Documento Básico SE-M

Seguridad estructural
Madera

Abril 2009

Índice

1 Generalidades

1.1 Ámbito de aplicación y consideraciones previas
1.2 Condiciones particulares para el cumplimiento del DB-SE-M

2 Bases de cálculo

2.1 Generalidades
2.2 Propiedades de los materiales

3 Durabilidad

3.1 Introducción
3.2 Protección de la madera
3.3 Protección contra la corrosión de los elementos metálicos
3.4 Consideraciones relativas a las uniones

4 Materiales

4.1 Madera maciza
4.2 Madera laminada encolada
4.3 Madera microlaminada
4.4 Tablero estructural
4.5 Adhesivos
4.6 Uniones

5 Análisis estructural

5.1 Principios generales
5.2 Características de las barras
5.3 Sistemas de barras

6 Estados límite últimos

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

7 Estados límite de servicio

7.1 Deformación diferida
7.2 Deslizamiento de las uniones
7.3 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

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

12 Tolerancias

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

13 Control

13.1 Suministro y recepción de los productos

Anejo A. Terminología

Anejo B. Notación y unidades

B.1 Notación
B.2 Unidades

Anejo C. Asignación de clase resistente. Madera aserrada.

C.1 Generalidades
C.2 Asignación de clase resistente a partir de la Calidad de la especie arbórea.
C.3 Relación de normas de clasificación
C.4 Relación de especies arbóreas

Anejo D: Asignación de clase resistente. Madera laminada encolada

D.1 Generalidades
D.2 Asignación de clase resistente mediante ensayos
D.3 Asignación de clase resistente mediante fórmulas
D.4 Correspondencia entre clases resistentes de madera laminada encolada y madera aserrada

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

E.1 Madera aserrada
E.2 Madera laminada encolada
E.3 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

G.1 Introducción
G.2 Longitud de pandeo

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

Anejo I. Normas de referencia

1 Generalidades

1.1 Ámbito de aplicación y consideraciones previas

1 El campo de aplicación de este DB es el de la verificación de la seguridad de los elementos estructurales de madera en edificación.

2 La satisfacción de otros requisitos (aislamiento térmico, acústico, o resistencia al fuego,) quedan fuera del alcance de este DB. Los aspectos relativos a la fabricación, montaje, control de calidad, conservación y mantenimiento se tratan en la medida necesaria para indicar las exigencias que se deben cumplir en concordancia con las bases de cálculo.

1.2 Condiciones particulares para el cumplimiento del DB-SE-M

1 La aplicación de los procedimientos de este DB se llevará a cabo de acuerdo con las condiciones particulares que en el mismo se establecen, con las condiciones particulares indicadas en el DB-SE y con las condiciones generales para el cumplimiento del CTE, las condiciones del proyecto, las condiciones en la ejecución de las obras y las condiciones del edificio que figuran en los artículos 5, 6, 7 y 8 respectivamente de la parte I del CTE.

2 Bases de cálculo

2.1 Generalidades

1 En este apartado se desarrollan y completan las reglas, establecidas con carácter general en SE, para el caso de elementos estructurales de madera.

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, teniendo en cuenta los factores correctores que se establecen a continuación.

2.2.1.2 Factores de corrección de la resistencia

1 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 $f_{t,0,k}$ pueden multiplicarse por el factor k_h.

$$k_h = (150/h)^{0,2} \leq 1,3 \qquad (2.1)$$

siendo:

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

2 Madera laminada encolada:

a) 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 $f_{t,0,g,k}$ pueden multiplicarse por el factor k_h.

$$k_h = (600/h)^{0,1} \leq 1,1 \qquad (2.2)$$

siendo:

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

b) factor de volumen k_{vol}: cuando el volumen V de la zona considerada en la comprobación, según se define en cada caso, sea mayor que V_0 (V_0=0,01 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 k_{vol}.

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

3 Madera microlaminada:

a) factor de altura k_h: en piezas de madera microlaminada de sección rectangular, si el canto en flexión es diferente a 300 mm, el valor característico $f_{m,k}$ puede multiplicarse por el factor k_h.

$$k_h = (300/h)^{s} \leq 1,2 \qquad (2.4)$$

siendo:

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

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

b) 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, $f_{t,0,k}$ debe multiplicarse por el factor k_L.

$$k_L = (3000/L)^{s/2} \leq 1{,}1 \qquad (2.5)$$

siendo:

L longitud de la pieza, [mm];

s factor que debe definir el fabricante.

4 Factor de carga compartida k_{sys}.

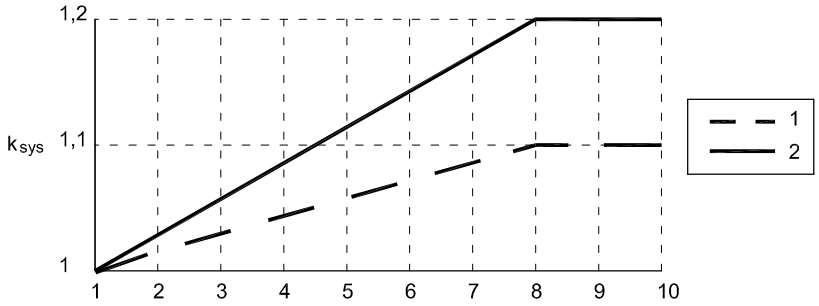
Cuando un conjunto de elementos estructurales a flexión similares, dispuestos a intervalos regulares se encuentre, transversalmente conectado a través de un sistema continuo de distribución de carga, las propiedades resistentes características de los elementos del conjunto pueden multiplicarse por un 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 acciones 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.



NÚMERO DE LÁMINAS CARGADAS

Leyenda:
1 Láminas clavadas o atornilladas
2 Láminas pretensadas o encoladas

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

5 En la tabla 2.1 se incluyen valores particularizados para algunos de los factores de corrección.

Tabla 2.1 Factores de corrección

Factor	Aplicación				
de altura	Madera aserrada: canto (mm)	<40	70	100	≥150
	Factor k_h de corrección de $f_{m,k}$ y $f_{t,0,k}$	1,3	1,2	1,1	1,0
	Madera laminada: canto (mm)	<240	300	400	≥600
	Factor k_h corrector de $f_{m,g,k}$ y $f_{t,0,g,k}$	1,10	1,07	1,04	1,00
de volumen	Madera laminada : volumen de la zona afectada (m^3)	<0,010	0,015	0,020	0,030
	Factor k_{vol} corrector de $f_{t,90,g,k}$	1,00	0,92	0,87	0,80

2.2.2 Factores que afectan al comportamiento estructural de la madera

2.2.2.1 Clases de duración de la acciones

1 Las acciones que solicitan al elemento considerado deben asignarse a una de las clases de duración de la carga establecidas en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Clases de duración de las acciones

Clase de duración	Duración aproximada acumulada de la acción en valor característico	Acción
Permanente	más de 10 años	Permanente, peso propio
Larga	de 6 meses a 10 años	Apeos o estructuras provisionales no itinerantes
Media	de una semana a 6 meses	sobrecarga de uso; nieve en localidades de >1000 m
Corta	menos de una semana	viento; nieve en localidades de < 1000 m
Instantánea	algunos segundos	sismo

2.2.2.2 Clases de servicio

1 Cada elemento estructural considerado debe 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 la madera correspondiente a una temperatura de 20 ± 2°C y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año.

b) clase de servicio 2. Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de 20 ± 2°C y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 85% unas pocas semanas al año.

c) clase de servicio 3. Condiciones ambientales que conduzcan a contenido de humedad superior al de la clase de servicio 2.

2 En la clase de servicio 1 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas no excede el 12%. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente interior.

3 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 a cubierto, 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.

4 En la clase de servicio 3 la humedad de equilibrio higroscópico media en la mayoría de las coníferas excede el 20%. En esta clase se encuentran, en general, las estructuras de madera expuestas a un ambiente exterior sin cubrir.

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 del material (resistencia) se define como:

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

siendo:

X_k valor característico de la propiedad del material;

γ_M coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material definido en la tabla 2.3;

k_{mod} factor de modificación, cuyos valores figuran en la tabla 2.4 teniendo en cuenta, previamente, la clase de duración de la combinación de carga de acuerdo con la tabla 2.2 y la clase de servicio del apartado 2.2.2.2.

Tabla 2.3 Coeficientes parciales de seguridad para el material, γ_M.

Situaciones persistentes y transitorias:	
- 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
Situaciones extraordinarias:	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:

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

siendo:

R_k valor característico de la capacidad de carga;

γ_M coeficiente parcial de seguridad para la propiedad del material definido en la tabla 2.3

k_{mod} factor de modificación, cuyos valores figuran en la tabla 2.4 teniendo en cuenta, previamente, la clase de duración de la combinación de la carga de acuerdo con la tabla 2.2 y la clase de servicio del apartado 2.2.2.2.

Tabla 2.4 Valores del factor k_{mod}.

Material	**Norma**	**Clase de servicio**	**Clase de duración de la carga**				
			Permanente	**Larga**	**Media**	**Corta**	**Instantánea**
Madera maciza	UNE-EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Madera laminada encolada	UNE-EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Madera microlaminada	UNE-EN 14374, UNE-EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Tablero contrachapado	UNE-EN 636						
	Tipo EN 636-1,2 y 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Tipo EN 636-2 y 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
	Tipo EN 636-3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
Tablero de virutas orientadas (OSB) [1]	UNE-EN 300						
	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	OSB/3, OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Tablero de partículas	UNE-EN 312						
	Tipo P4, Tipo P5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	Tipo P5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
	Tipo P6, Tipo P7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
	Tipo P7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Tablero de fibras duro	UNE-EN 622-2						
	HB.LA, HB.HLA 1 o 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	HB.HLA 1 o 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Tablero de fibras semi-duro	UNE-EN 622-3						
	MBH.LA 1 o 2,	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS1 o 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS1 o 2	2	-	-	-	0,45	0,80
Tablero de fibras MDF	UNE-EN 622-5						
	MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MDF.HLS	2	-	-	-	0,45	0,80

[1]OSB = Oriented Strand Board. El acrónimo es usado frecuentemente en lengua inglesa y se ha acuñado como un nombre usual para el material en otros idiomas, como de hecho sucede ya en el nuestro

Si una combinación de acciones incluye acciones pertenecientes a diferentes clases de duración, el factor k_{mod} debe elegirse como el correspondiente a la acción de más corta duración.

3 Durabilidad

3.1 Introducción

1 Este capítulo trata de las medidas para garantizar la durabilidad de la estructura al menos durante el que se considere periodo de servicio y en condiciones de uso adecuado.

2 La durabilidad de una estructura depende, en gran medida, del diseño constructivo y de la durabilidad natural, aunque en algunos casos es además necesario añadir un tratamiento.

3 En el caso de productos derivados de la madera como los tableros estructurales de partículas, contrachapados, virutas orientadas etc., se tendrán en cuenta las especificaciones recogidas en las respectivas normas de producto para su empleo en las distintas clases de servicio.

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 El fabricante de un producto indicará, en el envase y documentación técnica del dicho producto, las instrucciones de uso y mantenimiento.

3.2.1 Protección preventiva frente a los agentes bióticos

3.2.1.1 Generalidades

1 Los elementos estructurales de madera deben estar protegidos de acuerdo con la clase de uso a la que pertenecen, y según se define en 3.2.1.2.

2 Se permite el empleo de madera con durabilidad natural suficiente para la clase de uso prevista, según lo establecido en el apartado 3.2.3, como alternativa a la aplicación de un tratamiento protector.

3.2.1.2 Clases de uso

1 El concepto de clase de uso 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. Se definen las siguentes clases de uso.

a) **clase de uso 1**: el elemento estructural está a cubierto, 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%. Ejemplos: vigas o pilares en el interior de edificios;

b) **clase de uso 2**: el elemento estructural está a cubierto y protegido de la intemperie pero, debido a las condiciones ambientales, se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad de la madera mayor que el 20 % en parte o en la totalidad del elemento estructural. 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 uso 3**: el elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo. El contenido de humedad de la madera puede superar el 20% Se divide en dos clases;

Clase de uso 3.1. El elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y protegido, es decir sujeto a medidas de diseño y constructivas destinadas a impedir una exposición excesiva a los efectos directos de la intemperie, inclemencias atmosféricas o fuentes de humedad. En estas condiciones la humedad de la madera puede superar ocasionalmente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: viga que vuela al exterior pero que en su zona superior y testas están protegidas por una albardilla o piezas de sacrificio.

Clase de uso 3.2. el elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y no protegido. En estas condiciones la humedad de la madera supera frecuentemente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: cualquier elemento cuya cara superior o testa se encuentre some-

tida a la acción directa del agua de la lluvia, pilar que sin estar empotrado en el suelo guarda con éste una distancia reducida y está sometido a salpicaduras de lluvia o acumulaciones de nieve, etc.

d) **clase de uso 4**: 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%. Ejemplos: construcciones en agua dulce y pilares en contacto directo con el suelo;

e) **clase de uso 5**: 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. Ejemplo: construcciones en agua salada.

3.2.1.3 Elección del tipo de protección frente a agentes bióticos

1 En la tabla 3.1 se indica el tipo de protección exigido en función de la clase de uso.

2 Durante el transporte, manipulación y montaje de los elementos estructurales de madera, éstos no deberán quedar expuestos a una clase de uso superior a la prevista en sus condiciones de servicio finales. Si esto no fuese posible deberá proporcionarse una protección adicional que cubra el riesgo existente.

Tabla 3.1 Elección del tipo de protección

Clase de uso		Nivel de penetración NP (UNE-EN 351-1)
1	NP1(1)	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas
2	NP1(2) (3)	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas
3.1	NP2(3)	Al menos 3 mm en la albura de todas las caras de la pieza.
3.2	NP3(4)	Al menos 6 mm en la albura de todas las caras de la pieza. Todas las caras tratadas.
4	NP4(5)	Al menos 25 mm en todas las caras
	NP5	Penetración total en la albura. Todas las caras tratadas
5	NP6(4)	Penetración total en la albura y al menos en 6 mm en la madera de duramen expuesta.

(1) Se recomienda un tratamiento superficial con un producto insecticida
(2) El elemento de madera deberá recibir un tratamiento superficial con un producto insecticida y fungicida.
(3) Los elementos situados en cubiertas ventiladas se asignarán a la clase 2. En cubiertas no ventiladas, se asignarán a la clase 3.1, salvo que se incorpore una lámina de impermeabilización, en cuyo caso se asignarán a la clase 2. Asimismo, se considerarán de clase 3.1 aquellos casos en los que en el interior de edificaciones exista riesgo de generación de puntos de condensación no evitables mediante medidas de diseño y evacuación de vapor de agua
(4) Las maderas no durables naturalmente empleadas en estas clases de uso deberán ser maderas impregnables (clase 1 de la norma UNE-EN 350-2).
(5) Sólo para el caso de madera de sección circular (rollizo).

3 Algunas especies coníferas frecuentemente utilizadas en construcción como abetos, piceas, cedro rojo, son difícilmente impregnables (salvo con procedimientos especiales). El fabricante garantizará que se alcanza la protección especificada para su clase de uso.

4 En las obras de rehabilitación estructural en las que se hubieran detectado ataques previos por agentes xilófagos, se deberán incrementar los niveles de protección correspondientes a las clases de uso normales en una categoría. En estos casos se aplicará como mínimo:

a) A los elementos nuevos que se integren en la obra y que no posean una durabilidad natural suficiente para resistir los ataques detectados: tratamiento superficial (NP 2) de carácter insecticida y fungicida en función de las patologías observadas. En los casos en los que se hayan detectado ataques previos por termitas el tratamiento deberá ser en profundidad (NP5), garantizándose que las cabezas de las vigas queden totalmente tratadas en una longitud axial de 50 cm. Además, si durante el proceso de colocación de la madera se realizase un retestado de la madera ya tratada, deberá aplicarse in situ un tratamiento superficial en las testas (NP 2), con un producto protector al menos con carácter insecticida. En el caso de ataque por termitas debe valorarse la conveniencia del empleo adicional de tratamientos de barrera, destinados a proteger el conjunto del edificio, o de tratamientos mediante sistemas de cebos destinados a erradicar la colonia.

b) En el caso de los elementos estructurales existentes, los tratamientos curativos de ataques activos de hongos de pudrición y termitas se realizarán mediante la inyección en profundidad (al menos NP 5) de producto protector para poder impregnar adecuadamente la zona de duramen.

5 Para la protección de piezas de madera laminada encolada:

a) En el caso de protección para la clase de uso 2, se realizará sobre la pieza terminada y después de las operaciones de acabado (cepillado, mecanizado de aristas y taladros etc.).

b) En el caso de protección para clase de uso 3.1, el tratamiento protector podrá realizarse sobre la pieza terminada o sobre las láminas previamente a su encolado.

c) En el caso de protección para clases de uso 3.2 ó 4, se realizará sobre las láminas previamente a su encolado. El fabricante deberá comprobar que el producto protector es compatible con el encolado, especialmente cuando se trate de protectores orgánicos.

3.2.2 Protección preventiva frente a agentes meteorológicos

1 El mejor protector frente a los agentes meteorológicos es el diseño constructivo, y especialmente las medidas que evitan o minimizan la retención de agua.

2 Si la clase de uso es igual o superior a 3 los elementos estructurales deben estar protegidos frente a los agentes meteorológicos.

3 En elementos estructurales situados al exterior deben usarse productos que permitan el intercambio de humedad entre el ambiente y la madera. Se recomienda el empleo de protectores superficiales que no formen una capa rígida permitiendo el intercambio de vapor de agua entre la madera y el ambiente. En el caso de emplear productos que formen una película como las pinturas y los barnices, deberá establecerse y seguirse un programa de mantenimiento posterior.

3.2.3 Durabilidad natural e impregnabilidad

1 La necesaria definición de la clase resistente en proyecto no implica la especificación de una especie. Cada especie, y en concreto su partes de duramen y albura (a las que llamaremos zonas), tiene asociada lo que se llama durabilidad natural.

2 La albura o el duramen de una especie no tiene por qué requerir protección para una determinada clase de uso a pesar de que así lo indicase la tabla 3.1.

3 Cada especie y zona tiene también asociada una impregnabilidad, es decir, una cierta capacidad de ser impregnada con mayor o menor profundidad. En caso de que se especifique la especie y zona, debe comprobarse que el tratamiento prescrito al elemento es compatible con su impregnabilidad.

4 En el caso de que el tratamiento altere el contenido de humedad la madera, en obra debe constatarse que se entrega el producto conforme a los requisitos del proyecto.

5 La durabilidad natural de cada especie se define en la norma UNE-EN 350.

3.3 Protección contra la corrosión de los elementos metálicos

1 En la tabla 3.2 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.

Tabla 3.2 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 ≤ 4 mm	Ninguna	Fe/Zn 12c [1]	Fe/Zn 25c [2]
Pernos, pasadores y clavos con d > 4 mm	Ninguna	Ninguna	Fe/Zn 25c [2]
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 [2]
Chapas de acero con espesor superior a 5 mm	Ninguna	Ninguna	Fe/Zn 25c [2]

[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.

