural proyectado. Véanse:

- madera laminada encolada homogénea;
- madera laminada encolada combinada.

Madera laminada encolada combinada (elemento estructural de): Elemento estructural de madera laminada encolada cuya sección transversal está constituida por láminas de madera de diferente clase resistente, de tal forma que las láminas extremas son de clase resistente superior a las internas (próximas al eje neutro de la sección).

Madera laminada encolada homogénea (elemento estructural de): Elemento estructural de madera laminada encolada cuya sección transversal está constituida por láminas de madera de la misma clase resistente.

Madera maciza: Denominación, muy extendida, para la madera aserrada y que puede extenderse a la madera de rollizo. En la determinación de la clase de riesgo de ataque por agentes biológicos se entenderá por madera maciza tanto la madera aserrada como la madera laminada encolada.

Madera microlaminada: Producto derivado de la madera para uso estructural fabricado con chapas de madera de pequeño espesor (del orden de 3 a 5 mm) encoladas con la misma dirección de la fibra. Con frecuencia es conocida con las siglas de su nombre en inglés, LVL.

Materia activa de un protector de la madera: Compuesto químico o sustancia incluida en un producto protector de la madera para dotarle de una actividad específica frente a los diversos tipos de agentes biológicos destructores de la madera.

Presilla: Pieza de madera que enlaza exteriormente, en cada tramo, todos los cordones de un soporte compuesto.

Producto derivado de la madera: Véase tablero

Separador: Pieza de madera que enlaza interiormente, en cada tramo, dos cordones de un soporte compuesto.

Tablero: Pieza en la que predominan la longitud y la anchura sobre el espesor, y en la que el elemento constitutivo principal es la madera. Se le conoce, también, como “producto derivado de la madera”. Véanse:

- tablero contrachapado;
- tablero de fibras;
- tablero de partículas (tablero aglomerado y tablero de virutas).

En las estructuras de madera, de los tableros anteriores, se utilizan solamente aquellos que, en las correspondientes normas UNE, se especifica para uso “estructural” o de “alta prestación estructural”. (Este último con propiedades de resistencia y de rigidez mayores que el análogo “estructural”).

Tablero aglomerado: Véase tablero de partículas.

Tablero contrachapado: Tablero formado por capas de chapas de madera encoladas de modo que las direcciones de las fibras de dos capas consecutivas formen un cierto ángulo, generalmente de 90°.

Tablero de fibras: Tablero formado por fibras lignocelulósicas mediante la aplicación de calor y/o presión. La cohesión se consigue por las propiedades adhesivas intrínsecas de las fibras o por adición de un aglomerante sintético. Véanse:

- tablero de fibras duro;
- tablero de fibras semiduro.

Tablero de fibras de densidad media: Tablero de fibras fabricado por el proceso en seco, empleando un aglomerante sintético así como presión y calor. Vulgarmente se conoce como tablero DM o MDF.

Tablero de fibras duro: Tablero de fibras fabricado por el proceso en húmedo que tiene una densidad mayor o igual a 900 kg/m^3 .

Tablero de fibras semiduro: Tablero de fibras fabricado por el proceso en húmedo que tiene una densidad comprendida entre 400 y 900 kg/m^3 . Si la densidad se sitúa entre 400 y 560 kg/m^3 se denominan tableros semiduros de baja densidad, y si la densidad se sitúa entre 560 y 900 kg/m^3 , se denominan tableros semiduros de alta densidad.

Tablero de madera maciza: Tablero fabricado fundamentalmente con tablas, tablillas o listones de madera unidos entre sí por distintos medios tales como el encolado, machihembrado, revestimiento con chapas, etc.

Tablero de partículas: Tablero formado por partículas de madera o de otro material leñoso, aglomeradas entre sí mediante un adhesivo y presión, a la temperatura adecuada.

El término “tablero de partículas” es sinónimo al de “tablero aglomerado”. La denominación correcta debería ser “tablero aglomerado de partículas de madera”, pero es más conocido por las denominaciones anteriores.

Tablero de virutas: Tablero de constitución similar al de partículas pero fabricado con virutas de mayores dimensiones. Sus propiedades mecánicas son mayores.

Tablero de virutas orientadas OSB (Oriented Strand Board): Tablero de virutas en el que las virutas de las capas externas están orientadas siguiendo la dirección longitudinal del tablero, por lo que las propiedades mecánicas del tablero se incrementan en esa dirección y disminuyen en la dirección perpendicular.

Testa: Extremo plano y perpendicular al eje longitudinal de una pieza de madera de sección rectangular. Cada elemento mecánico de fijación debe situarse, en una determinada unión, a una distancia mínima de la testa. Véase borde.

Viga mixta de alas delgadas encoladas: Viga formada por madera en el alma y tablero en las alas, encolado al alma.

Viga mixta de alma delgada encolada: Viga formada por tablero en el alma y madera en las alas, encolada al alma.

Anejo B. Notación y unidades

B.1 Notación

Mayúsculas Romanas

A	área; acción accidental
A_d	valor de cálculo de una acción accidental
A_k	valor característico de una acción accidental
C	valor fijado (en estados límites de servicio); coeficiente de "rigidez" (en arriostramiento)
C_d	valor fijado de cálculo (valor nominal, valor del límite admisible en estados límites de servicio)
C_e	coeficiente de esbeltez geométrica de vuelco lateral
E	efecto de las acciones; módulo de elasticidad
E_d	valor de cálculo de los efectos de las acciones
$E_{d,dst}$	valor de cálculo de los efectos de las acciones estabilizadoras
$E_{0,k}$	módulo de elasticidad característico paralelo a la fibra de la madera aserrada ($=E_{0,05}$)
$E_{0,g,k}$	módulo de elasticidad característico paralelo a la fibra de la madera laminada encolada ($=E_{0,05,g}$)
$E_{0,05}$	módulo de elasticidad característico, 5-percentil, paralelo a la fibra de la madera aserrada ($=E_{0,k}$)
$E_{0,05,g}$	módulo de elasticidad característico, 5-percentil, paralelo a la fibra de la madera laminada encolada ($=E_{0,g,k}$)
$E_{0,medio}$	módulo de elasticidad característico medio paralelo a la fibra de la madera aserrada
$E_{0,g,medio}$	módulo de elasticidad característico medio paralelo a la fibra de la madera laminada encolada
$E_{90,medio}$	módulo de elasticidad característico medio perpendicular a la fibra de la madera aserrada
$E_{90,g,medio}$	módulo de elasticidad característico medio perpendicular a la fibra de la madera laminada encolada
$E_{m,p}$	módulo de elasticidad característico medio en flexión del tablero estructural
$E_{t,p}$	módulo de elasticidad característico medio en tracción del tablero estructural
$E_{c,p}$	módulo de elasticidad característico medio en compresión del tablero estructural
F	acción; fuerza
F_d	valor de cálculo de una acción
F_k	valor característico de una acción
$F_{v,d}$	valor de cálculo de la resistencia al descuadre (muro diafragma)
G	acción permanente; módulo de elasticidad transversal
G_d	valor de cálculo de una acción permanente
G_k	valor característico de una acción permanente
$G_{k,inf(sup)}$	valor característico inferior (superior) de una acción permanente
G_{medio}	módulo de elasticidad transversal característico medio de la madera aserrada
$G_{g,medio}$	módulo de elasticidad transversal característico medio de la madera laminada encolada
$G_{v,p}$	módulo de elasticidad característico medio a cortante en el "grueso" del tablero estructural
I	momento de inercia
K_{ser}	módulo instantáneo de deslizamiento para estados límite de servicio. (Uniones con elementos mecánicos de fijación)
K_u	módulo instantáneo de deslizamiento para estados límite últimos. (Uniones con elementos mecánicos de fijación)
L	longitud
M	momento flector
$M_{ap,d}$	momento flector de cálculo en la sección del vértice (Vigas de madera laminada encolada con zona de vértice)
M_d	momento flector de cálculo
$M_{y,d}$	momento plástico de cálculo de un elemento mecánico de fijación
$M_{y,k}$	momento plástico característico de un elemento mecánico de fijación

N	fuerza (carga) axial; Esfuerzo normal
N _d	valor de cálculo de la carga axial a compresión
P	carga puntual (aislada)
Q	acción variable
Q _d	valor de cálculo de una acción variable
Q _k	valor característico de una acción variable
R	resistencia; reacción en el apoyo
R _{a,d}	valor de cálculo de la capacidad de carga axial ("al arranque") de un elemento mecánico de fijación. (Véase R _d)
R _d	valor de cálculo de la resistencia (=R(X _d , a _d ,...); respuesta estructural
R _d	valor de cálculo de la capacidad de carga lateral ("a cortadura") de un elemento mecánico de fijación. (Véase R _{a,d})
S	solicitación; momento estático (de primer orden)
S _d	valor de cálculo de la solicitación
S _z	momento estático del ala respecto al eje z (viga de alma delgada encolada)
V	esfuerzo cortante; volumen
V	volumen de la zona del vértice (Vigas de madera laminada encolada con zona de vértice)
V _o	volumen "de referencia" (≈0,01 m ³). (Vigas de madera laminada encolada con zona de vértice)
V _b	volumen total de la viga (Vigas de madera laminada encolada con zona de vértice)
V _d	esfuerzo cortante de cálculo
V _k	esfuerzo cortante característico
W	módulo resistente
X	valor de una propiedad de un material
X _d	valor de cálculo de una propiedad de un material
X _k	valor característico de una propiedad de un material