[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

3.4 Consideraciones relativas a las uniones

1 Las uniones exteriores expuestas al agua deben diseñarse de forma que se evite la retención del agua.

2 En las estructuras que no estén en Clase de Servicio 1 ó 2, además de la consideración del tratamiento de la madera y la protección de otros materiales, las uniones deben quedar ventiladas y con capacidad de evacuar el agua rápidamente y sin retenciones.

4 Materiales

4.1 Madera maciza

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

2 La madera aserrada, para su uso en estructuras, estará clasificada quedando asignada a una clase resistente (ver procedimiento de asignación en el Anejo C).

3 Las clases resistentes son:

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 resistencia característica a flexión, $f_{m,k}$, expresada en N/mm^2.

4 En el anejo E figuran los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociados a cada clase resistente de madera laminada 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 (ver procedimiento de asignación en el Anejo D).

2 Las clases resistentes son:

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 resistencia característica a flexión, $f_{m,g,k}$, expresada en N/mm^2.

3 Las uniones dentadas para piezas enteras fabricadas de acuerdo con la norma UNE EN 387 no deben utilizarse en clase de servicio 3 cuando en la unión cambia la dirección de la fibra.

4 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 La madera microlaminada para uso estructural deberá suministrarse con una certificación de 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 El uso de los diferentes tipos de tableros debe limitarse a las clases de servicio contempladas para cada tipo en la tabla 2.1.

2 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 Adhesivos

4.5.1 Generalidades

1 La documentación técnica del adhesivo debe incluir las prescripciones de uso e incompatibilidades.

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.

4.5.2 Tipos de adhesivos

1 En la tabla 4.1 se describen los adhesivos utilizados en madera para uso estructural y su adecuación a la clase de servicio.

Tabla 4.1 Tipos de adhesivos en madera para uso estructural y su adecuación con la clase de servicio

Tipo de adhesivo	Abreviatura	Clase de servicio		
		1	2	3
Fenol-formaldehído [1)]	PF	apto	apto	apto
Resorcina-fenol-formaldehído [1)]	RPF	apto	apto	apto
Resorcina-formaldehído [1)]	RF	apto	apto	apto
Melamina-urea-formaldehído [2)]	MUF	apto	apto	apto
Urea-formaldehído [2)]	UF	apto	no apto	no apto
Poliuretano [2)]	PU	apto	apto	apto
Resinas epoxi [2)]	EP	apto	apto	apto

Nota general: en todo caso es necesario que los adhesivos para uso estructural estén certificados por organismos de reconocido prestigio, como por ejemplo el CTBA (Francia), MPA (Alemania) y el NTI (Noruega).

1) Líneas de cola de color marrón oscuro.
2) Líneas de cola transparentes.

2 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.

4.5.3 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 UNE EN 12436: 2002.

En el producto se indicará de forma visible que el adhesivo es apto para uso estructural, así como para qué clases de servicio es apto.

4.6 Uniones

4.6.1 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 solicitación.

4.6.2 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: clavos de fuste liso o con resaltos, grapas, tirafondos (tornillos rosca madera), pernos o pasadores.

b) conectores: de anillo, de placa o dentados.

2 En el proyecto se especificará, para su utilización en estructuras de madera, y para cada tipo de elemento mecánico de fijación de tipo clavija:

a) resistencia característica a tracción del acero $f_{u,k}$;

b) información geométrica que permita la correcta ejecución de los detalles;

5 Análisis estructural

5.1 Principios generales

1 Para el análisis relativo a situaciones de dimensionado transitorias y permanentes, se considerarán los siguiente valores para los módulo de elasticidad longitudinal E_d, o transversal G_d.

a) En comprobaciones de estado límite de servicio y estado límite último en régimen lineal (sin analizar la estabiliad global o local):

$$E_d = E_{medio} \quad (5.1)$$

$$G_d = G_{medio} \quad (5.2)$$

siendo:

G_{medio} ;E_{medio} valores medios según los datos del material.

b) En comprobaciones de estado límite ultimo relativas a estabilidad o en general en comprobaciones realizadas en segundo orden

$$E_d = E_k \quad (5.3)$$

$$G_d = G_k \quad (5.4)$$

siendo:

G_k ;E_k valor correspondiente al 5% percentil de la propiedad de rigidez.

2 Para el análisis relativo a situaciones de dimensionado extraordinarias, se considerará el siguiente valor para los módulo de elasticidad longitudinal E_d, o transversal G_d:

$$E_d = E_{medio} \quad (5.5)$$

$$G_d = G_{medio} \quad (5.6)$$

3 En el análisis de estructuras compuestas por barras (es decir, elementos en los que predomina una dirección sobre las otras con una relación mínima entre largo y canto de 6), formando estructuras trianguladas o estructuras de nudos rígidos o semirrígidos, y para el cálculo de solicitaciones globales (cortante, momento y axil) de la barra, se considerará válida la hipótesis de que el material es isótropo, elástico y lineal, considerando las deformaciones instantaneas o a largo plazo a través de los módulos descritos anteriormente.

5.2 Características de las barras

1 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 aquéllos 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 Sistemas de barras

5.3.1 Principios generales

1 En las estructuras habituales de edificación formadas por barras (elementos en donde una dimensión predomina sobre las otras dos), sean soportes, vigas o estructuras trianguladas se consideran, para los tipos descritos en el código, los siguientes modelos:

a) comportamiento de las barras

i) análisis en primer orden, considerando que la madera es un material homogéneo e isótropo, tomando como parámetro básico del material el módulo de deformación, E, longitudinal (según la dirección de la fibra). La verificación de la estabilidad se realiza a través del método de la longitud de pandeo equivalente.

ii) análisis en primer orden similar al anterior salvo en la verificación de la estabilidad, que se realiza mediante un análisis global en segundo orden.

b) uniones en cerchas

i) para cerchas usuales, con luces no mayores de 20m, no será necesario considerar la deformación local en la unión siempre que la relación entre la luz y el canto máximo de la cercha no sea mayor que 10.

ii) para el resto de casos se considerará una deformación local de la unión de tipo lineal de acuerdo con los datos de K_{ser} descritos en el apartado 7.1. Según se describe en ese apartado, el valor de K_{ser} de las tablas se usara en las comprobaciones de los estados límite de servicio, mientras que para las comprobaciones de los estados límite ultimos se considerará un valor de 2/3 del anterior. Para modelizar este efecto se pueden añadir barras ficticias en las uniones que tengan la misma ridigez que la unión o bién trabajar con una rigidez equivalente de la barra de modo que su rigidez sea la de la barra original más las uniones.

En cualquier caso se podrán usar modelos más complejos basados en ensayos o en los principios generales

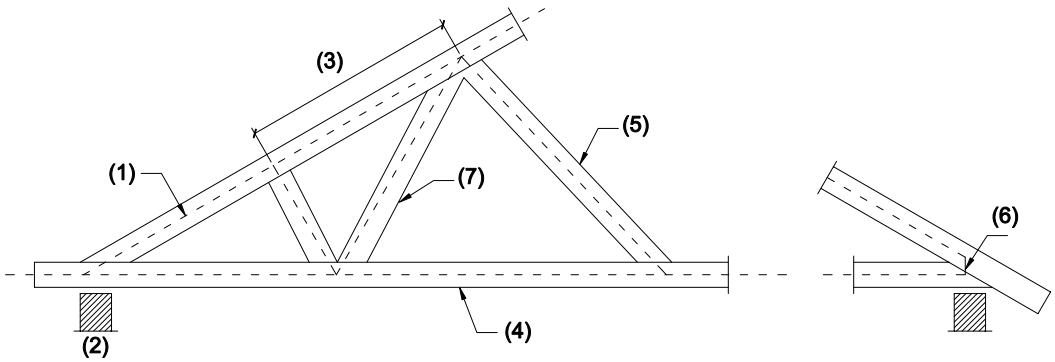
c) uniones de apoyo y empalme de estructuras adinteladas:

i) en el caso de uniones articuladas se considerará que en la unión no hay deslizamiento alguno:

ii) en el caso de uniones en las que se pretenda conseguir un empotramiento se considerará el ridigez eficaz de la unión en función del deslizamiento de las uniones. La mayoría de las uniones rígidas con clavijas son a lo sumo semiempotramientos, y en muchos casos llegan a comportarse casi como articulaciones.

5.3.2 Estructuras trianguladas

1 En el análisis de estructuras trianguladas, líneas que representan las barras del sistema son aquellas que unen los centros de gravedad de las secciones. En caso de utilizar, como línea de referencia de la barra, una distinta a la anterior, se tendrá en cuenta en dicho análisis los efectos de la excentricidad respecto a dicha línea.



(1) línea del sistema
(2) apoyo
(3) vano
(4) cordón exterior
(5) celosía del alma
(6) barra ficticia
(7) línea representativa de la barra, que no coincide con su eje real

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

2 Los empalmes realizados en las barras de piezas de celosía pueden ser considerados como rígidos si su rotación real, debida a las acciones, no tiene efectos significativos sobre las leyes de distribución de esfuerzos. Este requisito se cumple si se verifican las siguientes condiciones:

a) el empalme tiene una capacidad de carga que corresponde, al menos, a 1,5 veces la hipótesis más desfavorable;

b) el empalme tiene una capacidad portante 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. Además, si se considera el empalme como una articulación, el conjunto debe ser estable.

5.3.3 Pórticos y arcos planos

1 Cuando los esfuerzos generados como consecuencia del desplazamiento de la estructura no sean despreciables, debe relizarse 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 deformada 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:

$$\phi = 0{,}005 \qquad \text{para } h \leq 5 \text{ m} \tag{5.6}$$

$$\phi = 0{,}005\sqrt{\frac{5}{h}} \qquad \text{para } h > 5\text{m} \tag{5.7}$$

siendo:

h longitud del soporte, [m];

el valor mínimo de *e* debe ser:

$$e = 0{,}0025 \cdot l \tag{5.8}$$

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).

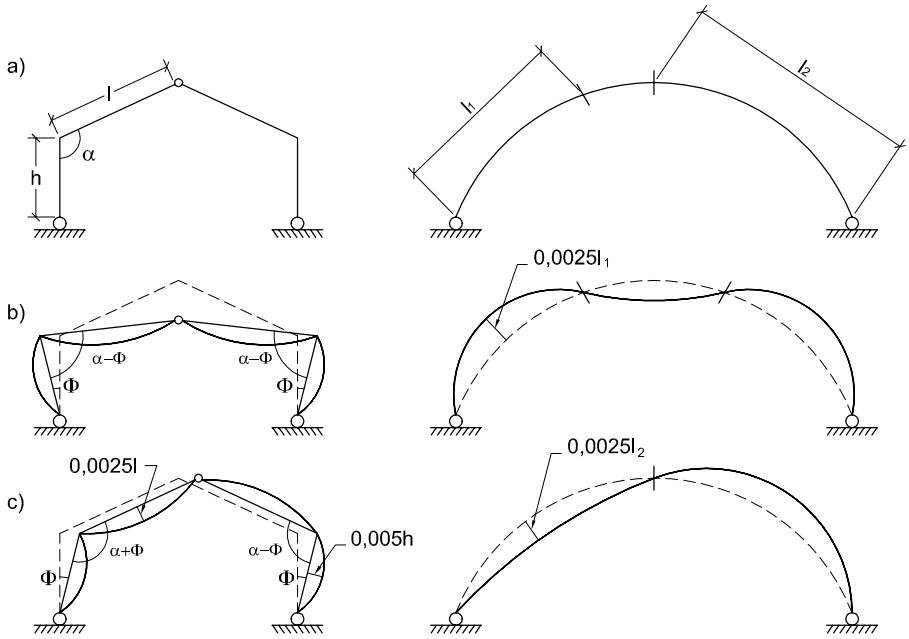
El valor mínimo de *e* debe ser:

$e = 0{,}0025 \cdot l_1$ para carga simétrica (5.9)

$e = 0{,}0025 \cdot l_2$ para carga no simétrica (5.10)

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.



a) Definición de la geometría inicial
b) Desviación correspondiente a carga simétrica
c) Desviación correspondiente a carga asimétrica

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

5.3.4 Análisis simplificado de celosías trianguladas con placas dentadas

1 Para realizar el análisis simplificado de celosías trianguladas que se establece a continuación, deben cumplirse 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 a (a_1 / 3) ni a 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;

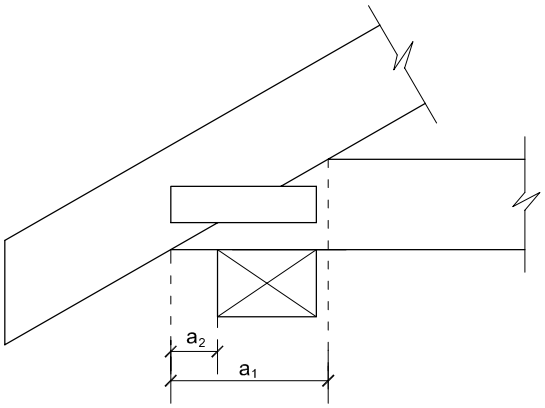


Figura 5.3 Geometría del apoyo

2 El análisis simplificado consiste en los esfuerzos en las barras de la siguiente forma:

a) las fuerzas axiales en las barras se determinan bajo la hipótesis de que todos los nudos están articulados;

b) los momentos de flexión de las barras de un solo vano se determinan bajo 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

1 Para el caso de piezas de seccion constante, el paso de las solicitaciones de cálculo a tensiones de cálculo se podrá hacer según las fórmulas clásicas de Resistencia de Materiales salvo en las zonas en las que exista un cambio brusco de sección o, en general, un cambio brusco del estado tensional.

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

6.1.1 Principios generales

1 Este apartado se aplica a la comprobación de solicitaciones en 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.

2 Se supone que las tensiones se orientan solamente según los ejes principales, según figura 6.1.

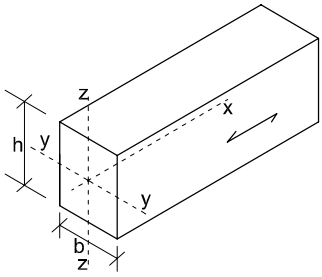


Figura 6.1 Ejes y dirección de la fibra en la pieza

6.1.2 Tracción uniforme 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 uniforme perpendicular a la fibra

1 Determinadas las tensiones de cálculo, debe cumplirse la siguiente condición:

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

$\sigma_{t,90,d} \leq k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$ madera laminada encolada y madera microlaminada (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 2.2.

6.1.4 Compresión uniforme 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.

6.1.5 Compresión uniforme 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

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \quad (6.6)$$

siendo:

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

$F_{c,90,d}$ valor de cálculo de la carga de compresión perpendicular a la fibra;

A_{ef} área de contacto eficaz en 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.

$k_{c,90}$ = 1,0 salvo que sean de aplicación las condiciones definidas en los párrafos siguientes

- En el caso de durmientes (apoyo en continuo), siempre que $l_1 \geq 2h$, (Figura 6.2a),

  $k_{c,90}$ = 1,25, para madera maciza de coníferas

  $k_{c,90}$ = 1,5, para madera laminada encolada de coníferas.

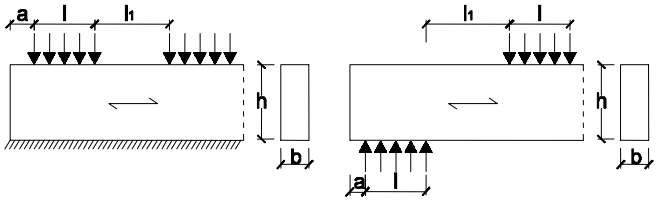
- En el caso de piezas sobre apoyos aislados, siempre que $l_1 \geq 2h$, (Figura 6.2b)

  $k_{c,90}$ = 1,5 para madera maciza de coníferas

  $k_{c,90}$ = 1,75 para madera laminada encolada de coníferas siempre que $l \leq 400$ mm.

  donde h es el canto de la pieza y l es la longitud de contacto.

2 El área de contacto eficaz perpendicular a las fibras, A_{ef}, debe determinarse considerando una longitud eficaz paralela a la fibra, donde el área de contacto real, l, a cada lado se incrementa 30 mm, pero no más que l o $l_1/2$, (figura 6.2).



a) b)

Figura 6.2 Longitud eficaz a compresión perpendiculas a la fibra. a) durmiente (apoyo en continuo) y b) apoyo aislado.

6.1.6 Flexión simple

1 Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \quad (6.7)$$

siendo:

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

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

6.1.7 Flexión esviada

1 Deben cumplirse las siguientes condiciones:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.8)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.9)$$

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 el 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; (6.10)

k_m = 1,0 para otras secciones y otros productos derivados de la madera (6.11)

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.a), y para solicitaciones de cortante con ambas componentes perpendiculares a la dirección de la fibra (rodadura, figura 6.5.b), debe cumplirse la condición siguiente:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (6.12)$$

siendo:

τ_d tensión de cálculo a cortante;

$f_{v,d}$ resistencia de cálculo a cortante (corte paralelo o rodadura). La resistencia a cortante por rodadura podrá considerarse igual al doble de la resistencia a tracción perpendicular a la fibra.

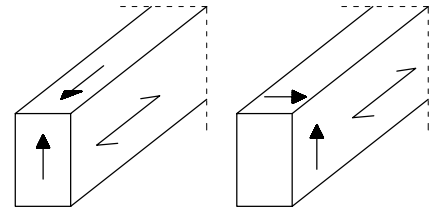


Figura 6.5 Tensiones de cortadura. a) corte paralelo. b) rodadura

2 Para la comprobación de cortante de piezas en flexión, debería tenerse en cuenta la influencia de las fendas utilizando un ancho eficaz de la pieza, b_{ef}, definido por la expresión:

$$b_{ef} = k_{cr} b \quad (6.13)$$

siendo:
b es el ancho de la sección correspondiente de la pieza.
k_{cr} = 0,67 para la madera maciza
k_{cr} = 0,67 para la madera laminada encolada
k_{cr} = 1,0 para otros productos derivados de la madera de acuerdo con las normas EN 13986 y EN 14374.

3 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.

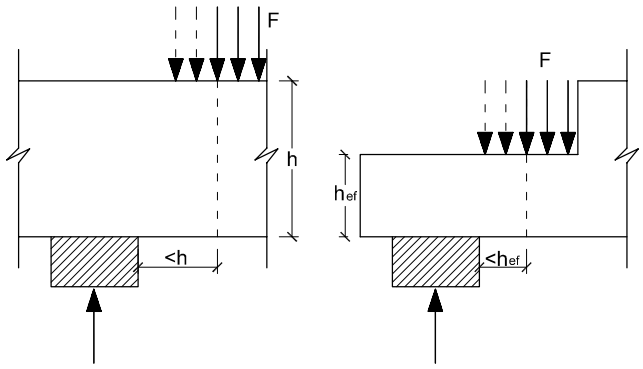


Figura 6.6 Situaciones de apoyo en las que parte de las cargas (las representadas a trazos) pueden despreciarse en el cálculo del esfuerzo cortante.

6.1.9 Torsión

1 Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{forma} \cdot f_{v,d} \qquad (6.14)$$

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:

$$k_{forma} = \begin{cases} 1{,}2 & \text{Sección circular} \\ \min\left\{ 1 + 0{,}15\dfrac{h}{b} \right\} & \text{Sección rectangular } (h > b) \\ 2{,}0 & \end{cases} \qquad (6.15)$$

No obstante, se recomienda reducir las tensiones de este origen a valores aun menores, cuando se trate de un torsor necesario para el equilibrio y no un torsor que aparezca por compatibilidad de deformaciones en estructuras hiperestáticas, y debido a que el torsor implica componentes de tensión perpendiculares a la fibra.

6.2 Solicitaciones combinadas en sección constante

1 En las secciones sometidas a flexión y cortante basta que se cumplan las condiciones de flexión y cortante por separado.

2 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.

6.2.1 Compresión inclinada respecto a la fibra

1 La tensión de compresión oblicua debe cumplir la condición siguiente:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\dfrac{f_{c,0,d}}{f_{c,90,d}} sen^2\alpha + \cos^2\alpha} \qquad (6.16)$$

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.

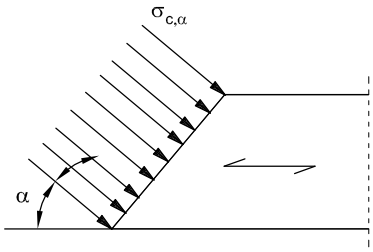


Figura 6.7. Compresión inclinada respecto a la fibra (ángulo α)

6.2.2 Flexión y tracción axial combinadas

1 Deben cumplirse las condiciones siguientes:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.17)$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.18)$$

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 el apartado 6.1.7.

6.2.3 Flexión y compresión axial combinadas

1 Deben cumplirse las siguientes condiciones:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.19)$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.20)$$

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;
$f_{m,y,d}$ 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 el apartado 6.1.7.

6.2.4 Tracción perpendicular y cortante combinados

1 Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1 \qquad (6.21)$$

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 2.2.

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.

6.3.2 Pandeo de columnas solicitadas a flexión compuesta. (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:

$$\lambda_y = \frac{L_{k,y}}{i_y} \qquad (6.22)$$

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

$$\lambda_z = \frac{L_{k,z}}{i_z} \qquad (6.23)$$

siendo:

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

$L_{k,y} = \beta_y \cdot L$ (6.24)

$L_{k,z} = \beta_z \cdot L$ (6.25)

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, z, respectivamente.

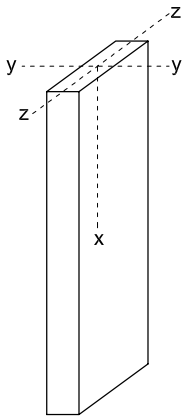


Figura 6.8 Ejes principales de la pieza comprimida, solicitada a compresión.

2 Esbeltez relativa.

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

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} \quad (6.26)$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} \quad (6.27)$$

siendo:

$\sigma_{c,crit,y} = \pi^2 E_{0,k} / \lambda^2_y$ (6.28)

$\sigma_{c,crit,z} = \pi^2 E_{0,k,} / \lambda^2_z$ (6.29)

$E_{0,k}$ módulo de elasticidad paralelo a la fibra;

λ_y y λ_z esbelteces mecánicas.

6.3.2.2 Fórmulas para la comprobación de piezas simples

1 Si $\lambda_{rel,y} > 0,3$ y/o $\lambda_{rel,z} > 0,3$, se comprobará este estado límite de la manera siguiente:

a) En piezas de sección constante y compresión simple, deben cumplirse las condiciones siguientes:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.30)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,y} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.31)$$

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;

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

$$\chi_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda^2_{rel,y}}} \quad \text{análogo para } \chi_{c,z} \quad (6.32)$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda^2_{rel,y}) \quad \text{análogo para } k_z \quad (6.33)$$

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 según 6.3.2.1.

b) Flexocompresión con momentos flectores adicionales al esfuerzo de compresión;
Deben cumplirse las condiciones siguientes:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,y} f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.34)$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,z} f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.35)$$

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**;**

$f_{m,y,d}$ 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 el apartado 6.1.7;

$k_m = 0,7$ (sección rectangular);

$\chi_{c,y}$ y $\chi_{c,z}$ coeficientes de pandeo según 6.3.2.2.

Tabla 6.1 Valores del factor de pandeo χ_c ($\chi_{c,y}$ o $\chi_{c,z}$), 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 No será necesaria la comprobación a vuelco lateral en aquellas vigas o piezas en las que se impide el desplazamiento lateral de la pieza de forma continua o casi continua (como en el caso de diafragmas definido en 10.4.1.2).

2 En este apartado se incluye la comprobación al vuelco lateral por 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 $N_{c,d}$.

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:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \tag{6.36}$$

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, que en piezas de directriz recta y sección constante puede obtenerse a partir de la expresión siguiente:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \cdot \sqrt{E_{0,k} \cdot I_z \cdot G_{0,k} \cdot I_{tor}}}{\beta_v \cdot L_{ef} \cdot W_y} \tag{6.37}$$

siendo:

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

$G_{0,k}$ 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:

$$L_{ef} = \beta_v \cdot L \tag{6.38}$$

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:

$$\sigma_{m,crit} = 0{,}78 \cdot \frac{E_{0,k} \cdot b^2}{L_{ef} \cdot h} \tag{6.39}$$

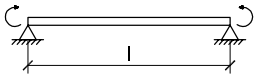
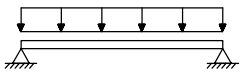
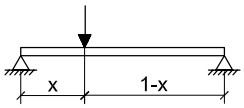
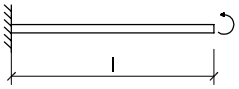
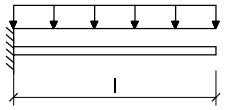
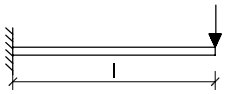
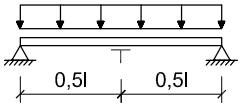
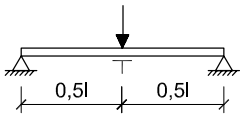
siendo:

$E_{0,k}$ 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	$\beta_v = L_{ef} / L$
	$\beta_v = 1{,}00$
	$\beta_v = 0{,}95$
	$\beta_v = 0{,}8/\alpha$ $\alpha = 1{,}35 - 1{,}4\ x(L - x)/L^2$
	$\beta_v = 2{,}00$
	$\beta_v = 1{,}20$
	$\beta_v = 1{,}70$
	$\beta_v = 0{,}40$
	$\beta_v = 0{,}25$

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 L_{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.

T: sección central con desplazamiento lateral impedido en el borde superior.

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, donde el momento es mayor, tomándose como distancia entre secciones arriostradas la correspondiente al tramo central, con β_v=1, como si el momento fuera constante.

6.3.3.3 Comprobación de piezas de directriz recta y sección constante

1 La comprobación a vuelco lateral no será necesaria en vigas que cumplan la condición

$\lambda_{rel,m} \leq 0{,}75$

2 Vuelco lateral en flexión simple.

Debe cumplirse la siguiente condición:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,d} \qquad (6.40)$$

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:

$$k_{crit} = 1{,}56 - 0{,}75\lambda_{rel,m} \quad \text{para } 0{,}75 < \lambda_{rel,m} \leq 1{,}4 \qquad (6.41)$$

$$k_{crit} = 1/\lambda^2_{rel,m} \quad \text{para } 1{,}4 < \lambda_{rel,m}$$

donde:

$\lambda_{rel,m}$ esbeltez relativa a flexión según 6.3.3.2.

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:

$$C_e = \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2}} \qquad (6.42)$$

siendo:

l_{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 axil de compresión $N_{c,d}$, debe cumplirse la siguiente condición:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{\chi_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1 \qquad (6.43)$$

siendo:

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

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

$\chi_{c,z}$ coeficiente de pandeo por flexión respecto al eje *z* (eje débil) definido en 6.3.2.2

4 En este caso debe comprobarse también la inestabilidad al pandeo por flexión (véase el apartado 6.3.2.2), ya que en este apartado se ha contemplado sólo el pandeo por torsión.

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 o microlaminada

6.4.1 Consideraciones generales

1 En este apartado se analizan aspectos singulares del análisis y la comprobación, 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 piezas de canto variable o curvas. También se considera la pérdida de resistencia a flexión debida al curvado de las láminas.

6.4.2 Vigas de canto variable y caras sin cambio de pendiente

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.

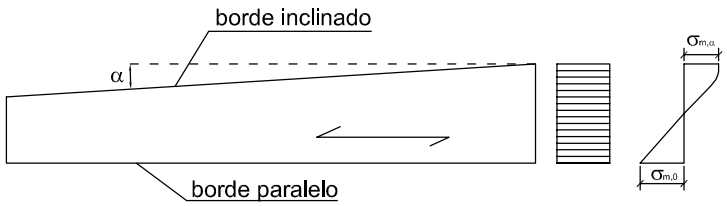


Figura 6.9 Viga a un agua (Se llama borde paralelo a la cara que marca la direccion del laminado, e inclinado al opuesto, bajo la consideración de que se mantiene el sistema de laminación. Existen otras formas de laminación, pero no se contemplan en este Documento Básico)

1 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:

$\sigma_{m,0,d} \leq f_{m,d}$ en borde paralelo respecto a la dirección de la fibra (6.44)

$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} \cdot f_{m,d}$ en borde inclinado respecto a la dirección de la fibra (6.45)

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),

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,d}}{0{,}75 \cdot f_{v,d}} \cdot \mathrm{tg}\alpha \right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \cdot \mathrm{tg}^2\alpha \right)^2}} \quad (6.46)$$

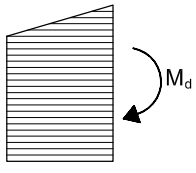


Figura 6.10 Tensiones de tracción en el borde inclinado (la zona rayada representa la dirección de laminado)

si las tensiones son de compresión (figura 6.11),

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{f_{m,d}}{1{,}5 \cdot f_{v,d}} \cdot tg\alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \cdot tg^2\alpha\right)^2}} \qquad (6.47)$$

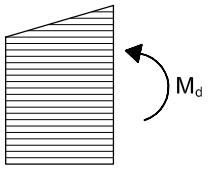


Figura 6.11 Tensiones de compresión en el borde inclinado (la zona rayada representa la dirección de laminado).

6.4.3 Viga a dos aguas o con cambio de pendiente en una de las caras

1 Las comprobaciones que se indican a continuación son aplicables únicamente a piezas de madera laminada encolada o de madera microlaminada. Se define la zona de vértice, según la figura 6.12, como una zona localizada en el cambio de pendiente, siendo el semivano el resto. Se comprobará:

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;

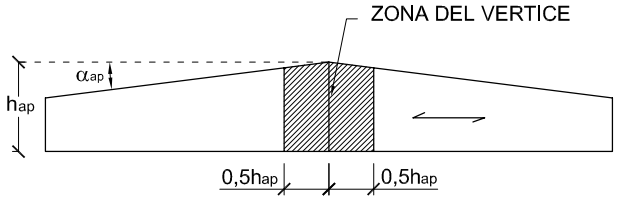


Figura 6.12. Viga a dos aguas

b) **en la zona del vértice** (zona rayada de la figura 6.12. El rayado se hace sólo para indicar la zona, ya que el laminado se supone paralelo a la cara inferior con pendiente constante):

i) tensiones normales debidas a la 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:

$$\sigma_{m,d} \leq f_{m,d} \qquad (6.48)$$

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 (la clásica fórmula de resistencia de materiales modificada por el coeficiente k_l):

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} \qquad (6.49)$$

siendo:

$$k_l = 1 + 1{,}4\ tg\ \alpha_{ap} + 5{,}4\ tg^2\alpha_{ap} \qquad (6.50)$$

$M_{ap,d}$ 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:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} \quad (6.51)$$

siendo:

$$\sigma_{t,90,d} = 0{,}2 \cdot tg\alpha_{ap} \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} - 0{,}6 \cdot \frac{p_d}{b} \quad (6.52)$$

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 2.2.1.2. 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 con partes de su trazado curvadas.

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. Se ejemplifica en casos simétricos en los que la zona de vértice, correspondiente al trazado en curva, está en el centro.

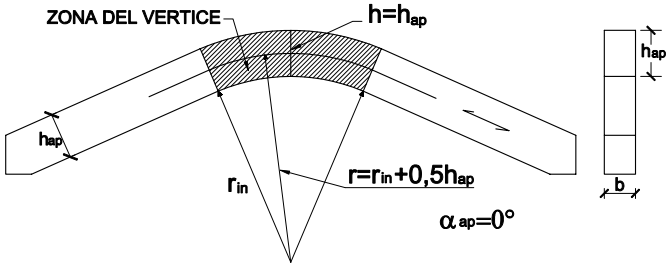


Figura 6.13 Viga curva de canto constante (la laminación es paralela a las caras)

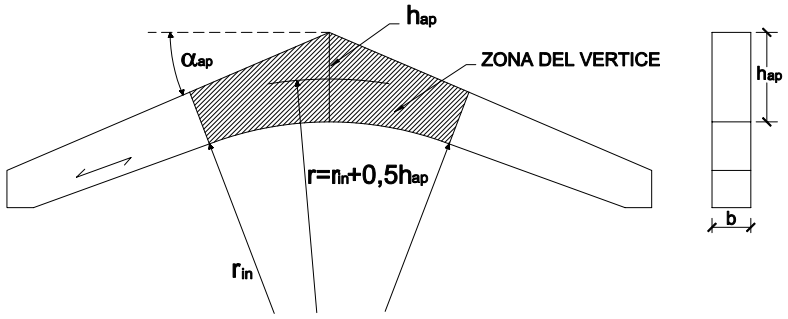


Figura 6.14 Viga a dos aguas con intradós curvo (la laminación se interrumpe en la zona del vértice, en el cambio de pendiente, pero no en las zonas próximas al intradós)

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 6.1, 6.2 y 6.3);

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 6.1, 6.2 y 6.3), las del apartado 6.4.2 para piezas de canto variable.

iii) En el tramo de directriz recta se realizara una comprobación a cortante según el apartado 6.1.8.

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:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d} \tag{6.53}$$

siendo:

$$\sigma_{m,d} = k_l \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} \tag{6.54}$$

donde:

$$k_l = k_1 + k_2 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3 \tag{6.55}$$

$$k_1 = 1 + 1{,}4\ tg\ \alpha_{ap} + 5{,}4\ tg^2\ \alpha_{ap} \tag{6.56}$$

$$k_2 = 0{,}35 - 8\ tg\ \alpha_{ap} \tag{6.57}$$

$$k_3 = 0{,}6 + 8{,}3\ tg\ \alpha_{ap} - 7{,}8\ tg^2\ \alpha_{ap} \tag{6.58}$$

$$k_4 = 6\ tg^2\ \alpha_{ap} \tag{6.59}$$

$M_{ap,d}$ 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;

$$r = r_{in} + 0{,}5 \cdot h_{ap} \tag{6.60}$$

r_{in} radio del intradós de la viga;

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:

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{para } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \quad (6.61) \\ 0{,}76 + 0{,}001\frac{r_{in}}{t} & \text{para } \frac{r_{in}}{t} < 240 \quad (6.62) \end{cases}$$

siendo:

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:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d} \tag{6.63}$$

siendo:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} - 0{,}6 \cdot \frac{p_d}{b} \quad (6.64)$$

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.

$$k_p = k_5 + k_6 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left(\frac{h_{ap}}{r} \right)^2 \quad (6.65)$$

$$k_5 = 0{,}2 \text{ tg } \alpha_{ap} \quad (6.66)$$

$$k_6 = 0{,}25 - 1{,}5 \text{ tg } \alpha_{ap} + 2{,}6 \text{ tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.67)$$

$$k_7 = 2{,}1 \text{ tg } \alpha_{ap} - 4 \text{ tg}^2 \alpha_{ap} \quad (6.68)$$

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

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

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

6.5 Piezas rebajadas

6.5.1 Principios generales

1 La existencia de un rebaje implica una concentración de tensiones. Se podrá evitar la comprobación al respecto en los siguientes casos:

a) solicitaciones axiles de tracción o compresión paralela a la fibra;

b) solicitación de flexión provocando tracciones en la zona del rebaje si su pendiente no es mayor que 1:10 (I:i), figura 6.15 (izquierda);

c) solicitación de flexión provocando compresiones en la zona del rebaje, figura 6.15 (derecha).

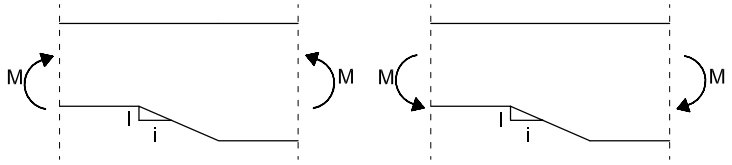


Figura 6.15 Flexión en la zona rebajada. Izquierda: tensiones de tracción en el rebaje; derecha: tensiones de compresión en el rebaje.

6.5.2 Vigas con rebaje en la zona de apoyo

1 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:

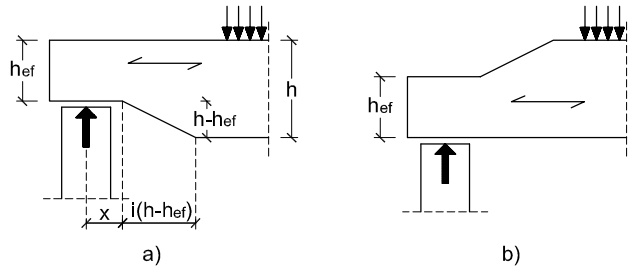


Figura 6.16 Extremos rebajados de vigas.

$$\tau_d = \frac{1{,}5 \cdot V_d}{b \cdot h_{ef}} \leq k_v \cdot f_{v,d} \qquad (6.69)$$

siendo:

V_d esfuerzo cortante de cálculo en la viga;
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).

$$k_v = \min \left\{ 1 \;;\; \frac{k_n \cdot \left(1 + \frac{1{,}1 \cdot i^{1{,}5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \cdot \left(\sqrt{\alpha \cdot (1-\alpha)} + 0{,}8 \cdot \frac{x}{h} \cdot \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \right\} \qquad (6.70)$$

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).
α = h_{ef} / h

$$k_n = \begin{cases} 4{,}5 & \text{Para madera microlaminada} \\ 5{,}0 & \text{Para madera maciza} \\ 6{,}5 & \text{Para madera laminada encolada} \end{cases} \qquad (6.71)$$

6.6 Piezas con agujeros

1 La comprobación de la resistencia a cortante de una pieza con agujeros como los indicados en la figura 6.17, y bajo las condiciones siguientes:

$l_v \geq h$

$l_z \geq$ max (h, 300 mm)

$l_A \geq h/2$

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

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

$a \leq h$

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

$r \geq 15$ mm

se basa en la comprobación una viga equivalente con una entalladura según se ilustra en la figura 6.18 y utilizando el método de comprobación expuesto en el apartado 6.5.2.

Como modelo de análisis se considera el usual modelo simplificado para viga Vierendeel, de forma que se supone que los momentos locales de los cordones son nulos en el centro de la barra; y además se supone que el cortante de cada cordón es proporcional a su área. De este modo, La sección esta sometida a unos cortantes V_u y V_l respectivamente, definidos por las expresiones siguientes:

$$V_u = \frac{V_d \cdot h_{ru}}{h_{ru} + h_{rl}} \tag{6.72}$$

$$V_l = \frac{V_d \cdot h_{rl}}{h_{ru} + h_{rl}} \tag{6.73}$$

siendo:

V_d cortante total de cálculo en la sección, figura 6.18.