Minúsculas Romanas

a	dato geométrico; distancia; separación
a _d	valor de cálculo de un dato geométrico
a _{nom}	valor nominal de un dato geométrico
a ₁	separación entre elementos mecánicos de fijación, en dirección paralela a la fibra de la madera.
a ₂	separación entre elementos mecánicos de fijación, en dirección perpendicular a la fibra de la madera
a _{3,c}	separación entre el elemento mecánico de fijación y la "testa no cargada"
a _{3,t}	separación entre el elemento mecánico de fijación y la "testa cargada"
a _{4,c}	separación entre el elemento mecánico de fijación y el "borde no cargado"
a _{4,t}	separación entre el elemento mecánico de fijación y el "borde cargado"
b	dato geométrico; anchura
b _e	anchura debida al pandeo por abolladura (viga mixta de alas delgadas encoladas)
b _{ef}	anchura eficaz del ala comprimida (viga mixta de alas delgadas encoladas)
b _v	anchura debida al desfase del cortante (viga mixta de alas delgadas encoladas)
b _w	anchura del alma (vigas mixtas de alma o alas delgadas encoladas)
c	dato geométrico; distancia
d	diámetro de un elemento mecánico de fijación; distancia
e	excentricidad; espesor
f	resistencia de un material (propiedad resistente)

$f_{c,0,d}$	resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra de la madera aserrada
$f_{c,0,g,d}$	resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{c,p,d}$	resistencia de cálculo a compresión del tablero estructural
$f_{c,0,k}$	resistencia característica a compresión paralela a la fibra de la madera aserrada
$f_{c,0,g,k}$	resistencia característica a compresión paralela a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{c,90,d}$	resistencia de cálculo a compresión perpendicular a la fibra de la madera aserrada
$f_{c,90,g,d}$	resistencia de cálculo a compresión perpendicular a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{c,90,k}$	resistencia característica a compresión perpendicular a la fibra de la madera aserrada
$f_{c,90,g,k}$	resistencia característica a compresión perpendicular a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{c,p,k}$	resistencia característica a compresión del tablero estructural
$f_{h,d}$	resistencia de cálculo "al aplastamiento" en uniones con elementos mecánicos de fijación
$f_{h,1(2),d}$	resistencia de cálculo "al aplastamiento" para la longitud de entrega t_1 (t_2) en uniones con elementos mecánicos de fijación
$f_{h,k}$	resistencia característica "al aplastamiento" en uniones con elementos mecánicos de fijación
$f_{h,1(2),k}$	resistencia "al aplastamiento" característica para la longitud de entrega t_1 (t_2) en uniones con elementos mecánicos de fijación
$f_{m,d}$	resistencia de cálculo a flexión de la madera aserrada
$f_{m,g,d}$	resistencia de cálculo a flexión de la madera laminada encolada
$f_{m,p,d}$	resistencia de cálculo a flexión del tablero estructural
$f_{m,k}$	resistencia característica a flexión de la madera aserrada
$f_{m,g,k}$	resistencia característica a flexión de la madera laminada encolada
$f_{m,p,k}$	resistencia característica a flexión del tablero estructural
$f_{m,\alpha,d}$	resistencia de cálculo a flexión en el borde en el que la fibra forma un ángulo α con la superficie (Viga de madera laminada encolada de sección variable)
$f_{t,0,d}$	resistencia de cálculo a tracción paralela a la fibra de la madera aserrada
$f_{t,0,g,d}$	resistencia de cálculo a tracción paralela a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{t,90,d}$	resistencia de cálculo a tracción perpendicular a la fibra de la madera aserrada
$f_{t,90,g,d}$	resistencia de cálculo a tracción perpendicular a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{t,p,d}$	resistencia de cálculo a tracción del tablero estructural
$f_{t,0,k}$	resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la madera aserrada
$f_{t,0,g,k}$	resistencia característica a tracción paralela a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{t,90,k}$	resistencia característica a tracción perpendicular a la fibra de la madera aserrada
$f_{t,90,g,k}$	resistencia característica a tracción perpendicular a la fibra de la madera laminada encolada
$f_{t,p,k}$	resistencia característica a tracción del tablero estructural
$f_{u,k}$	resistencia característica a tracción del acero de un elemento mecánico de fijación
$f_{v,d}$	resistencia de cálculo a cortante de la madera aserrada
$f_{v,g,d}$	resistencia de cálculo a cortante de la madera laminada encolada
$f_{v,p,d}$	resistencia de cálculo a cortante en el "grueso" del tablero estructural (véase $f_{v,r,d}$)
$f_{v,r,d}$	resistencia de cálculo a cortante en el "plano" (a rodadura) del tablero estructural (véase $f_{v,p,d}$)
$f_{v,k}$	resistencia característica a cortante de la madera aserrada
$f_{v,g,k}$	resistencia característica a cortante de la madera laminada encolada
$f_{v,p,k}$	resistencia característica a cortante en el "grueso" del tablero estructural (véase $f_{v,r,k}$)
$f_{v,r,k}$	resistencia característica a cortante en el "plano" (a rodadura) del tablero estructural (véase $f_{v,p,k}$)
$f_{v,0,d}$	(= $f_{v,p,d}$) resistencia característica a cortante en el "grueso" del tablero. Se denomina, también, resistencia al "cortante de cizalladura"
$f_{v,90,d}$	(= $f_{v,r,d}$) resistencia característica a cortante en el "plano" del tablero. Se denomina, también, resistencia al "cortante de rodadura".
h	altura; canto; espesor
h_{ap}	canto en el vértice (vigas de madera laminada encolada con zona de vértice)
$h_{f,c}$	espesor ("canto") del ala comprimida (Vigas mixtas de alma o alas delgadas encoladas)
$h_{f,t}$	espesor ("canto") del ala traccionada (Vigas mixtas de alma o alas delgadas encoladas)
h_t	altura total del edificio (deformaciones horizontales de las estructuras de madera)
h_w	distancia entre el ala comprimida y el ala traccionada (vigas mixtas de alma o alas delgadas encoladas)
i	radio de giro
$i_{y(z)}$	radio de giro respecto al eje "y" ("z") (de la sección)
k	coeficiente; factor
k_c	factor por pandeo (soportes esbeltos)
$k_{c,y(z)}$	factor por pandeo respecto al eje "y" ("z"). (soportes esbeltos)
$k_{c,90}$	factor por relación de dimensiones (compresión perpendicular a la fibra de la madera)
k_{crit}	factor por vuelco lateral

k_{def}	factor por deformación diferida (factor reológico)
k_{dis}	factor por distribución de tensiones en la zona del vértice (vigas de madera laminada encolada con zona de vértice)
k_h	factor por altura (de la probeta ensayada)
k_{is}	factor por carga compartida
k_m	factor por tipo de sección (en flexión)
k_{mod}	factor de modificación (por duración de la carga y clase de servicio)
k_{vol}	factor por relación de volúmenes tensionados (vigas de madera laminada encolada con zona de vértice)
l	longitud; distancia; luz
l_k	longitud de pandeo
l_{ef}	longitud de vuelco lateral
m	número de tramos de longitud "a" (elementos comprimidos con "restricciones laterales")
n	número total de elementos mecánicos de fijación trabajando al unísono (uniones "a cortadura" o "al arranque")
n_{ef}	número eficaz del total de los n elementos mecánicos de fijación alineados con la dirección de la carga. (uniones "a cortadura")
q	carga lineal uniformemente repartida
r	radio medio en el "vértice" (vigas de madera laminada encolada con intradós curvo)
r_{in}	radio del intradós (vigas de madera laminada encolada con intradós curvo)
s	separación
s_{ef}	separación eficaz entre elementos mecánicos de fijación (véase a_1 y a_2)
$s_{máx}$	separación máxima entre elementos mecánicos de fijación
$s_{mín}$	separación mínima entre elementos mecánicos de fijación
t	espesor; longitud de entrega, en cada pieza de la unión, del elemento mecánico de fijación
t	espesor de la chapa de acero (uniones acero-madera)
$t_1(t_2)$	longitud de entrega del elemento mecánico de fijación en la pieza de la unión que contiene $t_1(t_2)$
u_{fin}	flecha final; deslizamiento final del elemento mecánico de fijación en la unión
u_{ins}	flecha instantánea; deslizamiento instantáneo del elemento mecánico de fijación en la unión
u_{net}	flecha neta respecto a la línea recta que une los apoyos
u_0	contraflecha de fabricación (si existe)