2 El análisis de la estructura deberá ser acorde con el anterior modelo de viga Vierendeel. En los casos hiperestáticos el proyectista deberá revisar la corrección de las hipótesis simplificadas adoptadas, ya que en algunos casos los puntos de momentos local nulo de los cordones están muy alejados de los puntos intermedios; quedando en todo caso bajo su criterio y reponsabilidad la elección del modelo de análisis.

3 En el caso de 3 de forma circular, de acuerdo con el modelo simplificado expuesto, la comprobación de la resistencia a cortante debe realizarse considerando una pendiente de la entalladura de 1:1, figura 6.18.

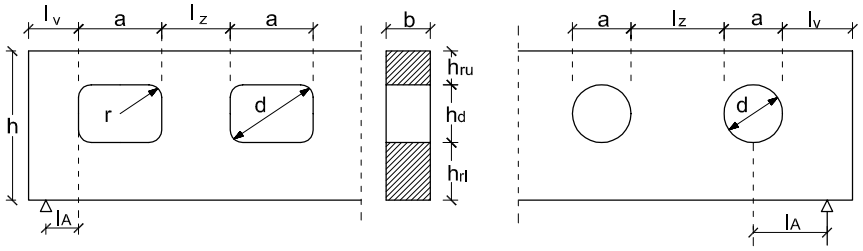


Figura 6.17 Dimensiones del agujero y distancias.

4 En las piezas en las que no se cumplan las hipótesis de partida del modelo de análisis, o bajo criterio del proyectista, se considerarán los principios generales del Capt. 5.

5 Bajo las hipótesis expuestas en el apartado 2; no será necesario realizar ninguna comprobación para los agujeros con una dimensión interior, d, menor que -0,1·h.

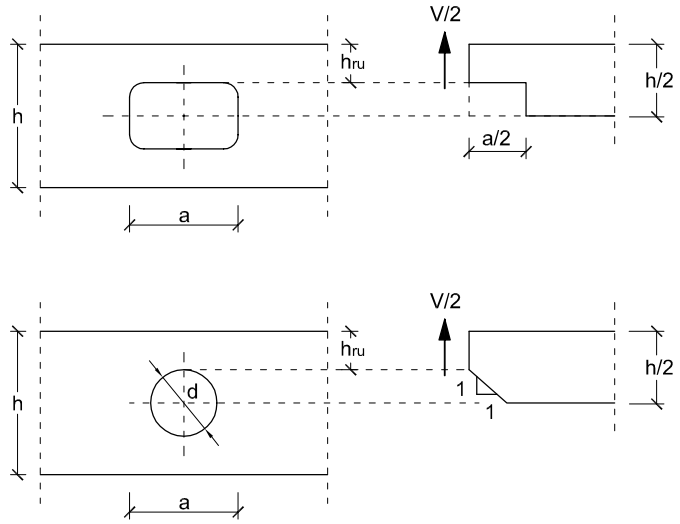


Figura 6.18 Las vigas con agujeros situados en el centro de la viga se comprobarán a cortante considerando un efecto equivalente como si se tratara de una entalladura en la viga. A la izquierda se representan los agujeros y a la derecha la entalladura equivalente.

7 Estados límite de servicio

7.1 Deformación diferida

1 La componente diferida de un desplazamiento, δ_{dif}, se determina a partir de la expresión:

$$\delta_{dif} = \delta_{ini} \cdot \psi_2 \cdot k_{def} \quad (7.1)$$

siendo:

δ_{ini} desplazamiento elástico;

ψ_2 coeficiente de simultaneidad que se obtien de la tabla 4.2 del DB SE. Para las cargas permanentes, se adoptará ψ_2=1;

k_{def} factor de fluencia en función de la clase de servicio (véase tabla 7.1);

2 Las deformaciones diferidas deben evaluarse bajo la combinación de acciones que corresponda según lo definido en el DB SE, apartado 4.3.3. En el caso de la combinación casi permanente, sólo se multiplicará una vez por el factor ψ_2

Tabla 7.1 Valores de k_{def} para madera y productos derivados de la madera

Material	Tipo de producto	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 En los casos en los que la tabla 7.1 no indica un valor de k_{def}, el tipo de material correspondiente no podrá utilizarse en dicha clase de servicio.

7.2 Deslizamiento de las uniones

1 El módulo de deslizamiento K_{ser}, cociente entre la fuerza aplicada en servicio y el deslizamiento local de la unión, con la hipótesis de régimen lineal y elástico, y para los estados límite de servicio, puede determinarse mediante ensayos según la norma UNE EN 26891 (método de determinación de $k_s = K_{ser}$), u obtenerse de la manera indicada en el párrafo siguiente.

2 Para uniones de tipo clavija colocadas de forma ortogonal a las piezas que unen y además a la dirección de la fibra, 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, (siendo d el diámetro de la clavija y d_c el diámetro del conector según 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 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}, se multiplicará por 2.

7.3 Vibraciones

7.3.1 Generalidades

1 En las estructuras convencionales, y si se cumplen las condiciones de rigidez bajo carga estática establecidas en el CTE, no será necesario considerar en el análisis el estado limite de vibración.

2 Para el análisis se emplearán los valores medios de las propiedades de rigidez.

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);

b) Elementos mecánicos de fijación de tipo conectores;

c) Uniones tradicionales.

8.2 Principios generales del cálculo de uniones

8.2.1 Capacidad de carga

1 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.

8.2.2 Uniones con múltiples elementos o tipos de fijación

1 En una unión con varios elementos de fijación del mismo tipo y dimensiones, la capacidad de carga del conjunto es menor, según se indica en 8.2.6, 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, la capacidad de carga de cada tipo viene condicionada por la compatibilidad de las deformaciones. De no realizarse un estudio especial, se recomienda no mezclar tipos ni dimensiones (es decir, elementos con distinta rigidez), salvo que su análisis se recoja expresamente en este DB.

8.2.3 Uniones con múltiples planos de cortadura

1 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.

8.2.4 Uniones en ángulo solicitadas por fuerzas axiles

1 En estas uniones, y debido a que la fuerza actúa con un ángulo α con respecto a la dirección de la fibra en una de las piezas, debe tenerse en cuenta el efecto de hienda debido a las tensiones provocadas por una componente ($F_d \cdot \text{sen}\ \alpha$), perpendicular a la fibra, (véase figura 8.1).

2 En este caso debe cumplirse la siguiente condición:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \tag{8.1}$$

siendo:

$$F_{v,Ed} = \max \begin{Bmatrix} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{Bmatrix} \tag{8.2}$$

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 y chopo, la capacidad de carga característica frente a la hienda para la disposición de la figura 8.1, viene definida por la siguiente expresión:

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

siendo:

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

donde:

$F_{90,Rk}$ valor característico de la capacidad de carga frente a la hienda, [N];
h_e distancia desde el borde cargado de la pieza central hasta el eje del elemento mecánico de fijación más alejado; [mm];
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].

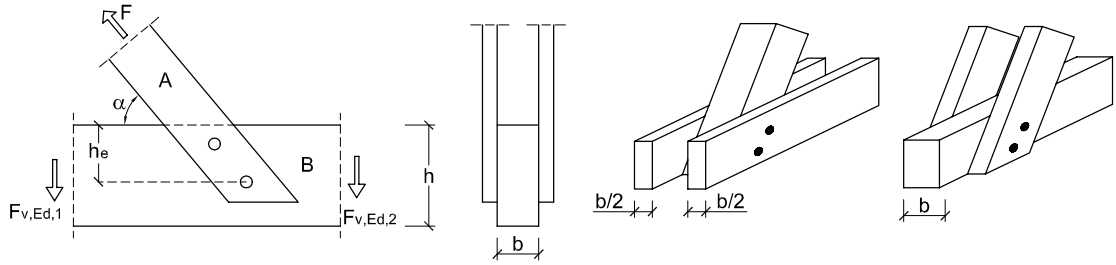


Figura 8.1 Fuerza oblicua transmitida en una unión.

8.2.5 Inversión de esfuerzos

1 En el caso de que la solicitación en las piezas oscile entre un valor de tracción $F_{t,\,Ed}$ y de compresión $F_{c,\,Ed}$, y que además su origen sean acciones de larga o media duración (es decir, que si no se consideran ese tipo de acciones en la combinación no se producen inversión de esfuerzos), 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 Reducción de la capacidad de carga de la unión en función del número de elementos de fijación que la componen (número eficaz)

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

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

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.

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 con madera y de tablero con madera

1 Cortadura simple:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (8.6) \\ f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & (8.7) \\ \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{1+\beta} \cdot \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right) + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] & (8.8) \\ 1{,}05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1+\beta) + \frac{4{,}5 \cdot \beta \cdot (2+\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] & (8.9) \\ 1{,}05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_2 \cdot d}{1+2 \cdot \beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1+\beta) + \frac{4{,}5 \cdot \beta \cdot (1+2 \cdot \beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] & (8.10) \\ 1{,}15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} & (8.11) \end{cases}$$

2 Cortadura doble:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (812) \\ 0{,}5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & (8.13) \\ 1{,}05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} \cdot \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1+\beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2+\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] & (8.14) \\ 1{,}15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} & (8.15) \end{cases}$$

siendo:

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

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 ó 2, véanse apartados 8.3.2 a 8.3.6;
- $f_{h,i,k}$ resistencia característica al aplastamiento en la pieza i; véanse los apartados 8.3.1.1.2 y 8.3.2.1.3;
- $M_{y,Rk}$ 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;

Las capacidades de carga más altas se obtienen en los mecanismos de rotura donde la rótula plástica de la clavija y la tensión de aplastamiento de la madera se alcanzan de forma simultánea. Para ello se recomienda que la clavija penetre entre 10 y 12 diámetros en la madera en cada una de las piezas a unir.

3 En cortadura doble, el subíndice 1 corresponde a las piezas laterales y el subíndice 2 a la pieza central.

4 En uniones a cortadura simple, 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.

5 El valor característico de la resistencia al aplastamiento, $f_{h,k}$, se puede obtener, en este capítulo, en función de el tipo de clavija y el tipo de material. En casos no descritos se puede recurrir a las normas EN 383 y UNE EN 14358.

6 El valor característico del momento plástico, $M_{y,Rk}$, se puede obtener, en este capítulo, para secciones cuadradas y circulares macizas de acero. En casos no cubiertos se podrá determina de acuerdo con las normas UNE EN 409 y UNE EN 14358.

7 Los diferentes modos de fallo, correspondientes a cada expresión, se representan gráficamente en la figura 8.2.

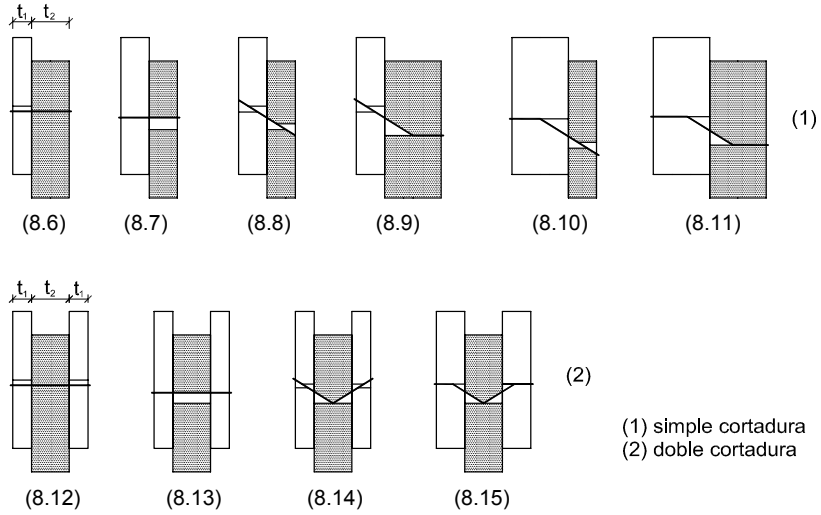


Figura 8.2 Modos de fallo en uniones de madera con madera y de madera con tablero.

8.3.1.2 Uniones de acero con 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·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 0,1d, 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. Si se respetan las distancias a los bordes derivadas de la madera, se podrá comprobar a partir de área resistente equivalente igual a d·t, siendo d el diámetro y t el espesor, y considerando una tensión de cálculo de $(0,53 \cdot f_y)$(siendo f_y la tensión en el límite elástico del acero de la placa).

3 Cortadura simple:

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

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{ll} 0,4 \cdot f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (8.17) \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} & (8.18) \end{array} \right.$$

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

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{ll} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] & (8.19) \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} & (8.20) \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (8.21) \end{array} \right.$$

4 Cortadura doble:

a) pieza central de acero de cualquier espesor;

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{ll} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d & (8.22) \\ f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] & (8.23) \\ 2{,}3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} & (8.24) \end{array} \right.$$

b) pieza central de madera:

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

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{ll} 0{,}5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & (8.25) \\ 1{,}15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} & (8.26) \end{array} \right.$$

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

$$F_{v,Rk} = \min \left| \begin{array}{ll} 0{,}5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d & (8.27) \\ 2{,}3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,2,k} \cdot d} & (8.28) \end{array} \right.$$

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 ó 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.
$F_{ax,Rk}$ capacidad de carga a la extracción del elemento de fijación;

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

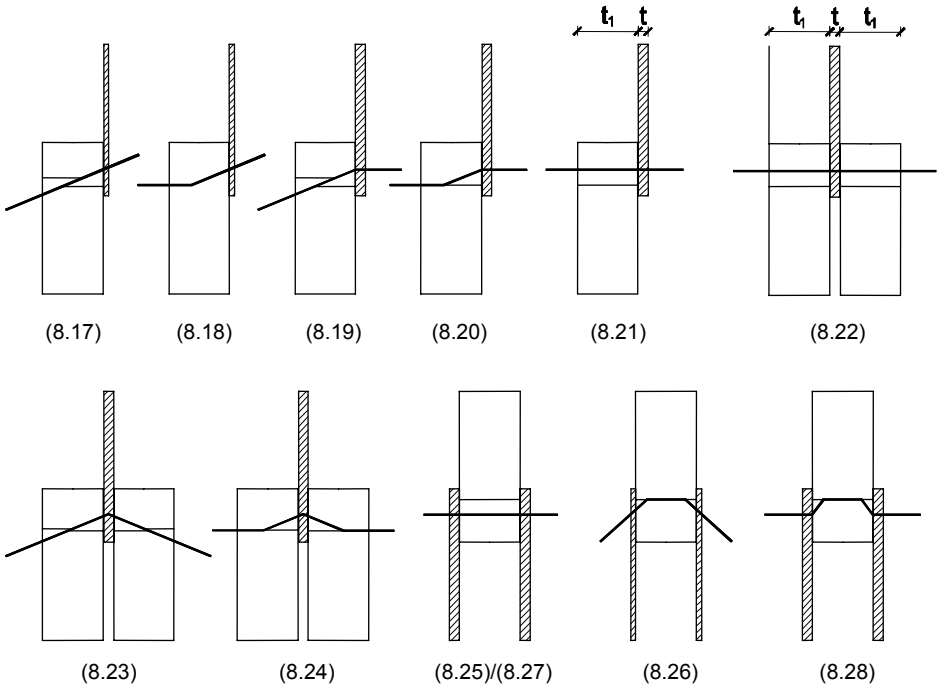


Figura 8.3 Modos de fallo en las uniones entre acero y madera.

6 Debe tenerse en cuenta que la capacidad de carga de las uniones en testa puede reducirse por el posible fallo del perímetro que recoge al grupo de elementos de fijación. En el anejo H se incluye un método que realizar este análisis.

7 Al igual que en 8.3.1.1, en las fórmulas de los apartados 3 y 4 se ha prescindido del incremento de carga por rozamiento. No obstante, en el caso de que así se desee, se considerará válido el uso de las ecuaciones de la norma UNE ENV-1995 que incluyen el efecto del rozamiento, siempre que se consideren las importantes deformaciones que se producen.

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 (véase figura 8.4).

t_2 penetración en la pieza de punta en simple cortadura o espesor de la pieza central en doble cortadura.

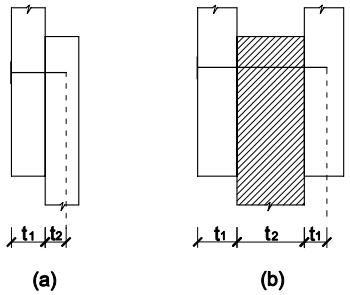


Figura 8.4 Definición de t_1 y t_2. a) cortadura simple, b) cortadura doble.

2 Cuando la densidad característica de la madera sea superior o igual a 500 kg/m^3 o cuando el diámetro del clavo sea mayor que 6 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/mm^2, el momento plástico característico se determinará según las expresiones siguientes:

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

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

siendo:

$M_{y,Rk}$ valor característico del momento plástico, [N·mm];
d diámetro o lado de la sección del clavo, [mm];
f_u resistencia característica a tracción del alambre, [N/mm^2].

5 En clavos introducidos con taladro previo, la separación a_1 (véase figura 8.7) puede reducirse hasta un mínimo de 4·d, si la capacidad de carga se reduce por el factor siguiente:

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

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·d- (véase figura 8.5), la capacidad de carga debe calcularse tomando como número eficaz de clavos el siguiente:

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \tag{8.32}$$

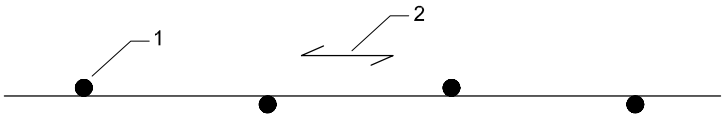
siendo:

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 8.3.1.

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 tendrá un valor entre 0,7 d y 0,8·d, siendo d el diámetro del clavo.

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

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

siendo:

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

2 Solape de clavos:

a) 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 $4 \cdot d$.

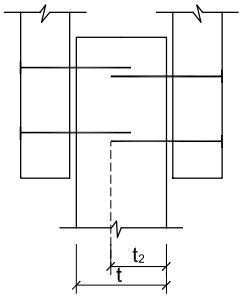


Figura 8.6 Solape de clavos.

3 Penetración del clavo:

a) Como ya se ha comentado, se recomienda una penetración de los clavos, en cada pieza de madera, de entre 10 y 12 diámetros. Con menos penetración se pierde mucha eficacia, y con más no se consigue más capacidad de carga.

4 Clavos en la testa de la pieza:

a) Sólo se admite el uso de clavos de fuste liso en la testa de la pieza para el caso de elementos secundarios; 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 (es decir, con resaltos de distinto tipo; puede verse la definición precisa 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:

i) los clavos se encuentran sometidos exclusivamente a carga lateral;

ii) al menos existen tres clavos por unión;

iii) la penetración en la pieza de punta es como mínimo igual a $10 \cdot d$;

iv) la unión no está expuesta a las condiciones de la clase de servicio 3;

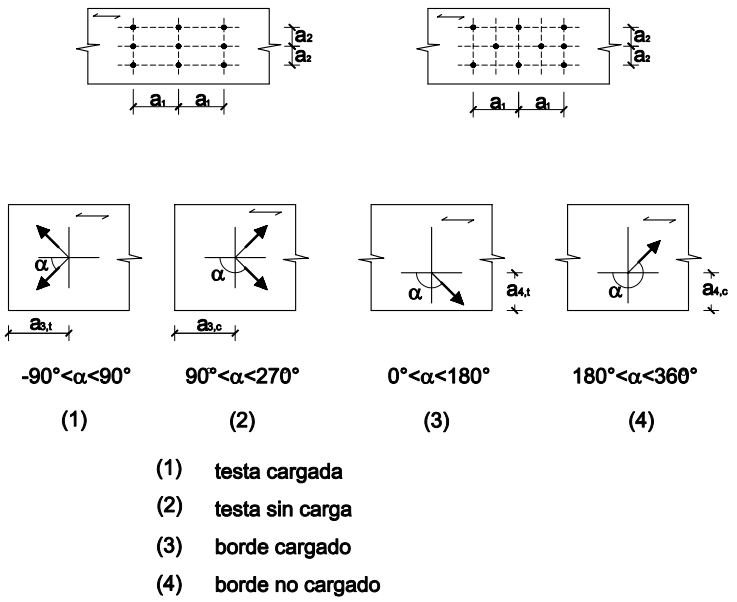
v) se cumplen los valores de separación de la tabla 8.2.

5 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 con madera y bajo carga lateral. Separaciones y distancias mínimas.

Separaciones y distancias (véase figura 8.7)	Ángulo	Distancia mínima		
		Sin pretaladro		Con pretalado
		$\rho_k \leq 420$ kg/m^3	420 kg/m^3 < $\rho_k \leq 500$ kg/m^3	
a_1 (paralela a la fibra)	$0º \leq \alpha \leq 360º$	d < 5mm; (5+5|cos α|)d d ≥ 5mm; (5+7|cos α|)d	(7+8|cos α|)d	(4+|cos α|)d
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0º \leq \alpha \leq 360º$	5d	7d	(3+|sen α|)d
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90º \leq \alpha \leq 90º$	(10+5 cos α)d	(15+5 cos α)d	(7+5 cos α)d
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90º \leq \alpha \leq 270º$	10d	15d	7d
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0º \leq \alpha \leq 180º$	d<5 mm; (5+2 sen α)d d≥5 mm; (5+5 sen α)d	d<5 mm; (7+2 sen α)d d≥5 mm; (7+5 sen α)d	d<5 mm; (3+2 sen α)d d≥5 mm; (3+4 sen α)d
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180º \leq \alpha \leq 360º$	5d	7d	3d



(1) testa cargada
(2) testa sin carga
(3) borde cargado
(4) borde no cargado

Figura 8.7 Separaciones, distancias y ángulo α.

6 Pretaladro:

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

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

siendo:

t espesor mínimo, [mm];
ρ_k densidad característica de la madera, [kg/m^3];
d diámetro del clavo, [mm].

8.3.2.1.3 Uniones clavadas entre tablero y madera

1 Resistencia al aplastamiento:

a) las reglas que figuran a continuación son aplicables en clavos cuya cabeza tenga un diámetro mayor o igual a 2·d;

b) 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/mm^2];
ρ_k densidad característica del tablero contrachapado, [kg/m^3];
d diámetro del clavo, [mm].

c) la resistencia característica al aplastamiento en uniones clavadas en tablero de fibras duro (según 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/mm^2];
d diámetro del clavo, [mm];
t espesor del tablero, [mm].

d) 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/mm^2];
d diámetro del clavo, [mm];
t espesor del tablero, [mm].

2 Separaciones y distancias mínimas:

a) 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.

b) Las distancias mínimas en tablero contrachapado serán igual a 3·d para bordes (o testas) no cargados y (3 + 4sen α) ·d, para bordes (o testas) cargadas, tomando alfa según lo definido en la Figura 8.7.

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)

1 Los clavos utilizados para resistir esfuerzos axiales de cargas permanentes o de larga duración deben ser corrugados.

2 No se recomienda considerar capacidad alguna de transmisión de esfuerzos axiles 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 perpendicular (figura 8.8.a) u oblícuamente (figura 8.8.b) a la fibra, tomará el valor menor de los definidos en las fórmulas siguientes (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):

i) para clavos que no sean de fuste liso (puede verse la definición de la norma UNE EN 14545):

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

ii) para clavos de fuste liso:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} \cdot d \cdot t_{pen} & (a) \\ f_{ax,k} \cdot d \cdot t + f_{head,k} \cdot d_h^2 & (b) \end{cases} \quad (8.40)$$

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 [mm];
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 $f_{head,k}$, para los casos no descritos a continuación, pueden determinarse de acuerdo con las normas UNE-EN 1382, UNE EN 1383 y UNE EN 14358.

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·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/m^3];
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.

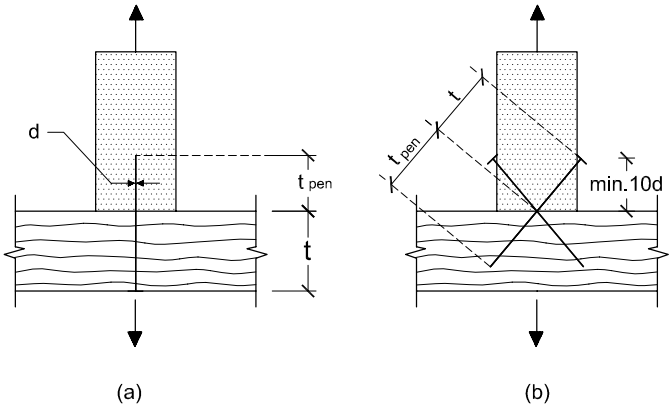


Figura 8.8, Clavado perpendicular (a) y oblicuo (b)

4 Longitud mínima de penetración:

a) en clavos de fuste liso la penetración en la pieza de punta t_{pen}, debe ser al menos 8·d. Si la penetración en la pieza de punta fuera inferior a 12·d la capacidad de carga al arranque debe reducirse por el factor (t_{pen}/4d – 2);

b) en clavos con corrugas o resaltes la penetración en la pieza de punta debe ser al menos 6·d. Si la penetración en la pieza de punta es inferior a 8·d la capacidad de carga al arranque debe reducirse por el factor (t_{pen}/2d – 3).

5 Separaciones y distancias mínimas:

a) las separaciones y distancias mínimas para clavos cargados axialmente 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·d, figura 8.8.b. Al menos existirán dos clavos oblicuos en la unión;

b) Los clavos colocados de forma oblícua se colocarán siempre formando pares simétricos.

8.3.2.3 Clavos sometidos a carga combinada lateral y axial

1 En uniones sometidas a una combinación de carga axial, ($F_{ax,Ed}$) y lateral ($F_{v,Ed}$), deben cumplirse las siguientes condiciones:

a) para clavos de fuste liso (como se definen en la norma UNE EN 14547):

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

b) para clavos que no sean de fuste liso:

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

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 de este apartado;

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 (véase 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 $14 \cdot d$.

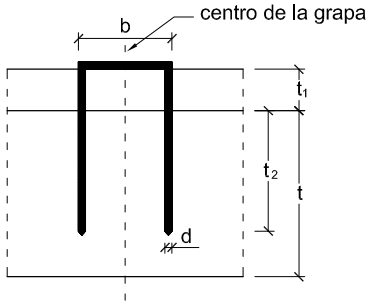


Figura 8.9 Dimensiones de las grapas

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 30º (véase figura 8.10);

b) si el ángulo entre la corona y la dirección de la fibra bajo la corona es igual o menor a 30º, 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 de 800 N/mm^2, se utilizará el siguiente valor característico del momento plástico para una pata de la grapa:

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

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.

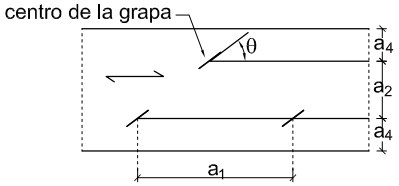


Figura 8.10 Definición de las separaciones en grapas.

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 $\theta \geq 30º$	$0º \leq \alpha \leq 360º$	$(10 + 5 \lvert\cos \alpha\rvert) \cdot d$
para $\theta < 30º$		$(15 + \lvert5 \cos \alpha\rvert) \cdot d$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0º \leq \alpha \leq 360º$	$15 \cdot d$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90º \leq \alpha \leq 90º$	$(15 + \lvert5 \cos \alpha\rvert) \cdot d$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90º \leq \alpha \leq 270º$	$15 \cdot d$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0º \leq \alpha \leq 180º$	$(15 + \lvert5 \text{ sen } \alpha\rvert) \cdot d$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180º \leq \alpha \leq 360º$	$10 \cdot d$

8.3.4 Pernos

8.3.4.1 Carga lateral

8.3.4.1.1 Generalidades

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 (véase figura 8.11):

a) t_1 en cortadura simple es el espesor de una de las piezas y en cortadura doble el espesor de las piezas laterales;

b) t_2 en cortadura simple es el espesor de la otra pieza y en cortadura doble el espesor de la pieza central.

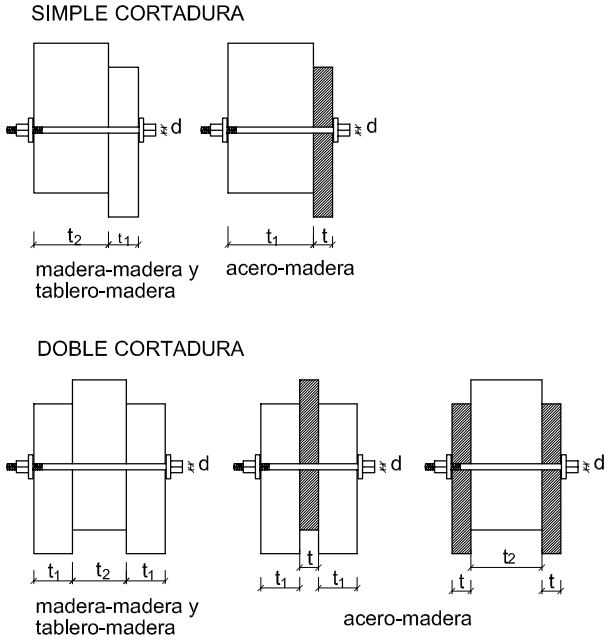


Figura 8.11 Espesores de las piezas en uniones de pernos.

2 Las separaciones y distancias mínimas se dan en la tabla 8.4, con las definiciones incluidas en la figura 8.7.

3 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:

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

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 es el real, es decir
$n_{ef} = n$ (8.48)
Para cargas con direcciones comprendidas entre 0º y 90º, 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)	$0º \le \alpha \le 360º$	$(4 + \lvert\cos \alpha\rvert)$ d
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0º \le \alpha \le 360º$	4 d
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90º \le \alpha \le 90º$	max (7d;80mm)
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90º \le \alpha < 150º$	$(1+ 6 \text{ sen } \alpha)$ d)
	$150º \le \alpha < 210º$	4d
	$210º \le \alpha \le 270º$	$(1+ 6 \text{ sen } \alpha)$ d)
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0º \le \alpha \le 180º$	max($(2+ 2 \text{ sen } \alpha)$ d;3d)
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180º \le \alpha \le 360º$	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/mm^2].
d diámetro del perno, [mm].

5 Disposiciones constructivas.

a) 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·d (el que resulte mayor) que el diámetro del perno.

b) 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·d y un espesor mínimo de 0,3·d (d es el diámetro del perno). La arandela debe tener pleno contacto con la superficie de la pieza.

c) 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.

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:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \text{sen}^2\alpha + \cos^2\alpha} \quad (8.50)$$

siendo:

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

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

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

donde:

ρ_k densidad característica de la madera, [kg/m^3];

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/m^3];

d diámetro del perno, [mm].

2 La resistencia característica al aplastamiento para cualquier ángulo respecto a la dirección de la fibra en tableros de partículas y tableros de virutas orientadas (OSB) será:

$$f_{h,k} = 50 \cdot d^{-0,6} \cdot t^{0,2} \quad (8.55)$$

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) $12 \cdot t$;

b) $4 \cdot d$;

siendo t el espesor de la placa y d el diámetro del perno.

8.3.5 Pasadores

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, con referencia análoga al caso de los pernos en la figura 8.10:

a) t_1 en cortadura simple es el espesor de una de las piezas y en cortadura doble el espesor de las piezas laterales;

b) t_2 en cortadura simple es el espesor de la otra pieza y en cortadura doble el espesor de la pieza central.

2 El diámetro mínimo del pasador debe ser de 6 mm y el máximo de 30 mm.

3 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.

4 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).

5 Las separaciones y distancias mínimas se dan en la tabla 8.5, con las definiciones incluidas en la figura 8.7.

Tabla 8.5 Separaciones y distancias mínimas para pasadores

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

6 Disposiciones constructivas:

El diámetro mínimo de los pasadores será de 6 mm. La tolerancia en el diámetro del pasador será será de – 0/+0,1 mm (es decir, sólo se admiten diámetros superiores en no más de 0,1mm). Los pretaladros de alojamiento en las piezas de madera deben tener un diámetro (ϕ) de valor ($k_{pretaladro}$ d$\le \phi \le$d); siendo (d) el diámetro del pasador y $k_{pretaladro}$ un valor que está entre (3/4) en las especies de poca densidad y (9/10) en las de mayor densidad.

8.3.6 Tirafondos

8.3.6.1 Carga lateral

1 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}.

2 Bajo el supuesto de que existe una garantía de contacto íntimo entre las piezas unidas, se aplican las siguientes consideraciones:

a) 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:

i) el diámetro eficaz, d_{ef}, se tome como el diámetro de la caña;

ii) la penetración en la pieza de punta de la caña no es inferior a 4·d.

b) 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).

3 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).

4 Disposiciones constructivas.

a) En tirafondos colocados en coníferas con un diámetro de la caña menor que 6 mm, no se requiere pretaladro. En todos los tirafondos colocados en frondosas, o coníferas con diámetro de la caña d $\ge$ 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 las uniones con tirafondos cargados axialmente deben comprobarse los siguientes modos de fallo:

a) fallo por arranque de la parte roscada del tirafondo;

b) fallo de arranque de la cabeza del tirafondo utilizado en combinación con placas de acero, la resistencia al arranque de la cabeza del tirafondo debería ser mayor que la resistencia a tracción del tirafondo;

c) fallo por punzonamiento de la cabeza del tirafondo:

d) fallo por tracción del tirafondo;

e) fallo por pandeo del tirafondo cuando está cargado en compresión;

f) fallo según una circunferencia de un grupo de tirafondos utilizados junto con placas metálicas (fallo de cortante o desgarro en bloque);

2 Las separaciones mínimas y distancias mínimas al borde se establecen en la tabla 8.6, (figura 8.12), manteniendo el grueso de la madera t ≥ 12d.

Tabla 8.6 - Separaciones y distancias a la testa y a los bordes mínimas en tirafondos cargados axialmente

Separación mínima entre tirafondos en un plano paralelo a la fibra	Separación mínima entre tirafondos en dirección perpendicular a un plano paralelo a la fibra.	Distancia mínima a la testa desde el centro de gravedad de la parte roscada del tirafondo en la pieza.	Distancia mínima al borde desde el centro de gravedad de la parte roscada del tirafondo en la pieza.
a_1	a_2	$a_{1,CG}$	$a_{2,CG}$
7d	5d	10d	4d

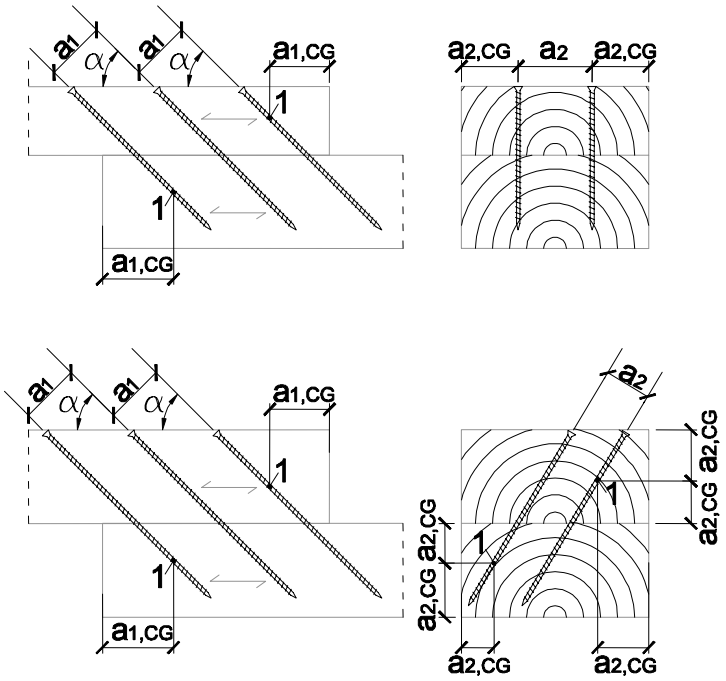


Figura 8.12 Separaciones y distancias a la testa y a los bordes.

3 La penetración mínima de la parte roscada en la pieza debe ser igual a 6d.

4 En uniones con tirafondos deben cumplirse las siguientes condiciones:

$$6 \text{ mm} \le d \le 12 \text{ mm} \quad (8.56)$$

$$0{,}6 \le d_1/d \le 0{,}75 \quad (8.57)$$

siendo:

d diámetro exterior de la parte roscada;

d_1 el diámetro interior de la parte roscada

5 El valor característico de la resistencia al arranque, $F_{ax,\alpha,Rk}$, de la unión con tirafondos cargados axialmente se obtiene de la expresión:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d \cdot l_{ef} k_d}{1{,}2\cos^2\alpha + \text{sen}^2\alpha} \quad (8.58)$$

donde:

$$f_{ax,k} = 0{,}52 d^{-0{,}5} l_{ef}^{-0{,}1} \rho_k^{0{,}8} \quad (8.59)$$

$$k_d = \min\begin{cases} d/8 \\ 1 \end{cases} \quad (8.60)$$

$F_{ax,\alpha,Rk}$ valor característico de la resistencia al arranque de la unión, para el ángulo α;

$f_{ax,\alpha,k}$ valor característico de la resistencia al arranque con un ángulo α con respecto a la dirección de las fibras

l_{ef} longitud de penetración en la pieza de punta de la parte roscada,

ρ_k densidad característica;

α ángulo entre el eje del tirafondo y la dirección de la fibra, con α ≥30º.

n_{ef} número eficaz de tirafondos;

$$n_{ef}=n^{0,9} \quad (8.61)$$

siendo n el número de tirafondos actuando conjuntamente en la unión.