Mayúsculas Griegas

Δ	incremento; diferencia
Δ_a	incremento o margen de seguridad para un dato geométrico (desviación, tolerancia)
Σ	suma; sumatorio
ΣF	sumatorio de acciones

Minúsculas Griegas

α	ángulo; relación; coeficiente adimensional
α	ángulo formado por la dirección de la carga y la dirección de la fibra de la madera (compresión inclinada)
α	ángulo entre la arista superior y la horizontal (vigas de madera laminada encolada)
α	ángulo entre la línea de acción de la fuerza F y la dirección de la fibra de madera de la pieza ("Unión de fuerza" de dos piezas de madera)
β	ángulo; relación; coeficiente adimensional
β	coeficiente por condiciones de "restricciones en los extremos" (pandeo)
β	coeficiente adimensional ($=f_{h,2,k}/f_{h,1,k}$ relación de resistencias al aplastamiento del elemento mecánico de fijación en las longitudes de entrega t_2 y t_1 , respectivamente)
β_c	factor por tipo de madera: aserrada o laminada encolada (pandeo)
β_v	coeficiente por condiciones de carga y restricciones en los extremos (vuelco lateral de vigas)

γ	coeficiente parcial de seguridad
γ_A	coeficiente parcial de seguridad para una acción accidental A_k
γ_F	coeficiente parcial de seguridad para una acción F_k
$\gamma_{F,dst}$	coeficiente parcial de seguridad para una acción desestabilizadora $F_{dst,k}$
$\gamma_{F,stb}$	coeficiente parcial de seguridad para una acción estabilizadora $F_{stb,k}$
γ_G	coeficiente parcial de seguridad para una acción permanente G_k
γ_M	coeficiente parcial de seguridad para una propiedad del material X_k
γ_Q	coeficiente parcial de seguridad para una acción variable Q_k
λ	esbeltez mecánica (= l_k/i en pandeo de soportes)
$\lambda_{rel,m}$	esbeltez relativa a flexión ("vuelco lateral" de vigas)
$\lambda_{rel,y(z)}$	esbeltez relativa en pandeo de soportes (flectando alrededor del eje "y" ("z")).
$\lambda_{y,y(z)}$	esbeltez mecánica en el plano "y" ("z")
ϕ	giro; giro inicial en nudos de pórticos planos
ρ	densidad
ρ_k	densidad característica de la madera aserrada
$\rho_{g,k}$	densidad característica de la madera laminada encolada
ρ_{medio}	densidad media de la madera aserrada
$\rho_{g,medio}$	densidad media de la madera laminada encolada
$\rho_{p,k}$	densidad característica del tablero estructural
σ	tensión
$\sigma_{c,0,d}$	tensión de cálculo a compresión paralela a la fibra de la madera
$\sigma_{c,90,d}$	tensión de cálculo a compresión perpendicular a la fibra de la madera
$\sigma_{c,\alpha,d}$	tensión de cálculo a compresión inclinada (ángulo α) respecto a la fibra de la madera
$\sigma_{c,crit,y(z)}$	tensión de compresión crítica respecto al eje "y" ("z"). (pandeo)
$\sigma_{f,c,d}$	"valor medio" de la tensión de cálculo a compresión en el ala comprimida. (Vigas mixtas de alma o alas delgadas encoladas)
$\sigma_{f,t,d}$	"valor medio" de la tensión de cálculo a tracción en el ala traccionada. (Vigas mixtas de alma o alas delgadas encoladas)
σ_m	tensión de flexión
$\sigma_{m,0,d}$	tensión de cálculo a flexión en la fibra extrema del borde en el que la fibra es paralela respecto a la superficie de la viga, normalmente su cara inferior (vigas de madera laminada encolada)
$\sigma_{m,\alpha,d}$	tensión de cálculo a flexión en la fibra extrema del borde en el que la fibra está inclinada respecto a la superficie de la viga, normalmente su cara superior (vigas de madera laminada encolada)
$\sigma_{m,crit}$	tensión crítica de flexión
$\sigma_{m,d}$	tensión de cálculo a flexión
$\sigma_{m,y(z),d}$	tensión de cálculo a flexión respecto al eje "y" ("z")
$\sigma_{t,0,d}$	tensión de cálculo a tracción paralela a la fibra de la madera
$\sigma_{t,90,d}$	tensión de cálculo a tracción perpendicular a la fibra de la madera
$\sigma_{w,c,d}$	tensión de cálculo a compresión en el alma. (Vigas mixtas de alma delgada)
$\sigma_{w,t,d}$	tensión de cálculo a tracción en el alma. (Vigas mixtas de alma delgada)
τ	tensión tangente; tensión cortante
$\tau_{medio,d}$	tensión tangente de cálculo en la superficie de contacto madera-tablero (Vigas mixtas de alma o alas delgadas encoladas)
$\tau_{tor,d}$	tensión de cálculo a torsión

B.2 Unidades

- Se utiliza el Sistema Internacional de Unidades de Medida, SI.
- Para los cálculos se recomienda el uso de las unidades siguientes:
 - fuerzas y cargas: kN, kN/m, kN/m²
 - masa: kg
 - longitud: m, mm
 - tensiones: N/mm²

- momentos: $\text{kN} \cdot \text{m}$

- 4 A efectos prácticos se podrá considerar la siguiente correspondencia entre las unidades de fuerza de los sistemas MKS y SI: 1 kilopondio [1 kp] = 10 Newton [10 N]

Anejo C. Asignación de clase resistente. Madera aserrada.

C.1 Generalidades

- 1 Debido a la gran variedad de especies de madera, las diversas procedencias y las diferentes normas de clasificación se recurre al sistema de Clases Resistentes, para evitar una excesiva complejidad en la combinación de especies y calidades reuniendo en un número limitados de grupos de forma conjunta especies-calidades con propiedades similares.
- 2 El sistema está basado en el procedimiento de asignar Clase Resistente, mediante una norma de Clasificación por Calidades, a una especie arbórea de procedencia conocida y de la cual se han determinado previamente sus propiedades mecánicas de acuerdo con ensayos normalizados.
- 3 La norma de Clasificación por Calidades, de especies y procedencias, que asigna Clase Resistente es competencia, normalmente, del organismo de normalización del país que publica la norma y ésta garantiza que los valores de las propiedades, de la madera aserrada así clasificada, son mayores o iguales a los que corresponden para la Clase Resistente asignada.
- 4 Este sistema permite al proyectista que, especificada una Clase Resistente, pueda utilizar, en el cálculo, los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociados a dicha Clase Resistente.
- 5 Véanse los valores asociados en el anejo E: Tabla E.1 para coníferas y chopo y Tabla E.2 para frondosas.
- 6 En el apartado C.2 se incluye, con carácter informativo y operativo, una selección del contenido de las normas UNE EN 1912 y UNE 56.544 relativas a la asignación de Clase Resistente a la madera aserrada.

C.2 Asignación de Clase Resistente a partir de la Calidad de la especie arbórea.

- 1 En la tabla C.1 se establece para la madera aserrada, con carácter informativo y no exhaustivo, la asignación de Clase Resistente, en función de la Calidad según la norma de clasificación (Véase apartado C.2), la especie arbórea y la procedencia consideradas (Véase apartado C.3)

Tabla C.1. Asignación de Clase Resistente para diferentes especies arbóreas y procedencias según normas de clasificación.

Norma	Especie (Procedencia)	Clase resistente									
		C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30	C35	D35	D40
UNE 56.544	Pino silvestre (España)	-	-	ME-2	-	-	ME-1	-	-	-	-
	Pino pinaster (España)	-	-	ME-2	-	ME-1	-	-	-	-	-
	Pino insignis (España)	-	-	ME-2	-	ME-1	-	-	-	-	-
	Pino laricio (España)	-	-	ME-2	-	-	-	ME-1	-	-	-
NF B 52.001-4	Abeto (Francia)	-	-	-	ST-III	ST-II	-	ST-I	-	-	-
	Falso abeto (Francia)	-	-	-	ST-III	ST-II	-	ST-I	-	-	-
	Pino oregón (Francia)	-	-	-	ST-III	ST-II	-	-	-	-	-
	Pino pinaster (Francia)	-	-	ST-III	-	ST-II	-	-	-	-	-
DIN 4074	Abeto (Europa: Central, N y E)	-	S7	-	-	S10	-	S13	-	-	-
	Falso abeto (Europa: Central, N y E)	-	S7	-	-	S10	-	S13	-	-	-
	Pino silvestre (Europa: Central, N y E)	-	S7	-	-	S10	-	S13	-	-	-
INSTA 142	Abeto (Europa: N y NE)	T0	-	T1	-	T2	-	T3	-	-	-
	Falso abeto (Europa: N y NE)	T0	-	T1	-	T2	-	T3	-	-	-
	Pino silvestre (Europa: N y NE)	T0	-	T1	-	T2	-	T3	-	-	-
BS 4978	Abeto (Reino Unido)	-	GS	-	-	SS	-	-	-	-	-
	Pino silvestre (Reino Unido).	-	GS	-	-	SS	-	-	-	-	-
BS 5756	Iroko (Africa)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	HS
	Jarrah (Australia)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	HS
	Teca (Africa y Asia SE)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	HS

Nota: La norma UNE EN 14081-4 establece para las distintas especies maderables europeas, cuales son las asignaciones de clases resistentes aplicables a las maderas clasificadas mecánicamente mediante el uso de máquinas tipo “Cook-Bolinder” y “Computermatic”.