6 Cuando no se satisfagan las condiciones de las ecuaciones (8.56) y (8.57), $F_{ax,\alpha,Rk}$, debe tomarse de la siguiente expresión:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d \cdot l_{ef}}{1{,}2\cos^2\alpha + \text{sen}^2\alpha} \left(\frac{\rho_k}{\rho_a}\right)^{0,8} \quad (8.62)$$

siendo:

$f_{ax,k}$ valor característico de la resistencia al arranque perpendicular a la fibra. Este valor debe ser proporcionado por el fabricante de los tirafondos o determinado de acuerdo con la norma EN 14592 para la densidad asociada ρ_a;

ρ_a densidad asociada a $f_{ax,k}$,

7 El valor característico de la resistencia a punzonamiento de las conexiones con tirafondos cargados axialmente debería tomarse de la expresión siguiente:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} f_{head,k} d_h^2 \cdot \left(\frac{\rho_k}{\rho_a}\right)^{0,8} \quad (8.63)$$

siendo:

$F_{ax,\alpha,Rk}$ valor característico de la resistencia a punzonamiento de la conexión con un ángulo α con respecto a la fibra en N, con α ≥ 30º.

d_h diámetro de la cabeza del tirafondo

8 El valor característico de la resistencia a tracción de la conexión (arranque de la cabeza del tirafondo o capacidad de tracción del fuste), $F_{t,Rk}$, debe tomarse de la expresión siguiente:

$$F_{t,Rk} = n_{ef} f_{tens,k} \quad (8.64)$$

siendo:

$f_{tens,k}$ valor característico de la resistencia a tracción del tirafondo Este valor debe ser proporcionado por el fabricante de los tirafondos o determinado de acuerdo con la norma EN 14592;

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:

$$F_{v,0,Rk} = \min\begin{cases} k_1 k_2 k_3 k_4 (35 \cdot d_c^{1,5}) \\ k_1 k_3 h_e (31{,}5 \cdot d_c) \end{cases} \qquad (8.65)$$

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 (8.65) representa el fallo por cortadura y el segundo el fallo por aplastamiento.

2 El diámetro del perno auxiliar se elegirá de acuerdo con la tabla 8.7.

Tabla 8.7 Requisitos geométricos de los pernos auxiliares de conectores

Tipo de conector (ver UNE EN 912)	d_c (mm)	d mínimo (mm)	d máximo (mm)
A – A5	≤ 130	12	24
A1, A4, A5	> 130	$0{,}1 \cdot d_c$	24
B		d - 1	d

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

El proyectista indicará el tipo de conector usado en la unión. La definición exacta del conector no será necesaria si la geometría definida es compatible con los productos comerciales disponibles para ese tipo de conector. No obstante, y dado el limitado repertorio comercial de estos sistemas, se recomienda incluir en el proyecto la definición geométrica completa del conector o la marca de referencia que sirva para establecer un producto igual o similar.

3 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 8.13).

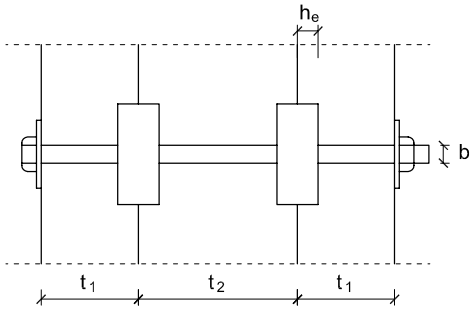


Figura 8.13 Espesores mínimos de las piezas.

4 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:

$$k_1 = \min \begin{vmatrix} 1 \\ t_1 / 3h_e \\ t_2 / 5h_e \end{vmatrix} \quad (8.66)$$

5 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, $-30º \leq \alpha \leq 30º$; con alfa según lo definido en 8.3.2.1.2), y se obtiene de la siguiente expresión:

$$k_2 = \min \begin{vmatrix} k_a \\ \dfrac{a_{3,t}}{2d_c} \end{vmatrix} \quad (8.67)$$

$k_a = 1,25$ en uniones con un conector por plano de cortadura
$k_a = 1,00$ en uniones con más de un conector por plano de cortadura (8.68)
$a_{3,t}$ se define en la tabla 8.8.

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

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

$$k_3 = \min \begin{vmatrix} 1{,}75 \\ \dfrac{\rho_k}{350} \end{vmatrix} \quad (8.69)$$

siendo:
ρ_k valor característico de la densidad de la madera, [kg/m^3].

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

$k_4 = 1,0$ para uniones madera-madera; (8.70)
$k_4 = 1,1$ para uniones acero-madera. (8.71)

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

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

$$F_{\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \cdot \text{sen}^2\alpha + \cos^2\alpha} \quad (8.72)$$

con:
$k_{90} = 1,3 + 0,001 \cdot d_c$ (8.73)

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].

10 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)	$0º \le \alpha \le 360º$	$(1,2 + 0,8 \lvert\cos \alpha\rvert) \cdot d_c$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0º \le \alpha \le 360º$	$1,2 \cdot d_c$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90º \le \alpha \le 90º$	$1,5 \cdot d_c$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90º \le \alpha < 150º$	$(0,4 + 1,6 \lvert\text{sen } \alpha\rvert) \cdot d_c$
	$150º \le \alpha < 210º$	$1,2 \cdot dc$
	$210º \le \alpha \le 270º$	$(0,4 + 1,6 \lvert\text{sen } \alpha\rvert) \cdot d_c$
$a_{4,t}$ (borde cargado	$0º \le \alpha \le 180º$	$(0,6 + 0,2 \lvert\text{sen } \alpha\rvert) \cdot d_c$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180º \le \alpha \le 360º$	$0,6 \cdot dc$

11 Cuando los conectores se disponen al tresbolillo (véase figura 8.14), las distancias mínimas de separación paralela y perpendicular a la fibra, a_1 y a_2 respectivamente, se pueden reducir por unos coeficientes (k_{ai}) siempre que se cumpla la condición:

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \ge 1 \qquad (8.74)$$

con
$0 \le k_{a1} \le 1$
$0 \le k_{a2} \le 1$

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.

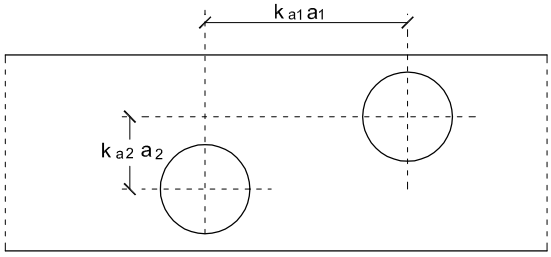


Figura 8.14 Distancias reducidas en conectores.

12 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 %.

13 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:

$$n_{ef} = 2 + (1 - n/20) \cdot (n - 2) \qquad (8.75)$$

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

1 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.

2 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:

$$F_{v,Rk} = 18 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1,5} \quad \text{para los tipos C1 a C9} \tag{8.76}$$

$$F_{v,Rk} = 25 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot d_c^{1,5} \quad \text{para los tipos C10 a C11} \tag{8.77}$$

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].

3 Respecto a los espesores mínimos de las piezas se aplica el apartado 8.4.1.

4 El factor k_1 depende del espesor de la madera y su valor es el siguiente:

$$k_1 = \min \begin{vmatrix} 1 \\ \frac{t_1}{3 \cdot h_e} \\ \frac{t_2}{5 \cdot h_e} \end{vmatrix} \tag{8.78}$$

siendo:

t_1 espesor de la pieza lateral;
t_2 espesor de la pieza central;
h_e profundidad de penetración del dentado.

5 El factor k_2 depende de la distancia a la testa, $a_{3,t}$, y su valor es el siguiente:

a) para los tipos C1 a C9:

$$k_2 = \min \begin{vmatrix} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{1{,}1 \cdot d_c} \end{vmatrix} \tag{8.79}$$

con

$$a_{3,t} = \max \begin{vmatrix} 1{,}1 \cdot d_c \\ 7 \cdot d \\ 80\text{mm} \end{vmatrix} \tag{8.80}$$

siendo:

d_c diámetro del perno, [mm].

b) para los tipos C10 y C11:

$$k_2 = \min \begin{vmatrix} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{2{,}0 \cdot d_c} \end{vmatrix} \tag{8.81}$$

siendo

$$a_{3,t} = \max \begin{vmatrix} 1{,}5 \cdot d_c \\ 7 \cdot d \\ 80\text{mm} \end{vmatrix} \tag{8.82}$$

donde:
d_c diámetro del perno, [mm].

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

$$k_3 = \min \begin{cases} 1{,}5 \\ \dfrac{\rho_k}{350} \end{cases} \tag{8.83}$$

siendo:

ρ_k valor característico de la densidad de la madera, [kg/m^3].

7 Las distancias y separaciones mínimas para los conectores dentados de tipo C1 a C9 se recogen en la tabla 8.9 con las definiciones incluidas 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)	$0º \le \alpha \le 360º$	$(1{,}2 + 0{,}3 \lvert\cos \alpha\rvert) \cdot d_c$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0º \le \alpha \le 360º$	$1{,}2 \cdot d_c$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90º \le \alpha \le 90º$	$2{,}0 \cdot d_c$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90º \le \alpha < 150º$	$(0{,}9 + 0{,}6 \lvert\text{sen } \alpha\rvert) \cdot d_c$
	$150º \le \alpha < 210º$	$1{,}2 \cdot d_c$
	$210º \le \alpha \le 270º$	$(0{,}9 + 0{,}6 \lvert\text{sen } \alpha\rvert) \cdot d_c$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0º \le \alpha \le 180º$	$(0{,}6 + 0{,}2 \lvert\text{sen } \alpha\rvert) \cdot d_c$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180º \le \alpha \le 360º$	$0{,}6 \cdot d_c$

8 Las distancias y separaciones mínimas para los conectores dentados de tipo C10 y C11 se recogen en la tabla 8.10, con las definiciones incluidas 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)	$0º \le \alpha \le 360º$	$(1{,}2 + 0{,}8 \lvert\cos \alpha\rvert) \cdot d_c$
a_2 (perpendicular a la fibra)	$0º \le \alpha \le 360º$	$1{,}2 \cdot d_c$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90º \le \alpha \le 90º$	$2{,}0 \cdot d_c$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90º \le \alpha < 150º$	$(0{,}4 + 1{,}6 \lvert\text{sen } \alpha\rvert) \cdot d_c$
	$150º \le \alpha < 210º$	$1{,}2 \cdot d_c$
	$210º \le \alpha \le 270º$	$(0{,}4 + 1{,}6 \lvert\text{sen } \alpha\rvert) \cdot d_c$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0º \le \alpha \le 180º$	$(0{,}6 + 0{,}2 \lvert\text{sen } \alpha\rvert) \cdot d_c$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180º \le \alpha \le 360º$	$0{,}6 \cdot d_c$

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, a_1 y a_2 respectivamente (ver figura 8.14), se pueden reducir por unos coeficientes (k_{ai}) siempre que se cumpla la condición:

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \ge 1 \tag{8.84}$$

con
$0 \le k_{a1} \le 1$
$0 \le k_{a2} \le 1$

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

1 El modelo de análisis se puede realizar aplicando las indicaciones relevantes del capítulo 6, con alguna precisión que se incluye en los apartados siguientes, que limitan las tensiones de contacto.

2 En el apartado 8.5.3 se recoge el planteamiento para la comprobación de los embarbillados, habituales en la construcción con madera. No obstante, las líneas generales del proceso son aplicables a otros tipos de uniones tradicionales.

3 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. Por otra parte, aunque la unión trabaje por compresión y/o cortante sin necesidad de clavijas se recomienda añadir al menos un perno por unión (u otro tipo de elemento auxiliar con la misma función) para evitar que los movimientos higrotérmicos puedan desencajar las piezas.

8.5.2 Tensiones de compresión localizadas

1 En el caso de uniones de empalme a tope y en prolongación entre 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.

2 En el caso de encuentro oblicuo entre las piezas la tensión 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.

3 En el caso de uniones entre madera y un material rígido o si se insertan cuñas o calzos rígidos (de acero, por ejemplo), se usará la ecuación 6.20 sin reducción alguna en el valor de $f_{c,0,d}$.

4 La deformación admitida en una unión de empalme a tope u oblicua, para cargas de servicio, será de 1 a 1,5 mm.

8.5.3 Embarbillados

1 Los ensambles de barbilla indicados en la figura 8.15, deben cumplir las siguientes condiciones:

a) Longitud del cogote: $a \geq \frac{F_d \cdot \cos\beta}{b \cdot f_{v,d}}$ (8.85)

b) Profundidad de la barbilla: $t \geq \frac{F_d \cdot \cos\beta}{b \cdot f_{c,\alpha,d}}$ (8.86)

tomando para el cálculo de $f_{c,\alpha,d}$ el siguiente valor de α:

$\alpha = \frac{\beta}{2}$ en el caso de embarbillado simple

$\alpha = \frac{3}{4} \cdot \beta$;$t = t_1 + t_2$ en el caso de embarbillado doble

c) Altura de la sección del par: $d \geq \frac{F_d}{b \cdot f_{c,\alpha,d}}$ (8.87)

tomando para el cálculo de $f_{c,\alpha,d}$ el siguiente valor de α:

($\alpha = \beta$) (tanto en embarbillado simple como en el doble)

y siendo, en las ecuaciones (8.85) a (8.87):

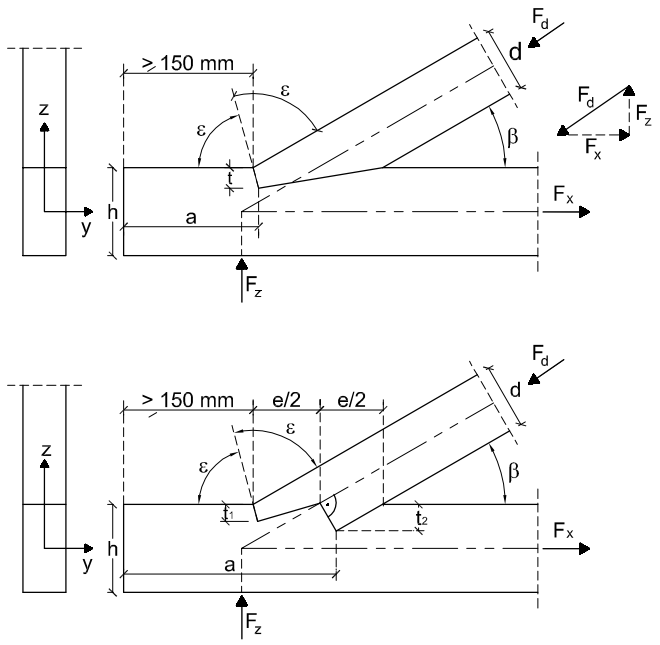
b anchura de la pieza;

β ángulo entre par y tirante o piezas equivalentes (figura 8.15);

$f_{v,d}$ 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 este apartado y en el 8.5.2.

F_d valor de cálculo de la compresión en el par o pieza equivalente.



$t=t_1+t_2$ con $t_1 < t_2 - 10$ mm

Figura 8.15 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 $\beta \leq 50$ º	$t_1 \leq h/6$
$t \leq h/6$ para $\beta \geq 60$ º	$t_2 \leq h/4$
Para valores intermedios se interpolará linealmente	Además: $t_1 < t_2 - 10$ mm

3 En la figura 8.15 se indica un valor ε para definir el ángulo de corte en la barbilla. El valor de ε queda definido a partir del ángulo β de modo que ($\varepsilon = (180-\beta)/2$, en grados). De este modo se optimiza el valor de $f_{c,\alpha,d}$ en la barbilla. Se podrá elegir otro trazado, pero en ese caso el valor de $f_{c,\alpha,d}$ será distinto al definido anteriormente. En caso de embarbillado simple se puede obtener el valor de $f_{c,\alpha,d}$ según la ecuación (6.20), utilizando un valor de $f_{c,0,d}$ reducido por 0,8, y tomando el ángulo α más desfavorable.

9 Fatiga

9.1 Generalidades

1 No será necesario realizar la comprobación a fatiga salvo en aquellas estructuras sometidas a solicitaciones de tipo cíclico durante toda o gran parte de la vida de la estructura, y cuando estas acciones tengan gran importancia, cosa nada frecuente en el campo de la edificación.

2 En las pasarelas peatonales y de ciclistas no es necesaria la comprobación de la fatiga bajo el efecto del tráfico.

10 Sistemas estructurales de madera y productos derivados

10.1 Vigas mixtas

10.1.1 Vigas mixtas de madera y tablero encoladas

10.1.1.1 Principios generales

1 Para el cálculo de las tensiones se admiten leyes lineales de variación de deformaciones longitudinales unitarias ε; lo cual supone que se consideran las secciones como mixtas sin que existan deslizamientos entre almas y alas en los planos de encolado.

2 A efectos de cálculos de las tensiones normales y tangenciales se admite, para piezas de relación luz/canto menor o igual que 25 y de una longitud menor de 12m, las fórmulas clásicas de resistencia de materiales considerando la sección compuesta (sin considerar por tanto deslizamientos entre almas y alas en los planos de encolado),teniendo en cuenta la diferencia entre. los módulos de elasticidad longitudinales de la madera y el tablero.

3 No todas las colas son igual de rígidas, y que cada vez se usan más las colas con cierta capacidad de plastificación; apareciendo con ello la posibilidad de un deslizamiento local en el plano de la cola.

10.1.1.2 Vigas con almas de tablero encolado

1 Este tipo de viga está formada por almas de tablero estructural y alas encoladas, de madera aserrada, laminada encolada o microlaminada. En este apartado se consideran las vigas de sección en I (doble T) y la viga-cajón. (Véase figura 10.1).

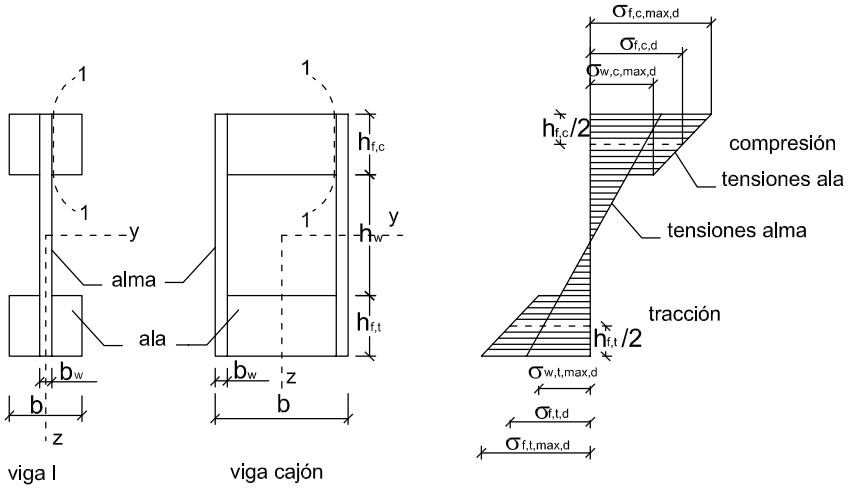


Figura 10.1 Vigas en I ó doble T y cajón de alma delgada formada por tableros

2 Tensiones normales en las alas

Las tensiones normales en las alas, considerando una ley de deformación unitaria longitudinal plana de la sección de la viga (véase 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, para el caso en que la pieza no está atada. Puede obtenerse para vigas cajón, como se indica en el apartado 6.3.2.2., ecuación (6.32), para $k_{c,z}$, partiendo en este caso de:

$$\lambda_{rel\ z} = \sqrt{12}.\frac{L_c}{b} \tag{10.7}$$

donde:
L_c distancia entre las secciones que tienen impedida la deformación lateral en el ala comprimida;
b ancho definido en la figura 10.1;
$f_{m,d}$ resistencia de cálculo a flexión del material de para las alas;
$f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela del material de las alas;
$f_{t,0,d}$ resistencia de cálculo a tracción paralela del material de las alas;

La comprobación estricta de $\sigma_{f,c,d}$, pertece al ámbito de la estabilidad lateral en flexión, no en flexo-compresión; y ya que en el diagrama de tensiones normales mostrado en la figura 10.1 no se está considerando ningún axil.

3 Tensiones normales en el alma:

a) las tensiones normales en el alma deben cumplir las siguientes condiciones:

$$\sigma_{w,c,max,d} \le f_{c,w,d} \tag{10.8}$$

$$\sigma_{w,t,max,d} \le f_{t,w,d} \tag{10.9}$$

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 en flexión;
$f_{t,w,d}$ resistencia de cálculo a tracción en el alma en 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.

4 Abolladura del alma.

Debe verificarse que:

$$h_w \le 70 \cdot b_w \tag{10.10}$$

y

$$F_{v,w,Sd} \le \begin{cases} b_w \cdot h_w \cdot \left(1 + \dfrac{0{,}5 \cdot (h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w}\right) \cdot f_{v,0,d} & \text{para } h_w \le 35 \cdot b_w \quad (10.11) \\ 35 \cdot b_w^2 \cdot \left(1 + \dfrac{0{,}5 \cdot (h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w}\right) \cdot f_{v,0,d} & \text{para } 35 \cdot b_w \le h_w \le 70 \cdot b_w \quad (10.12) \end{cases}$$

siendo:
h_w, b_w, $h_{f,c}$ y $h_{f,t}$ cantos y anchos definidos en la 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.

5 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:

$$\tau_{medio,d} \le \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{para } h_f \le 4 \cdot b_{ef} \quad (10.13) \\ f_{v,90,d} \cdot \left(\dfrac{4 \cdot b_{ef}}{h_f}\right)^{0,8} & \text{para } h_f > 4 \cdot b_{ef} \quad (10.14) \end{cases}$$

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;

$b_{ef} = b_w$ 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)

6 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:

$$\tau_{medio,d} = \frac{F_{v,w,Sd} \cdot S_y}{2 \cdot h_{f,c} \cdot I_y} \quad \text{si} \quad h_{f,c} < h_{f,t} \tag{10.15}$$

$$\tau_{medio,d} = \frac{F_{v,w,Sd} \cdot S_y}{2 \cdot h_{f,t} \cdot I_y} \quad \text{si} \quad h_{f,c} \geq h_{f,t} \tag{10.16}$$

siendo:

$F_{v,w,S,d}$ esfuerzo cortante de cálculo;

S_y momento estático del ala de la sección homogeneizada, respecto al eje y;

I_y 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).

10.1.1.3 Vigas cajón con alas encoladas a tablero

1 Este tipo de vigas están formadas por almas de madera aserrada, madera laminada encolada o microlaminada y alas de tableros.

2 Para el cálculo se descomponen en secciones eficaces en I (doble T) y en U (véase figura 10.2).

3 Debe tenerse en consideración la distribución no uniforme de tensiones normales en las alas debidas al retraso por cortante y a la abolladura. A tal fin se considerará, según se expone más adelante, un ancho eficaz o equivalente del tablero (b_{ef}).

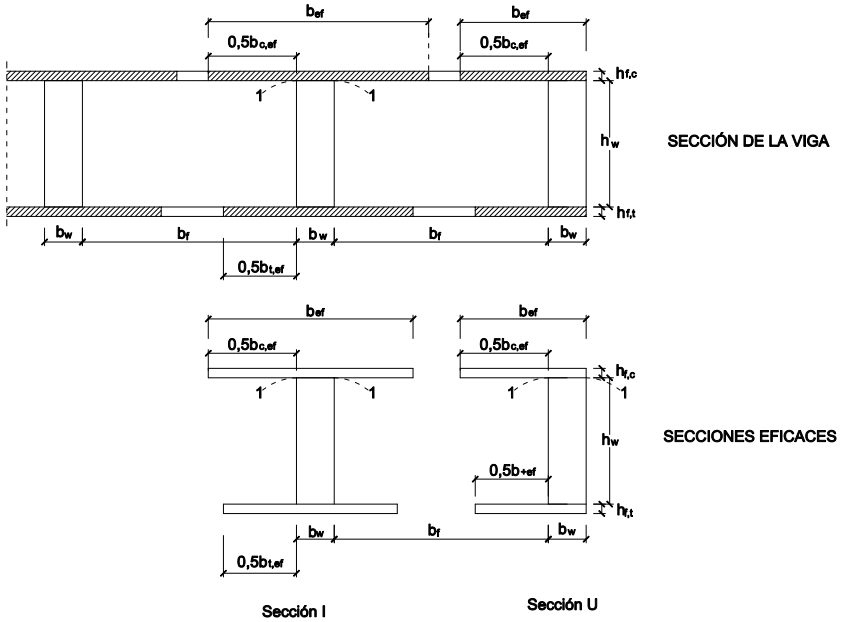


Figura 10.2 Viga cajón de alas delgadas

a) Anchura eficaz de las alas b_{ef}:

i) como modelo de análisis propuesto, 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):

$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w$ ala comprimida (10.17)

$b_{ef} = b_{t,ef} + b_w$ ala traccionada (10.18)

– en secciones en U (extremos):

$b_{ef} = 0{,}5 \cdot b_{c,ef} + b_w$ ala comprimida (10.19)

$b_{ef} = 0{,}5 \cdot b_{t,ef} + b_w$ ala traccionada (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·l	$20 \cdot h_f$
perpendicular a las almas	0,1·l	$25 \cdot h_f$
Tablero de virutas orientadas (OSB)	0,15·l	$25 \cdot h_f$
Tablero de partículas y tablero de fibras con orientación aleatoria de las partículas	0,2·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

iii) como modelo de análisis del pandeo de las alas debe cumplir la siguiente condición:

$b_f \leq 2\, b_e$ (10.21)

siendo:

b_e valor del ancho eficaz del ala debido al efecto del pandeo local (abolladura), tabla 10.1.

b_f la distancia libre entre almas (véase figura 10.2)

b) Tensiones normales en las alas (en la anchura eficaz b_{ef} , apartado a).

Las tensiones normales en la anchura eficaz de las alas, b_{ef}, considerando un reparto uniforme de tensiones en el ancho eficaz y el resto de hipótesis ya expuestas, deben cumplir las siguientes condiciones:

$\sigma_{f,c,d} \leq f_{f,c,d}$ ala comprimida (10.22)

$\sigma_{f,t,d} \leq f_{f,t,d}$ ala traccionada (10.23)

siendo:

$\sigma_{f,c,d}$ valor medio de la tensión de cálculo de compresión en la anchura eficaz del ala comprimida;

$\sigma_{f,t,d}$ valor medio de la tensión de cálculo de tracción en la anchura eficaz del ala traccionada;

$f_{f,c,d}$ resistencias de cálculo a compresión del tablero utilizado para las alas;

$f_{f,t,d}$ resistencias de cálculo a tracción del tablero utilizado para las alas.

c) Tensiones normales en las almas.

Las tensiones normales en las almas deben satisfacer las ecuaciones (10.8) y (10.9).

d) Superficies críticas a tensiones de rodadura:

i) en las superficies 1-1 de contacto madera-tablero, figura 10.2, debe verificarse que:

– en secciones en doble T:

$$\tau_{medio,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{para } b_w \leq 8 \cdot h_f \quad (10.24) \\ f_{v,90,d} \cdot \left(\dfrac{8 \cdot h_f}{b_w} \right)^{0,8} & \text{para } b_w > 8 \cdot h_f \quad (10.25) \end{cases}$$

siendo:

$\tau_{medio,d}$ tensión tangencial de cálculo en la superficie de contacto tablero-madera calculada admitiendo una distribución uniforme de las tensiones tangenciales;

$f_{v,90,d}$ ($=f_{v,r,p,d}$) resistencia de cálculo a cortante de rodadura;

h_f es, según corresponda, $h_{f,c}$ o $h_{f,t}$.

– en secciones en U:

$$\tau_{medio,d} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{para } b_w \leq 4 \cdot h_f \quad (10.26) \\ f_{v,90,d} \cdot \left(\frac{4 \cdot h_f}{b_w} \right)^{0,8} & \text{para } b_w > 4 \cdot h_f \quad (10.27) \end{cases}$$

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 pueden considerar que entre fuerza y deslizamiento existe una relación lineal, que en algunos casos se incluye en este DB a través del coeficiente K_{ser} (tabla 7.1).

3 Hay que resaltar que la tabla 7.1 no incluye clavijas inclinadas (con distintas técnicas de unión), de mucha mayor rigidez que las colocadas ortogonalmente a las piezas que unen. En ese caso, y siempre que el sistema permita la formación de un mecanismo de biela tirante con la biela inclinada formando ángulos entre 40º y 60º con el plano de contacto, y para piezas cuya luz sea menor de 12m, se podrá prescindir del deslizamiento de la unión y realizar el análisis con la sección total a través de la teoría clásica de resistencia de materiales.

4 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:

$$s_{ef} = 0,75 \cdot s_{min} + 0,25\, s_{max} \quad (10.28)$$

10.2 Soportes compuestos

1 Para el cálculo de los soportes compuestos incluidos en este apartado, además de otras hipótesis que luego se expondran, se está considerando un modelo de flexión en viga Vierendeel (entramado sin triangulaciones y con empalmes de nudo rigido) en el que los momentos flectores locales de los cordones son nulos en los puntos equidistantes de las presillas. Para que el efecto Vierendeel se produzca, se cumplirá que (véase figura 10.3), además de las comprobaciones de resistencia que se expondrán, la relación ($L_1/L_2 \leq 6$). Este requisito va dirigido a garantizar una relación de inercias razonable, que en todo caso se podrá obtener de otro modo, pero que en ese caso deberá modelizarse de forma particular.

2 Se prescinde de cualquier deslizamiento local en las uniones de las presillas y los cordones.

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.

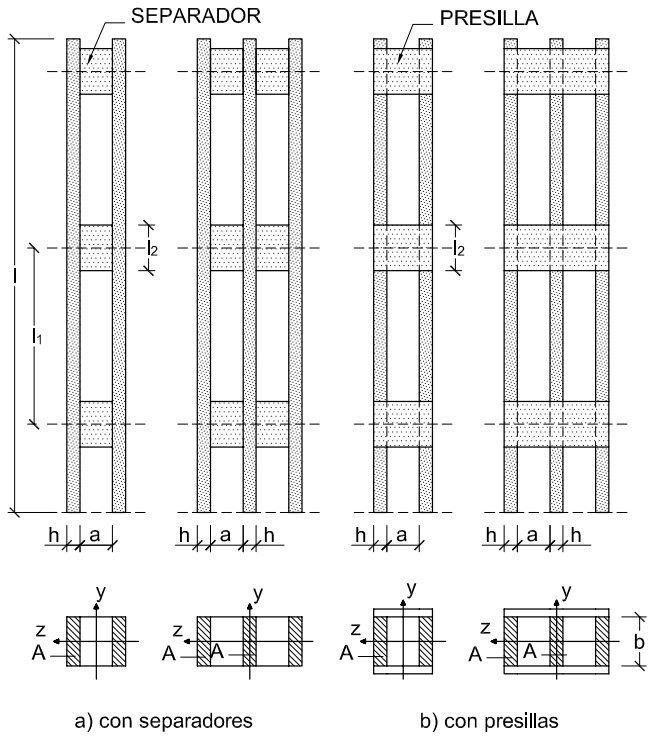


Figura 10.3 Soportes compuestos: a) con separadores. b) con presillas

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.

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 (6.30).

b) Pandeo con desplazamiento en la dirección z (flectando respecto al eje y-y).

Debe cumplirse que:

$$\sigma_{c,o,d} \leq k_c \, f_{c,o,d} \tag{10.29}$$

siendo:

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{F_{c,Sd}}{A_{tot}} \tag{10.30}$$

$F_{c,Sd}$ valor de cálculo de la carga axial concéntrica aplicada;
A_{tot} área total de la sección transversal (véase figura 10.3);
$f_{c,0,d}$ resistencia de cálculo a compresión paralela a la fibra de la madera del cordón;
k_c coeficiente de pandeo determinado según la ecuación (6.32) correspondiente a la esbeltez eficaz, λ_{ef} , que se establece a continuación:

$$\lambda_{ef} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \frac{n}{2} \lambda_1^2} \tag{10.31}$$

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:

$$\lambda = l \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{tot}}} \tag{10.32}$$

λ_1 esbeltez mecánica de los cordones. Se tomará para λ_1 el mayor de los dos valores siguientes:

$$\lambda_1 = \sqrt{12} \, \frac{l_1}{h} \tag{10.33}$$

$$\lambda_1 = 30 \tag{10.34}$$

l_1 y h según figura 10.2;
n número de cordones;
η factor obtenido de la Tabla 10.2.

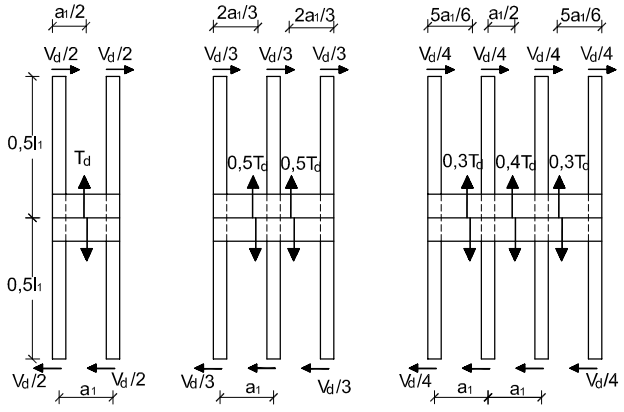
Tabla 10.2 Factor η

Duración de la carga [1]	Unión de los separadores			Unión de las presillas	
	Encolados	Con clavos	Con pernos y conectores	Encoladas	Clavadas
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 2.2.2.1

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 cortante total en los cordones, V_d, obtenido mediante las expresiones siguientes:



$T_d = V_d \cdot l_1 / a_1$

Figura 10.4 Distribución de esfuerzos en cordones, separadores y presillas.

$$V_d = \frac{F_{c,d}}{120 k_c} \quad \text{para } \lambda_{ef} < 30 \qquad (10.35)$$

$$V_d = \frac{F_{c,d}\lambda_{ef}}{3600 k_c} \quad \text{para } 30 \le \lambda_{ef} < 60 \qquad (10.36)$$

$$V_d = \frac{F_{c,d}}{60 k_c} \quad \text{para } 60 \le \lambda_{ef} \qquad (10.37)$$

siendo:

$F_{c,d}$ valor de cálculo del esfuerzo axial aplicado;
λ_{ef} esbeltez eficaz obtenida de la ecuación (10.31);
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 cortante total, cada cordón deberá resistir un esfuerzo cortante perpendicular a la fibra, de valor:

V_d / n (10.38)

siendo:

V_d esfuerzo cortante 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;

$T_{2,s,d} = V_d\, l_1/a_1$ para cada separador (10.39)
$T_{2,p,d} = 0{,}5.V_d\, l_1/a_1$ para cada presilla (10.40)

- soporte de tres cordones;

$T_{3,s,d} = 0{,}5.V_d\, l_1/a_1$ para cada separador (10.41)
$T_{3,p,d} = 0{,}25.V_d\, l_1/a_1$ para cada presilla (10.42)

- soporte de cuatro cordones.

$T_{4,s,e,d} = 0{,}3.V_d\, l_1/a_1$ para cada separador extremo (10.43)
$T_{4,s,c,d} = 0{,}4.V_d\, l_1/a_1$ para cada separador central (10.44)
$T_{4,p,e,d} = 0{,}15.V_d\, l_1/a_1$ para cada presilla extrema (10.45)
$T_{4,p,c,d} = 0{,}2.V_d\, l_1/a$ para cada presilla central (10.46)

ii) momento (solamente para presillas):

- soporte de dos cordones;

$M_{2,p,d} = T_d\, .a_1/4$ para cada presilla (10.47)

- soporte de tres cordones;

$M_{3,p,d} = T_d\, .a_1/3$ para cada presilla (10.48)

- soporte de cuatro cordones.

$M_{4,p,d} = T_d\, .a_1/2{,}4$ para cada presilla (10.49)

siendo:

V_d esfuerzo cortante total del soporte definido en el punto a);
$T_d =$ $V_d\, .\, l_1/a_1$;
l_1 separación entre uniones con separadores o presillas (véase figura 10.3);
$a_1 =$ a+h;
a y h separación entre cordones y grueso del cordón, respectivamente, (véase 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 (6.19) y (6.20), se limita a 0,9 en vez de 1.

2 Para las barras comprimidas, la longitud eficaz de pandeo es igual a la distancia máxima entre dos puntos de inflexión consecutivos de la deformada.

Para celosías trianguladas en su totalidad, se tomará una longitud de pandeo en el plano de la celosía y en cada barra igual a la distancia entre dos los nudos que la definen. Así mismo, se comprobará la estabilidad de la celosía fuera de su plano.

3 En las celosías en las que se realice un análisis simplificado, en las ecuaciones (6.1) y (6.4), la resistencia a tracción y compresión de la madera en la dirección de la fibra se reducirán en un 30% tomándose un valor de comparación con las tensiones de cálculo de 0,7 $f_{t,0,d}$ y de 0,7 $f_{c,0,d}$.

4 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:

$$F_{r,d} = 1{,}0 + 0{,}1 \cdot L \quad (\text{kN}) \tag{10.50}$$

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 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 a 40 mm y a 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 estructurales 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 8 relativo al cálculo de uniones.

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 varia entre 2b y 6b, siendo b el canto del diafragma;

b) el fallo del 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 el apartado 10.4.1.2.

Los cordones de borde (véase figura 10.6) deben proyectarse para resistir el esfuerzo axil de tracción o compresión, N, derivado del momento flector:

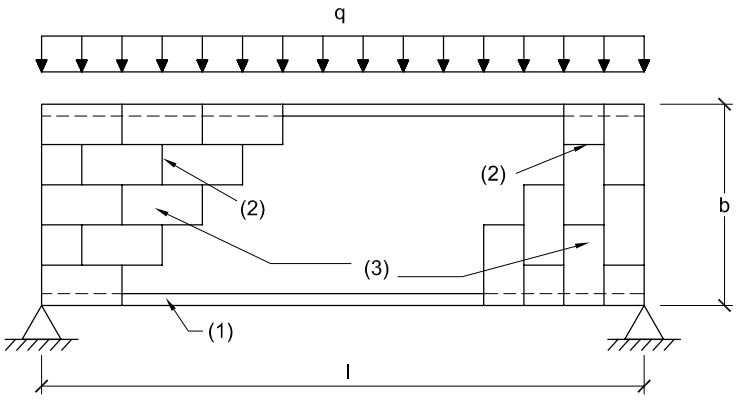
$$N=M/b \quad (10.52)$$

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 canto (b).

4 Si los paneles se disponen al tresbolillo (véase figura 10.5) 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. Así mismo, se recomienda el uso de de la disposición al tresbolillo.



(1) Cordones de borde.
(2) disposición de empalmes de tableros al tresbolillo.
(3) Disposición de los tableros.