C.3 Relación de normas de clasificación

- 1 En la tabla C.2 se incluye la relación de las normas de Clasificación por Calidades, citadas en la Tabla C.1, de la madera aserrada estructural.

Tabla C.2. Normas de Clasificación, citadas en la Tabla C.1.

Norma de Clasificación	País	Calidades
UNE 56.544 "Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural".	España	ME-1 ME-2
NF B 52.001-4 "Règles d'utilisation du bois dans les constructions. Partie-4. Classement visuel pour l'emploi en structures pour les principales essences résineuses et feuillues".	Francia	ST-I ST-II ST-III
DIN 4074 Teil 1. "Sortierung von Nadelholz nach er Tragfähigkeit, Nadelschnittholz	Alemania	S13 S10 S7
INSTA 142. "Nordic visual stress grading rules for timber".	Países Nórdicos	T3 T2 T1 T0
BS 4978. Sections 1 and 2. "Softwood grades for structural use".	Reino Unido	SS GS
BS 5756. "Tropical hardwood grades for structural use".	Reino Unido	HS

C.4 Relación de especies arbóreas

- 1 En la tabla C.3 se incluye la relación de las especies arbóreas, citadas en la Tabla C.1, indicando el nombre botánico, y su procedencia.
- 2 Otras denominaciones posibles de la especie arbórea, locales o comerciales, se identificarán por su nombre botánico.

Tabla C.3. Especies arbóreas, citadas en la Tabla C.1.

Especie arbórea	Nombre botánico	Procedencia
Abeto	<i>Abies alba</i> . Mill.	Austria Europa: C, N, E y NE Francia Holanda Reino Unido
Chopo	<i>Populus</i> sp.	España
Falso abeto	<i>Picea abies</i> Karst.	Francia Europa: C, N, E y NE
Iroko	<i>Milicia excelsa</i> y <i>regia</i>	Africa
Jarrah	<i>Eucalyptus marginata</i> sm.	Australia
Pino insignis	<i>Pinus radiata</i> D. Don.	España
Pino laricio	<i>Pinus nigra</i> Arnold.	España
Pino Oregón	<i>Pseudotsuga menziessii</i> Fr.	Canadá EE.UU Francia
Pino pinaster	<i>Pinus pinaster</i> Ait.	España Francia
Pino silvestre	<i>Pinus sylvestris</i> L.	Austria España Europa: C, N, E y NE Holanda Reino Unido
Teca	<i>Tectona grandis</i> L.	Africa Asia SE

Anejo D: Asignación de clase resistente. Madera laminada encolada

D.1 Generalidades

- 1 Debido a la gran variedad de posibilidades de conformar la madera laminada encolada, en un elemento estructural, y las diferentes normas de clasificación se establecen previamente, mediante normas, unos requisitos mínimos de fabricación y se recurre al sistema de Clases Resistentes, para evitar una excesiva complejidad, reuniendo en un número limitado los grupos con propiedades similares.
- 2 El sistema está basado en el procedimiento de asignar una Clase Resistente a la madera laminada encolada, de un elemento estructural, mediante una de las dos opciones siguientes:
 - a) experimentalmente, con ensayos normalizados, según el apartado D.2;
 - b) deducida teóricamente a partir de las propiedades de las láminas de madera, que conforman el elemento estructural, según el apartado D.3.
- 3 La opción elegida, de las dos anteriores, que asigna Clase Resistente es competencia, normalmente, del fabricante del elemento estructural y éste garantizará que los valores de las propiedades, de la madera laminada encolada así clasificada, son mayores o iguales a los que corresponden para la Clase Resistente asignada.
- 4 Este sistema permite al proyectista que, especificada una Clase Resistente, pueda utilizar, en el cálculo, los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociados a dicha Clase Resistente.
- 5 Véanse los valores asociados en el anejo E: tabla E.3 para madera laminada encolada homogénea y tabla E.4 para madera laminada encolada combinada.
- 6 En el apartado D.4 se incluye, con carácter informativo y operativo, una selección de correspondencias entre Clases Resistentes de madera laminada encolada y de madera aserrada empleada en las láminas.

D.2 Asignación de clase resistente mediante ensayos

- 1 La asignación de Clase Resistente a la madera laminada encolada se obtiene, en este caso, mediante ensayos de acuerdo con las normas siguientes: UNE EN 408;y UNE EN 1194.

Los valores obtenidos de las propiedades, mediante ensayos, deben ser superiores, o iguales, a los correspondientes a la Clase Resistente a asignar.

D.3 Asignación de clase resistente mediante fórmulas

- 1 La asignación de Clase Resistente a la madera laminada encolada se obtiene, en este caso, mediante cálculo aplicando las expresiones matemáticas que figuran en la norma UNE EN 1194; para lo cual es preciso conocer, previamente, los valores característicos de las propiedades de la madera aserrada a emplear en las láminas, de acuerdo con lo establecido en el anejo E.
- 2 En madera laminada combinada las expresiones se aplican a las propiedades de las partes individuales de la sección transversal. El análisis de las tensiones puede realizarse basándose en la hipótesis de la deformación plana de la sección. La comprobación de la resistencia debe realizarse en todos los puntos relevantes de la sección transversal.
- 3 Los valores de las propiedades obtenidos mediante las expresiones que figuran en la norma UNE EN 1194 deben ser superiores o iguales a los correspondientes a la Clase Resistente a asignar.

Tabla D.1. Propiedades de la madera laminada encolada calculadas a partir de las propiedades de las láminas fabricadas con madera de coníferas de Clase Resistente C24

Propiedades		Expresión y valor obtenido
Resistencia, en N/mm²	$f_{m,g,k}$	$f_{m,g,k} = 7 + 1,15 f_{t,0,k} = 23,1$
- Flexión		
- Tracción paralela	$f_{t,0,g,k}$	$f_{t,0,g,k} = 5 + 0,8 f_{t,0,k} = 16,2$
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,g,k}$	$f_{t,90,g,k} = 0,2 + 0,015 f_{t,0,k} = 0,4$
- Compresión paralela	$f_{c,0,g,k}$	$f_{c,0,g,k} = 7,2 (f_{t,0,k})^{0,45} = 23,6$
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,g,k}$	$f_{c,90,g,k} = 0,7 (f_{t,0,k})^{0,5} = 2,6$
- Cortante	$f_{v,g,k}$	$f_{v,g,k} = 0,32 (f_{t,0,k})^{0,8} = 2,6$
Rigidez, en kN/mm²		
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,g,medio}$	$E_{0,g,medio} = 1,05 E_{0,medio} = 11,55$
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o percentil	$E_{0,g,k}$	$E_{0,g,k} = 0,85 E_{0,medio} = 9,35$
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,g,medio}$	$E_{90,g,medio} = 0,035 E_{0,medio} = 0,385$
- Módulo de elasticidad transversal medio	$G_{g, medio}$	$G_{g, medio} = 0,065 E_{0,medio} = 0,715$
Densidad, en kg/m³		
- Densidad característica	$\rho_{g,k}$	$\rho_{g,k} = 1,10 \rho_k = 385$

D.4 Correspondencia entre Clases Resistentes de madera laminada encolada y madera aserrada

- En la tabla D.2 se indican algunas correspondencias conocidas entre las Clases Resistentes de la madera laminada encolada y las Clases Resistentes de la madera aserrada con las que se fabrican las láminas.

Tabla D.2 Correspondencias conocidas entre Clases Resistentes de madera laminada encolada y de madera aserrada

Madera laminada encolada homogénea	Clases resistentes		
	GL24h	GL28h	GL32h
- Todas las láminas	C24	C30	C40
Madera laminada encolada combinada	GL24c	GL28c	GL32c
- Láminas externas ⁽¹⁾	C24	C30	C40
- Láminas internas	C18	C24	C30

⁽¹⁾ Los requisitos se aplican al sexto del canto extremo de cada lado con un mínimo de 2 láminas.

Anejo E. Valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad. Madera aserrada, madera laminada, encolada y tableros

E.1 Madera aserrada

E.1.1 Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente de la madera aserrada

- 1 En la tabla E.1 se indican los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociadas a cada Clase Resistente para las especies de coníferas y chopo y en la tabla E.2 para las especies frondosas.

Tabla E.1 Madera aserrada. Especies de coníferas y chopo. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		Clase resistente											
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50
Resistencia (característica) en N/mm ²													
- Flexión	f _{m,k}	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50
- Tracción paralela	f _{t,0,k}	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30
- Tracción perpendicular.	f _{t,90,k}	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
- Compresión paralela	f _{c,0,k}	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29
-Compresión perpendicular	f _{c,90,k}	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2
- Cortante	f _{v,k}	1,7	1,8	2,0	2,2	2,4	2,5	2,8	3,0	3,4	3,8	3,8	3,8
Rigidez, en kN/mm ²													
- Módulo de elasticidad paralelo medio	E _{0,medio}	7	8	9	9,5	10	11	12	12	13	14	15	16
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	E _{0,k}	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	8,0	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	E _{90,medio}	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,40	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53
- Módulo transversal medio	G _{medio}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,75	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m ³													
- Densidad característica	ρ _k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460
- Densidad media	ρ _{medio}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550

Tabla E.2 Madera aserrada. Especies frondosas
Valores de las propiedades asociadas a cada Clase resistente

Propiedades		Clase Resistente					
		D30	D35	D40	D50	D60	D70
Resistencia (característica), en N/mm²							
- Flexión	f _{m,k}	30	35	40	50	60	70
- Tracción paralela	f _{t,0,k}	18	21	24	30	36	42
- Tracción perpendicular.	f _{t,90,k}	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
- Compresión paralela	f _{c,0,k}	23	25	26	29	32	34
-Compresión perpendicular.	f _{c,90,k}	8,0	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
- Cortante	f _{v,k}	3,0	3,4	3,8	4,6	5,3	6,0
Rigidez, kN/mm²							
- Módulo de elasticidad paralelo medio	E _{0,medio}	10	10	11	14	17	20
- Módulo de elasticidad paralelo 5º-percentil	E _{0,k}	8,0	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	E _{90,medio}	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
- Módulo transversal medio	G _{medio}	0,60	0,65	0,70	0,88	1,06	1,25
Densidad, kg/m³							
- Densidad característica	ρ _k	530	560	590	650	700	900
- Densidad media	ρ _{medio}	640	670	700	780	840	1080

E.2 Madera laminada encolada

E.2.1 Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente de la madera laminada encolada

- 1 En la tabla E.3, se indican los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociadas a cada Clase Resistente de “madera laminada encolada homogénea” y en la tabla C.4 para la “madera laminada encolada combinada”.

Tabla E.3 Madera laminada encolada homogénea. Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Propiedades		Clase Resistente			
		GL24h	GL28h	GL32h	GL36h
Resistencia (característica), en N/mm²					
- Flexión	$f_{m,g,k}$	24	28	32	36
- Tracción paralela	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26
- Tracción perpendicular	$f_{t,90,g,k}$	0,4	0,45	0,5	0,6
- Compresión paralela	$f_{c,0,g,k}$	24	26,5	29	31
- Compresión perpendicular	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
- Cortante	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Rigidez, en kN/mm²					
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,g,medio}$	11,6	12,6	13,7	14,7
- Módulo de elasticidad paralelo 5 ^o -percentil	$E_{0,g,k}$	9,4	10,2	11,1	11,9
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,g,medio}$	0,39	0,42	0,46	0,49
- Módulo transversal medio	$G_{g,medio}$	0,72	0,78	0,85	0,91
Densidad, en kg/m³					
Densidad característica	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

Tabla E.4 Madera laminada encolada combinada.
Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente

Valores de las propiedades asociadas a cada Clase Resistente					
Propiedades		Clase Resistente			
		GL24c	GL28c	GL32c	GL36c
Resistencia (característica), en N/mm²					
- Flexión	f _{m,g,k}	24	28	32	36
- Tracción paralela	f _{t,0,g,k}	14	16,5	19,5	22,5
- Tracción perpendicular.	f _{t,90,g,k}	0,35	0,4	0,45	0,5
- Compresión paralela	f _{c,0,g,k}	21	24	26,5	29
- Compresión perpendicular	f _{c,90,g,k}	2,4	2,7	3,0	3,3
- Cortante	f _{v,g,k}	2,2	2,7	3,2	3,8
Rigidez, en kN/mm²					
- Módulo de elasticidad paralelo medio	E _{0,g,medio}	11,6	12,6	13,7	14,7
- Módulo de elasticidad paralelo 5º-percentil	E _{0,g,k}	9,4	10,2	11,1	11,9
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	E _{90,g,medio}	0,32	0,39	0,42	0,46
- Módulo transversal medio	G _{g,medio}	0,59	0,72	0,78	0,85
Densidad, en kg/m³					
- Densidad característica	ρ _{g,k}	350	380	410	430

E.3 Tableros

- En los apartados E.3.1 a E.3.3 se establecen los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociados a los tipos de tableros y al ambiente en el que se utilizan. Los ambientes se corresponden con:
 - ambiente seco: Clase de servicio 1, de capítulo 3 y Clase de riesgo 1, de capítulo 3.
 - ambiente húmedo: Clase de servicio 2, de capítulo 3 y Clases de riesgo 1, de capítulo 3.
 - ambiente exterior: Exposición a la intemperie. Clases de riesgo 1, 2 y 3 de capítulo 3
- En las tablas siguientes (Véase UNE EN 789):
 - “cortante en el grueso” es equivalente a “cortante de cizalladura”;
 - “cortante en el plano” es equivalente a “cortante de rodadura”.
- Cuando no se preste a confusión, los siguientes tableros de partículas se denominan:
 - UNE EN 312-4 ó “P4”;
 - UNE EN 312-5 ó “P5”;
 - UNE EN 312-6 ó “P6”;
 - UNE EN 312-7 ó “P7”.

E.3.1 Tablero de partículas

E.3.1.1 Valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad de los tableros de partículas

- 1 En las tablas E.5 a E.8 se indican los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociadas a cada tipo de tablero de partículas y ambiente en el que se utilizan

Tabla E.5 Tableros de partículas estructurales para su uso en ambiente seco (UNE EN 312-4). Valores de las propiedades

Propiedades		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia (característica), en N/mm^2							
- Flexión	$f_{m,p,k}$	14,2	12,5	10,8	9,2	7,5	5,8
- Tracción	$f_{t,p,k}$	8,9	7,9	6,9	6,1	5,0	4,4
- Compresión	$f_{c,p,k}$	12,0	11,1	9,6	9,0	7,6	6,1
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	6,6	6,1	5,5	4,8	4,4	4,2
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Rigidez (media), en N/mm^2							
- A flexión	$E_{m,p}$	3200	2900	2700	2400	2100	1800
- A tracción	$E_{t,p}$	1800	1700	1600	1400	1200	1100
- A compresión	$E_{c,p}$	1800	1700	1600	1400	1200	1100
- A cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	860	830	770	680	600	550
Densidad, en kg/m^3							
- Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla E.6 Tableros de partículas estructurales para su uso en ambiente húmedo (UNE EN 312-5). Valores de las propiedades

Propiedades		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia (característica), en N/mm^2							
- Flexión	$f_{m,p,k}$	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	7,5
- Tracción	$f_{t,p,k}$	9,4	8,5	7,4	6,6	5,6	5,6
- Compresión	$f_{c,p,k}$	12,7	11,8	10,3	9,8	8,5	7,8
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	7,0	6,5	5,9	5,2	4,8	4,4
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
Rigidez (media), en N/mm^2							
- A flexión	$E_{m,p}$	3500	3300	3000	2600	2400	2100
- A tracción	$E_{t,p}$	2000	1900	1800	1500	1400	1300
- A compresión	$E_{c,p}$	2000	1900	1800	1500	1400	1300
- A cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	960	930	860	750	690	660
Densidad, en kg/m^3							
- Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla E.7 Tableros de partículas de alta prestación estructural para su uso en ambiente seco (UNE EN 312-6). Valores de las propiedades

Propiedades		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
		>6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia (característica), en N/mm^2							
- Flexión	$f_{m,p,k}$	16,5	15,0	13,3	12,5	11,7	10,0
- Tracción	$f_{t,p,k}$	10,5	9,5	8,5	8,3	7,8	7,5
- Compresión	$f_{c,p,k}$	14,1	13,3	12,8	12,2	11,9	10,4
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	7,8	7,3	6,8	6,5	6,0	5,5
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	1,9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Rigidez (media), en N/mm^2							
- A flexión	$E_{m,p}$	4400	4100	3500	3300	3100	2800
- A tracción	$E_{t,p}$	2500	2400	2100	1900	1800	1700
- A compresión	$E_{c,p}$	2500	2400	2100	1900	1800	1700
- A cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	1200	1150	1050	950	900	880
Densidad, en kg/m^3							
- Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla E.8 Tableros de partículas de alta prestación estructural para su uso en ambiente húmedo (UNE EN 312-7). Valores de las propiedades

Propiedades		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia (característica), en N/mm ²							
- Flexión	$f_{m,p,k}$	18,3	16,7	15,4	14,2	13,3	12,5
- Tracción	$f_{t,p,k}$	11,5	10,6	9,8	9,4	9,0	8,0
- Compresión	$f_{c,p,k}$	15,5	14,7	13,7	13,5	13,2	13,0
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	8,6	8,1	7,9	7,4	7,2	7,0
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	2,4	2,2	2,0	1,9	1,9	1,8
Rigidez (media), en N/mm ²							
- A flexión	$E_{m,p}$	4600	4200	4000	3900	3500	3200
- A tracción	$E_{t,p}$	2600	2500	2400	2300	2100	2000
- A compresión	$E_{c,p}$	2600	2500	2400	2300	2100	2000
- A cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	1250	1200	1150	1100	1050	1000
Densidad, en kg/m ³							
- Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

E.3.2 Tablero de fibras

E.3.2.1 Valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad de los tableros de fibras

- 1 En las tablas C9 y C10 se indican los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociadas a cada tipo de tablero de fibras y ambiente en el que se utilizan.

Tabla C9 Tableros de fibras duros y semiduros estructurales. Valores de las propiedades

Propiedades		Duros (UNE EN 622-2) Para su uso en ambiente húmedo			Semiduros (UNE EN 622-3) Para su uso en ambiente seco	
		Espesor nominal, t_{nom} , en mm			Espesor nominal, t_{nom} , en mm	
		$\leq 3,5$	$> 3,5$ a 5,5	$> 5,5$	≤ 10	> 10
Resistencia (característica), en N/mm2						
- Flexión	$f_{m,p,k}$	37,0	35,0	32,0	17,0	15,0
- Tracción	$f_{t,p,k}$	27,0	26,0	23,0	9,0	8,0
- Compresión	$f_{c,p,k}$	28,0	27,0	24,0	9,0	8,0
- Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	19,0	18,0	16,0	5,5	4,5
- Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	3,0	3,0	2,5	0,3	0,25
Rigidez (media), en N/mm²						
- A flexión	$E_{m,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
- A tracción	$E_{t,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
- A compresión	$E_{c,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
- A cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	2100	2000	1900	1300	1200
Densidad, en kg/m³						
- Característica	$\rho_{p,k}$	900	850	800	650	600

Tabla C10 Tableros de fibras estructurales fabricados por proceso seco (MDF). Valores de las propiedades

Propiedades		MDF-LA (UNE EN 622-5) Para su uso en ambiente seco				MDF-HLS (UNE EN 622-5) Para su uso en ambiente Húmedo ⁽¹⁾			
		Espesor nominal, t _{nom} , en mm				Espesor nominal, t _{nom} , en mm			
		>1,8 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30	>1,8 a 12	>12 a 19	> 19 a 30	>30
Resistencia (característica), en N/mm²									
- Flexión	f _{m,p,k}	21,0	21,0	21,0	19,0	22,0	22,0	21,0	18,0
- Tracción	f _{t,p,k}	13,0	12,5	12,0	10,0	18,0	16,5	16,0	13,0
- Compresión	f _{c,p,k}	13,0	12,5	12,0	10,0	18,0	16,5	16,0	13,0
- Cortante, en el grueso	f _{v,p,k}	6,5	6,5	6,5	5,0	8,5	8,5	8,5	7,0
- Cortante, en el plano	f _{r,p,k} ^(**)	-	-	-	-	- ⁽²⁾	-	-	-
Rigidez (media), en N/mm²									
- A flexión	E _{m,p}	3700	3000	2900	2700	3700	3200	3100	2800
- A tracción	E _{t,p}	2900	2700	2000	1600	3100	2800	2700	2400
- A compresión	E _{c,p}	2900	2700	2000	1600	3100	2800	2700	2400
- A cortante, en el grueso	(G) _{v,p}	800	800	800	600	1000	1000	1000	800
Densidad, en kg/m³									
- Característica	ρ _{p,k}	650	600	550	500	650	600	550	500

⁽¹⁾ En ambiente húmedo solo podrá usarse para cargas instantáneas o de corta duración.

⁽²⁾ El valor de $f_{r,p,k}$ lo declarará el fabricante del tablero MDF-LA o del tablero MDF-HLS.

E.3.3 Tablero contrachapado

E.3.3.1 Valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad de los tableros contrachapados

- 1 Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros contrachapados deben ser aportados por el fabricante de acuerdo con la normativa de ensayo UNE EN 789 y la UNE EN 1058.

Anejo F. Valores orientativos de humedad de equilibrio de la madera, con uso en exterior protegido de la lluvia

- 1 En la tabla F.1, para la madera con uso en lugares abiertos pero protegidos de la lluvia, se establecen los valores de la humedad de equilibrio higroscópico (máximas y mínimas anuales), para las distintas capitales de provincia, asociados a las siguientes parejas de valores higrotérmicos, temperatura (T) y humedad relativa media (HR) del aire del mes más húmedo y del mes más seco.

Tabla F.1 Valores orientativos de la humedad de equilibrio higroscópico (máximas y mínimas anuales), de la madera con uso en lugares abiertos pero protegidos de la lluvia. Capitales de provincia

Capital	Mes más húmedo		Humedad de equilibrio (%)	Mes más seco		Humedad de equilibrio (%)
	T (°C)	HR (%)	Máxima anual	T (°C)	HR (%)	Mínima anual
Albacete	4	82	17,2	24	47	8,5
Alicante	19	69	12,7	26	61	10,8
Almería	16	76	15,0	25	72	13,4
Ávila	2	82	17,2	20	42	8,0
Badajoz	9	80	16,2	26	40	7,5
Barcelona	22	74	14,1	24	67	12,1
Bilbao	10	83	17,7	12	70	13,3
Burgos	3	89	20,7	19	59	10,6
Cáceres	8	77	15,3	26	33	6,5
Cádiz	13	82	17,2	25	66	11,9
Castellón	25	65	11,6	11	59	10,9
Ciudad Real	5	73	14,1	26	56	9,9
Córdoba	10	78	15,6	28	41	7,7
Cuenca	3	80	16,2	22	48	8,9
Gerona	8	75	14,7	24	62	11,0
Granada	7	76	15,0	25	39	7,4
Guadalajara	6	83	17,7	24	44	8,1
Huelva	12	76	15,0	25	53	9,5
Huesca	5	82	17,2	23	51	9,4
Jaén	9	81	16,7	28	49	8,9
La Coruña	15	81	16,7	12	76	15,0
Las Palmas	23	80	16,0	19	74	14,2
León	3	85	18,7	20	52	9,5
Lérida	6	85	18,7	25	49	8,8
Logroño	6	80	16,2	22	60	10,8
Lugo	6	87	19,7	18	72	13,6
Madrid	6	79	15,9	24	42	7,8
Málaga	16	72	13,8	26	63	11,2
Murcia	12	68	12,8	26	52	9,3
Orense	7	84	18,2	22	64	11,5
Oviedo	7	78	15,6	9	75	14,1
Palencia	4	82	17,2	21	52	9,5
Palma de Mallorca	10	83	17,7	21	69	12,8
Pamplona	5	79	15,9	20	59	10,6
Pontevedra	10	83	17,7	20	69	12,8
Salamanca	4	83	17,7	22	48	8,9
San Sebastián	19	82	16,9	11	70	13,3
Santander	17	81	16,7	12	74	14,4
Segovia	2	81	16,7	22	45	8,4
Sevilla	11	80	16,2	28	49	8,9
Soria	3	84	18,2	20	53	9,7
Tarragona	17	72	13,8	10	66	12,4
S. C. Tenerife	19	65	11,9	24	55	9,8
Teruel	4	80	16,2	22	69	12,8
Toledo	6	78	15,6	26	37	7,1
Valencia	18	74	14,2	18	67	12,3
Valladolid	4	84	18,2	20	40	7,7
Vitoria	5	87	19,7	19	71	13,3
Zamora	4	87	19,7	21	59	10,6
Zaragoza	7	75	14,1	24	50	9,0

Anejo G. Longitudes de pandeo

G.1 Introducción

- 1 Este anejo permite la determinación de la longitud de pandeo de barras de algunos tipos estructurales para analizar la inestabilidad de pandeo por flexión, mediante la consideración de barras equivalentes.

G.2 Longitud de pandeo

- 1 La longitud de barra equivalente (longitud de pandeo) l_k , se calcula mediante la siguiente expresión:

$$L_k = \beta \cdot s \text{ ó } l_k = \beta \cdot h \quad (G.1)$$

siendo:

β coeficiente definido según la tabla G.1;
s o h longitudes definidas en la tabla G.1.

Si se tiene en cuenta la influencia en la deformación del cortante, la longitud de barra equivalente para secciones rectangulares, se puede obtener de la siguiente expresión:

$$l_k = \beta \cdot s \cdot \sqrt{1 + \frac{E \cdot I \cdot \pi^2}{(\beta \cdot s)^2 \cdot S}} \text{ ó } l_k = \beta \cdot h \cdot \sqrt{1 + \frac{E \cdot I \cdot \pi^2}{(\beta \cdot h)^2 \cdot S}} \quad (G.2)$$

siendo:

$$S = G \cdot A / 1,2 \quad (G.3)$$

donde:

G módulo de elasticidad transversal característico;
A superficie de la sección;
E módulo de elasticidad longitudinal característico;
I momento de inercia de la sección.

Tabla G.1. Coeficientes de la longitud de pandeo β para barras

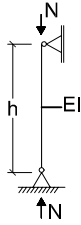
Sistema estructural		Coeficientes β
1	Pilar Biarticulado	
		$\beta = 1$

Tabla G.1. Coeficientes de la longitud de pandeo β para barras

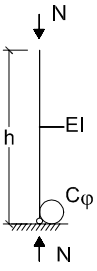
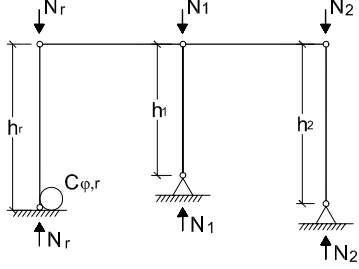
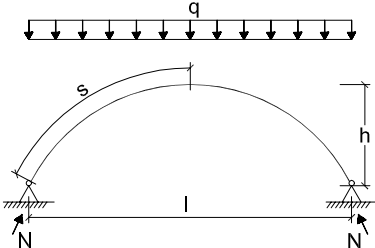
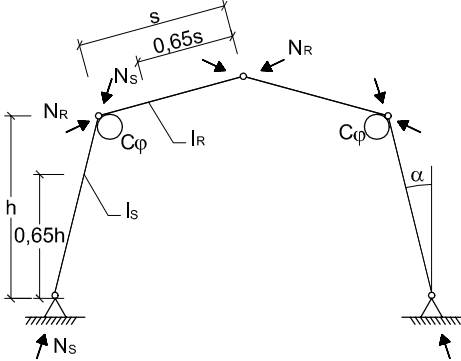
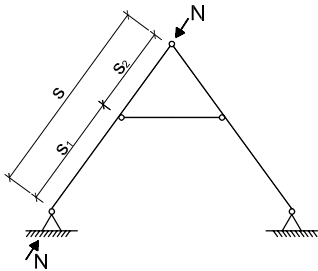
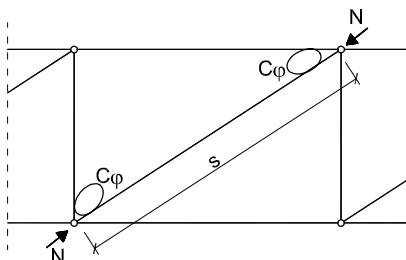
	Sistema estructural	Coeficientes β
2	<p>Pilar en voladizo</p> 	$\beta = \sqrt{4 + \frac{EI\pi^2}{h \cdot C_\varphi}}$ <p>C_φ Coeficiente de muelle</p>
3	<p>Entramado</p> 	<p>Para la columna, r:</p> $\beta_r = \pi \sqrt{\frac{5 + 4\alpha}{12} + \frac{(EI)_\alpha \cdot (1 + \alpha)}{h_r \cdot C_{\varphi,r}}}$ <p>siendo:</p> $\alpha = \frac{h_r}{N_r} \cdot \sum \frac{N_i}{h_i}$
4	<p>Arco biarticulado o triarticulado de sección constante.</p> 	$l_k = \beta \cdot s \text{ para } 0,15 \leq h/l \leq 0,50$ <p>siendo:</p> $\beta = 1,25$ <p>(forma modal antisimétrica de pandeo)</p>
5	<p>Pórtico a dos aguas triarticulado</p> 	<p>Pilar</p> $l_k = \beta_S \cdot h \quad (\alpha \leq 15^\circ)$ $\beta_S = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_S}{h} \cdot \left(\frac{1}{C_\varphi} + \frac{s}{3 \cdot E \cdot I_R} \right) + \frac{E \cdot I_S \cdot N_R \cdot s^2}{E \cdot I_R \cdot N_S \cdot h^2}}$ <p>Dintel</p> $l_k = \beta_R \cdot s \quad (\alpha \leq 15^\circ)$ $\beta_R = \beta_S \cdot \frac{h}{s} \sqrt{\frac{I_R \cdot N_S}{I_S \cdot N_R}}$ <p>N_R axil en el dintel.</p> <p>N_S axil en la columna</p> <p>(forma modal antisimétrica de pandeo)</p>

Tabla G.1. Coeficientes de la longitud de pandeo β para barras

Sistema estructural	Coeficientes β
<p>6</p> <p>Forma de par y nudillo</p>  <p>$\beta = 0,8$ para $s_1 < 0,7 \cdot s$</p> <p>$\beta = 1,0$ para $s_1 \geq 0,7 \cdot s$</p> <p>(forma modal antisimétrica de pandeo)</p>	
<p>7</p> <p>Celosía del alma</p>  <p>Uniones articuladas $C_\phi \approx 0$</p> <p>$\beta = 1,0$</p> <p>Uniones semirrígidas $C_\phi > 0$</p> <p>$\beta = 0,8$</p>	

- 2 En estructuras de madera son poco frecuentes las conexiones totalmente rígidas, utilizando elementos de fijación mecánicos. Para determinar las longitudes de pandeo han de tenerse en cuenta el giro de las conexiones semirrígidas. El coeficiente C_ϕ que define el grado de empotramiento al giro de la conexión corresponde al momento necesario para provocar un giro unidad (un radián).
- 3 Como ejemplo, en un enlace de esquina de un pórtico, figura F.1, con corona de pernos, con un módulo de desplazamiento K_u del medio de fijación, el coeficiente C_ϕ se deduce mediante la expresión siguiente:

$$C_\phi = \sum_{i=1}^n K_u \cdot r_i^2 \quad (G.4)$$

siendo:

r_i distancia entre el medio de fijación y el centro de gravedad de la conexión. En el enlace articulado $C_\phi = 0$ y en el enlace completamente rígido $C_\phi = \infty$;

$$K_u = 2 \cdot K_{ser} / 3 \quad (G.5)$$

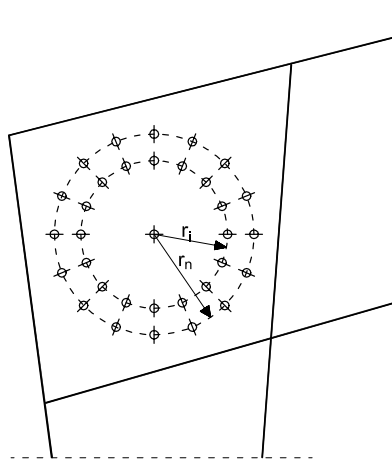


Figura F.1. Enlace semirrígido de una esquina de un pórtico

Anejo H (Informativo). Fallo de uniones por cortante en el perímetro o en bloque

- 1 En uniones entre madera y acero con una componente de la fuerza paralela a la fibra situada cerca de la testa de la pieza, el valor característico de la capacidad de carga en el modo de fallo por cortadura de un bloque (fallo del perímetro del grupo de elementos de fijación), como se muestra en las figuras H.1 y H.2, se obtiene por la expresión siguiente:

$$R_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 1,5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,k} \\ 0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k} \end{cases} \quad (H.1)$$

siendo:

$$A_{net,t} = L_{net,t} \cdot t \quad (H.2)$$

$$A_{net,v} = \begin{cases} L_{net,v} \cdot t & \text{modos de fallo (e, f, j/l, k, m)} \\ L_{net,v} \cdot (L_{net,t} + 2 \cdot t_{ef}) & \text{restantes modos de fallo} \end{cases} \quad (H.3)$$

y,

$$L_{net,v} = \sum_i l_{v,i} \quad (H.4)$$

$$L_{net,t} = \sum_i l_{t,i} \quad (H.5)$$

- para placas de acero delgadas;

$$t_{ef} = \begin{cases} 0,4 \cdot t_1 & (a) \\ 1,4 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} & (b) \end{cases} \quad (H.6)$$

- para placas de acero gruesas;

$$t_{ef} = \begin{cases} 2 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} & (d)(h) \\ t_1 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] & (c)(g) \end{cases} \quad (H.7)$$

siendo:

$F_{bs,k}$ valor característico de la capacidad de carga por arranque de un bloque;

$A_{net,t}$ sección neta transversal perpendicular a la fibra;

$A_{net,v}$ sección neta de cortante paralela a la fibra;

$L_{net,t}$ anchura neta de la sección transversal perpendicular a la fibra;

$L_{net,v}$ longitud neta del área de rotura en cortante;

$l_{v,i}, l_{t,i}$ definidas en la figura H.1;

t_{ef} profundidad eficaz, que depende del modo de fallo, figura 8.3;

t espesor de la pieza de madera, o profundidad de penetración del medio de fijación;

$M_{y,Rk}$ momento plástico característico;

d diámetro del elemento de fijación;

$f_{t,0,k}$ resistencia característica a tracción paralela;

$f_{v,k}$ resistencia característica a cortante;

$f_{h,k}$ resistencia característica a aplastamiento de la pieza de madera.

- 2 Nota: Los modos de fallo correspondientes a las expresiones anteriores (H.3), (H.6) y (H.7) están referidos a la figura 8.3.
- 3 En la figura H.1 se representa un ejemplo de fallo por el perímetro de los medios de fijación y en la figura H.2 para el fallo de cortante en bloque.

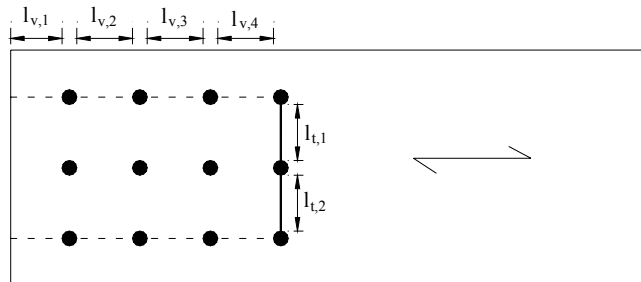


Figura H.1 Fallo por el perímetro de una unión.

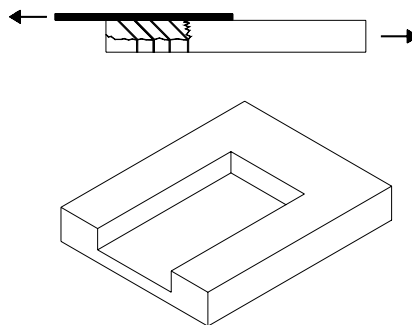


Figura H.2 Fallo en bloque.

Anejo I. Relación de normas UNE.

- 1 En este anejo se relaciona los títulos, por orden numérico, de las normas UNE, UNE EN y UNE ENV citadas en el texto.

UNE 36137: 1996	Bandas (chapas y bobinas), de acero de construcción, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.
UNE 56544: 2003	Clasificación visual de la madera aserrada de conífera para uso estructural
UNE 56530: 1977	Características físico-mecánicas de la madera. Determinación del contenido de humedad mediante higrómetro de resistencia.
UNE 56544: 1997	Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural.
UNE 102023: 1983	Placas de cartón-yeso. Condiciones generales y especificaciones. (En tanto no se disponga de la prEN 520)
UNE 112036: 1993	Recubrimientos metálicos. Depósitos electrolíticos de cinc sobre hierro o acero.
UNE EN 300: 1997	Tableros de virutas orientadas.(OSB). Definiciones, clasificación y especificaciones.
UNE EN 301: 1994	Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Adhesivos de policondensación de tipos fenólico y aminoplásticos. Clasificación y especificaciones de comportamiento.
UNE EN 302-1: 1994	Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la resistencia del pegado a la cizalladura por tracción longitudinal.
UNE EN 302-2: 1994	Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación de la resistencia a la delaminación. (Método de laboratorio).
UNE EN 302-3: 1994	Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Métodos de ensayo. Parte 3: Determinación de la influencia de los tratamientos cíclicos de temperatura y humedad sobre la resistencia a la tracción transversal.
UNE EN 302-4: 1994	Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Métodos de ensayo. Parte 4: Determinación de la influencia de la contracción sobre la resistencia a la cizalladura.
UNE EN 309: 1994	Tableros de partículas. Definición y clasificación.
UNE EN 312-1: 1997	Tableros de partículas. Especificaciones Parte 1. Especificaciones generales para todos los tipos de tableros. (+ERRATUM)
UNE EN 312-4: 1997	Tableros de partículas. Especificaciones Parte 4. Especificaciones de los tableros estructurales para uso en ambiente seco
UNE EN 312-5: 1997	Tableros de partículas. Especificaciones

UNE EN 312-6: 1997	<p>Parte 5. Especificaciones de los tableros estructurales para uso en ambiente húmedo</p> <p>Tableros de partículas. Especificaciones</p> <p>Parte 6. Especificaciones de los tableros estructurales de alta prestación para uso en ambiente seco</p>
UNE EN 312-7: 1997	<p>Tableros de partículas. Especificaciones</p> <p>Parte 7. Especificaciones de los tableros estructurales de alta prestación para uso en ambiente húmedo</p>
UNE EN 313-1: 1996	<p>Tableros contrachapados. Clasificación y terminología.</p> <p>Parte 1: Clasificación.</p>
UNE EN 313-2: 1996	<p>Tableros contrachapados. Clasificación y terminología.</p> <p>Parte 2: Terminología.</p>
UNE EN 315: 1994	Tableros contrachapados. Tolerancias dimensionales.
UNE EN 316: 1994	Tableros de fibras. Definiciones, clasificación y símbolos.
UNE EN 335-1: 1993	<p>Durabilidad de la madera y de sus materiales derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico.</p> <p>Parte 1: Generalidades.</p>
UNE EN 335-2: 1994	<p>Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico.</p> <p>Parte 2: Aplicación a madera maciza.</p>
UNE EN 335-3: 1996	<p>Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico.</p> <p>Parte 3: Aplicación a los tableros derivados de la madera. (+ ERRATUM).</p>
UNE EN 336: 1995	Madera estructural. Coníferas y chopo. Dimensiones y tolerancias.
UNE EN 338: 1995	Madera estructural. Clases resistentes.
UNE EN 350-1: 1995	<p>Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza.</p> <p>Parte 1: Guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera.</p>
UNE EN 350-2: 1995	<p>Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza.</p> <p>Parte 2: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionada por su importancia en Europa</p>
UNE EN 351-1: 1996	<p>Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera.. Madera maciza tratada con productos protectores.</p> <p>Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores. (+ ERRATUM)</p>
UNE EN 351-2: 1996	<p>Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores.</p> <p>Parte 2: Guía de muestreo de la madera tratada para su análisis.</p>
UNE EN 383: 1998	Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación de tipo clavija.
UNE EN 384: 1996	Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las

propiedades mecánicas y la densidad.

UNE EN 386: 1995	Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.
UNE EN 390: 1995	Madera laminada encolada. Dimensiones y tolerancias.
UNE EN 408: 1996	Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.
UNE EN 409: 1998	Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación del momento plástico de los elementos de fijación de tipo clavija. Clavos.
UNE EN 460: 1995	Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Guía de especificaciones de durabilidad natural de la madera para su utilización según las clases de riesgo (de ataque biológico)
UNE EN 594: 1996	Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Método de ensayo para la determinación de la resistencia y rigidez al descuadre de los paneles de muro entramado.
UNE EN 595: 1996	Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Ensayo para la determinación de la resistencia y rigidez de las cerchas.
UNE EN 599-1: 1997	Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Prestaciones de los protectores de la madera determinadas mediante ensayos biológicos. Parte 1: Especificaciones para las distintas clases de riesgo.
UNE EN 599-2: 1996	Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Características de los productos de protección de la madera establecidas mediante ensayos biológicos. Parte 2: Clasificación y etiquetado.
UNE EN 622-1: 1997	Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 1: Especificaciones generales.
UNE EN 622-2: 1997	Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 2: Especificaciones para los tableros de fibras duros.
UNE EN 622-3: 1997	Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 3: Especificaciones para los tableros de fibras semiduros.
UNE EN 622-5: 1997	Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 5: Especificaciones para los tableros de fibras fabricados por proceso seco (MDF).
UNE EN 636-1: 1997	Tableros contrachapados. Especificaciones. Parte 1: Especificaciones del tablero contrachapado para uso en ambiente seco.
UNE EN 636-2: 1997	Tableros contrachapados. Especificaciones. Parte 2: Especificaciones del tablero contrachapado para uso en ambiente húmedo.
UNE EN 636-3: 1997	Tableros contrachapados. Especificaciones. Parte 3: Especificaciones del tablero contrachapado para uso en exterior.
UNE EN 789: 1996	Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la madera.

UNE EN 1058: 1996	Tableros derivados de la madera. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y de la densidad.
UNE EN 1193: 1998	Estructuras de madera. Madera estructural y madera laminada encolada. Determinación de la resistencia a esfuerzo cortante y de las propiedades mecánicas en dirección perpendicular a la fibra.
UNE EN 26891: 1992	Estructuras de madera. Uniones realizadas con elementos de fijación mecánicos. Principios generales para la determinación de las características de resistencia y deslizamiento.
UNE EN 28970: 1992	Estructuras de madera. Ensayo de uniones realizadas con elementos de fijación mecánicos. Requisitos para la densidad de la madera.
UNE EN 1194	Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos.
UNE EN 1912: 1999	Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de especies y calidad visuales.
UNE EN 1059: 2000	Estructuras de madera. Requisitos de las cerchas fabricadas con conectores de placas metálicas dentadas.
UNE EN 13183-1: 2002	Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 1: Determinación por el método de secado en estufa.
UNE EN 13183-2: 2003	Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica.
UNE EN 12369-1: 2003	Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 1: OSB, tableros de partículas y de fibras. (+ Corrección 2003)