Figura 10.5 Diafragma de forjado de cubierta con carga uniforme y tableros al tresbolillo (no se dibujan los montantes que van sirviendo de apoyo a los tableros)

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 10.6). 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.

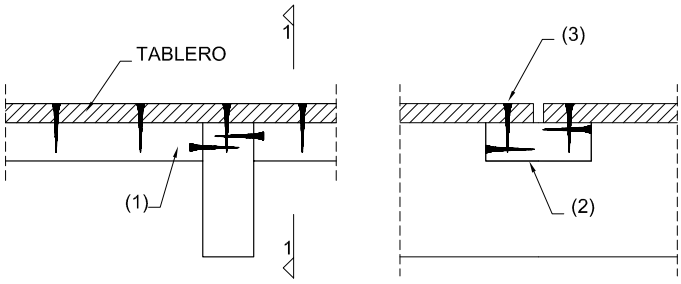


figura 10.6 Ejemplos de uniones entre tableros y montantes.

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 otras combinaciones de acciones.

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 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 el procedimiento simplificado descrito en el apartado 10.4.2.2)

10.4.2.2 Análisis simplificado

1 Se denomina panel a un elemento que se cierra con un tablero y módulo a un sólo panel o varios que trabajan en conjunto.

2 La resistencia al descuadre, $F_{v,Rd}$, de un muro diafragma, 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 (véase figura 10.7).

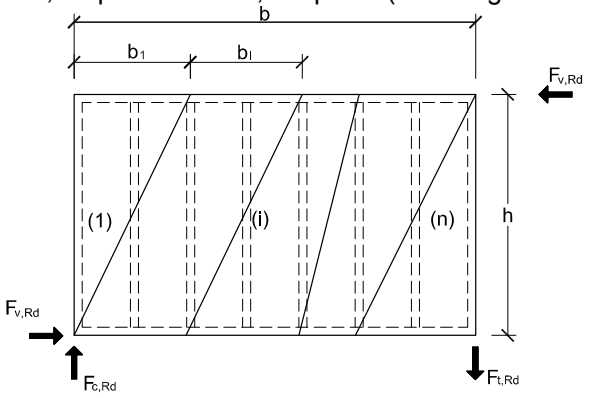


Figura 10.7 Muro diafragma

3 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:

$$F_{v,Rd} = \Sigma F_{i,v,Rd} \qquad (10.54)$$

siendo:
$F_{i,v,Rd}$ la resistencia al descuadre de cada panel (véase figura 10.8) definida por la expresión:

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} \cdot b_i \cdot c_i}{s} \qquad (10.55)$$

donde:

$F_{f,Rd}$	valor de cálculo de la capacidad de carga lateral por elemento de fijación.
s	separación entre elementos de fijación.
b_i	anchura del módulo (b_1, b_i, b_j, b_n, (véase 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 $b_i < h/2$.

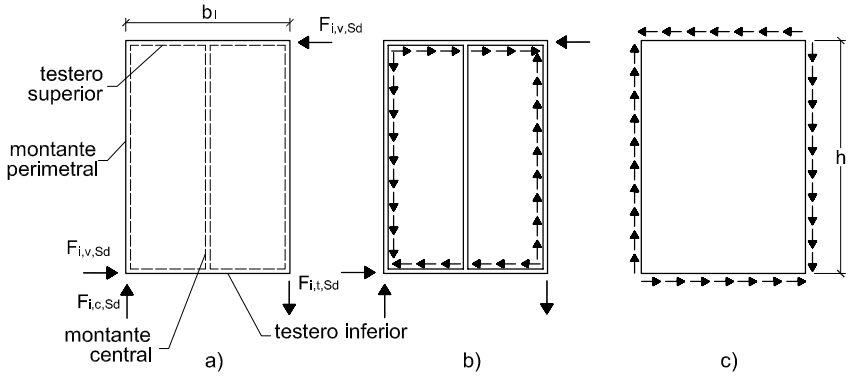


Figura 10.8 Solicitaciones sobre un panel

4 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.

5 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:

a) 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;

b) 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.

6 Las fuerzas externas $F_{i,c,Sd}$ y $F_{i,t,Sd}$ (véase figura 10.8) pueden determinarse mediante la expresión siguiente:

$$F_{i,c,Sd} = F_{i,t,Sd} = \frac{F_{i,v,Sd} \cdot h}{b_i} \qquad (10.56)$$

siendo:
$F_{i,v,Sd}$ la 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.

7 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 (véase figura 10.9) originando, igualmente, fuerzas que pueden ser de tracción o compresión en la construcción situada en el nivel superior e inferior.

8 Puede despreciarse el pandeo del tablero si se cumple que:

$$\frac{b_{net}}{t} \leq 65 \qquad (10.57)$$

siendo:
b_{net} espacio libre entre montantes (véase figura 10.9);
t espesor del tablero.

9 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.

10 Cuando cada módulo es un elemento de pared prefabricado, debe comprobarse que se realiza adecuadamente la transferencia de las fuerzas de corte entre módulos.

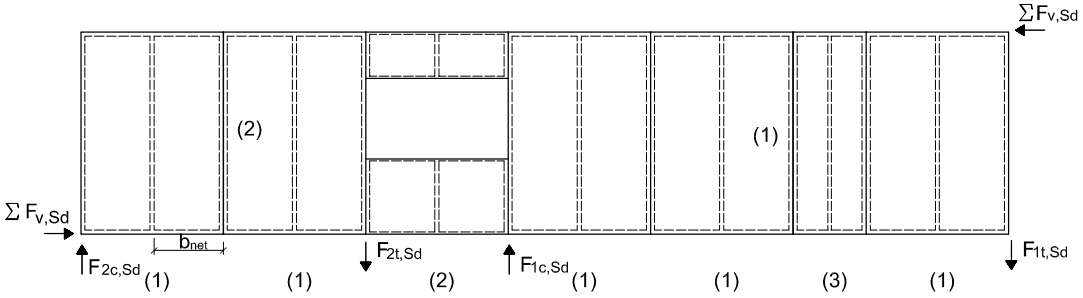
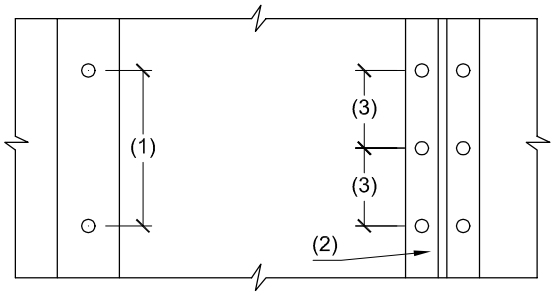


Figura 10.9 Ejemplo de un conjunto de muros diafragma con paneles que contienen huecos de puertas o ventanas y panel de anchura menor.

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 10.10 Fijación de tableros en panel de muro-diafragma.

10.5 Arriostramientos

10.5.1 Piezas simples con restricciones intermedias

1 En piezas simples comprimidas, que requieran restricciones laterales intermedias a intervalos *a* (véase figura 10.11), las desviaciones iniciales de la forma recta entre los puntos de restricción deben tomarse, para su cálculo, como a/500 en elementos de madera laminada encolada y de madera microlaminada y a/300 en otras piezas.

2 En casos de peritación se podrán admitir desviaciones inciales mayores.

3 Cada restricción intermedia debe aportar un coeficiente de rigidez mínimo C definido por la expresión siguiente:

$$C = k_s \frac{N_d}{a} \qquad (10.58)$$

siendo:

N_d valor medio de cálculo de la solicitación axil de compresión en la combinación más desfavorable;

a separación entre secciones arriostradas;

k_s factor de modificación deducido de la expresión:

$$k_s = 2(1+\cos \pi/m) \qquad (10.59)$$

donde:

m número de vanos de longitud a.

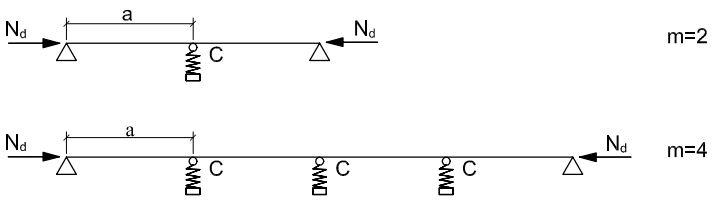


Figura 10.11 Piezas simples con restricciones laterales intermedias.

4 Como 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:

$F_d = N_d / 80$ para madera maciza; (10.60)

$F_d = N_d / 100$ para madera laminada encolada y microlaminada. (10.61)

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 expresiones (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), 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 (véase figura 10.12) pueden existir otras solicitaciones ocasionadas por cargas que soportan directamente.

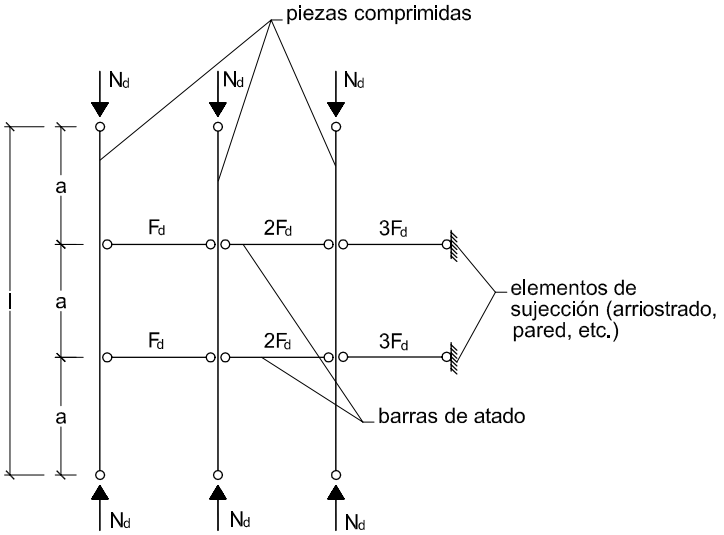


Figura 10.12 Posible acumulación de cargas axiales en barras de atado

El coeficiente de rigidez de un determinado apoyo es igual al valor de la carga necesaria para provocar un desplazamiento unidad.

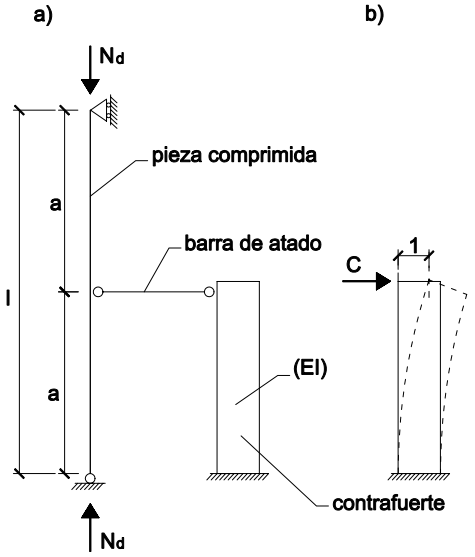


Figura 10.13

10.5.2 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 10.14), 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:

$$q_d = k_1 \frac{n N_d}{50 \cdot L} \tag{10.63}$$

siendo:

n número de piezas arriostradas asociadas al arriostramiento;

N_d valor medio (a lo largo del elemento puede existir un esfuerzo variable) de cálculo de la solicitación axil de compresión en la combinación más desfavorable;

L longitud de la pieza en m;

k_1 Factor de imperfección corresponde al menor valor de los dos siguientes:

$$k_1 = \min \begin{cases} k_1 = 1 \\ k_1 = \sqrt{\dfrac{15}{L}} \end{cases} \tag{10.64}$$

La deformación horizontal del sistema de arriostramiento debida q_d y a cualquier otra carga externa, no debe exceder L/500

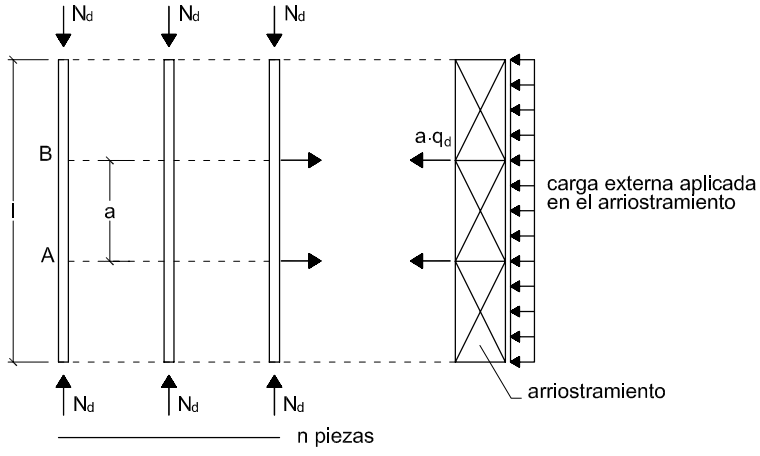


Figura 10.14 Sistema de vigas o cerchas que requieren restricciones laterales

11 Ejecución

11.1 Principios generales

11.1.1 Materiales

1 Antes de su utilización en la construcción, la madera debe secarse, en la medida que sea posible, hasta alcanzar contenidos de humedad adecuados a la obra acabada (humedad de equilibrio higroscópico).

2 Si los efectos de las contracciones o mermas no se consideran 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.

11.1.2 Detalles constructivos

1 De cara a la formalizacion de juntas entre elementos, y para elementos formados con madera de conífera, se consideraran las siguientes variaciones dimensionales de origen higrotérmico:

a) Para tableros contrachapados y de OSB, y en su plano, serán como máximo de valor 0,02% por cada 1% de variación de contenido de humedad del mismo.

b) Para madera aserrada, laminada o microlaminada se podrá tomar, por cada 1% de variación de de contenido de humedad, un valor de 0,01% en dirección longitudinal y 0,2% en la transversal (esta última corresponde en realidad a la tangencial, y la radial se podrá tomar como 0,1%).

2 A continuación se enumeran una serie de buenas prácticas que mejoran notablemente la durabilidad de la estructura:

a) evitar el contacto directo de la madera con el terreno, manteniendo una distancia mínima de 20cm y disponiendo un material hidrófugo (barrera antihumedad);

b) 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;

c) 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(véase figura 11.1 (a));

d) evitar uniones en las que se pueda acumular el agua;

e) 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(véase figura 11.1 (b));

f) 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 (véase figura 11.1 (c));

g) 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.

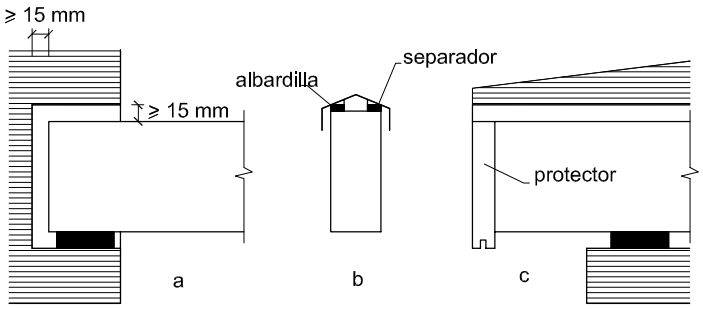
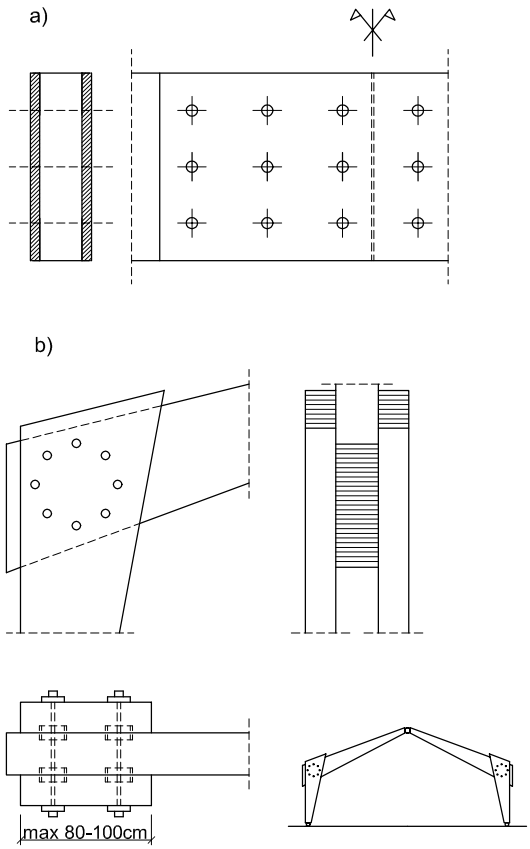


Figura 11.1 Ejemplos de detalles constructivos de protección de elementos estructurales.

3 Los posibles cambios de dimensiones, producidos por la hinchazón o merma de la madera, no deben quedar restringidos por los elementos de unión:

a) 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 (véase figura 11.2 (a));

b) 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 11.2.



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 11.2 Uniones en corona.

12 Tolerancias

12.1 Principios generales

1 Las exigencias relativas a las dimensiones y a las tolerancias de fabricación de los elementos estructurales pueden establecerse en el proyecto, de forma específica, en función de las condiciones de fabricación y montaje. De no especificarse en el proyecto el fabricante o suministrador deberá cumplir lo indicando a continuación.

12.2 Elementos estructurales

1 Las tolerancias dimensionales, o 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, o 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 limites 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 Suministro y recepción de los productos

13.1.1 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 clase de uso que cubre;
- la retención del producto protector
- 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 resaltos, 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.

13.1.2 Control de recepción en obra

1 Comprobaciones:

a la llegada de los productos a la obra, el director de la ejecución de la obra comprobará:

i) con carácter general:

– aspecto y estado general del suministro;

– que el producto es identificable, según el apartado 13.1.1, y se ajusta a las especificaciones del proyecto.

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, si fuera necesario, en laboratorio especializado;
- Clase Resistente: La propiedad o propiedades de resistencia, rigidez y densidad, se especificarán según notación y ensayos del apartado 4.1;
- 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%, valor medido con xilohigrómetro según norma UNE-EN 13183-2.

– tableros:

- propiedades de resistencia, rigidez y densidad: Se determinarán según notación y ensayos del apartado 4.4;
- 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;
- 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 del 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.

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 uso 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 las 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 latinas

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 desestabilizadoras
$E_{0,k}$	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, percentil 5%, paralelo a la fibra de la madera aserrada (=$E_{0,k}$)
$E_{0,05,g}$	módulo de elasticidad característico, percentil 5%, 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 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 latinas

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 értice)
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)).
$\lambda_{y,(z)}$ 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

1 Se utiliza el Sistema Internacional de Unidades de Medida, SI.

2 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: kN ·m

3 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 (véase tablas E.1 y E.2)

5 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 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	MEG	-	ME-1	-	-	-	-
	Pino pinaster (España)	-	-	ME-2	-	ME-1	-	-	-	-	-
	Pino insignis (España)	-	-	ME-2	-	ME-1	-	-	-	-	-
	Pino laricio (España)	-	-	ME-2	MEG	-	-	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, las 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 MEG
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	*Abies alba.* Mill.	Austria Europa:C,N,E y NE Francia Holanda Reino Unido
Chopo	*Populus* sp.	España
Falso abeto	*Picea abies* Karst.	Francia Europa:C,N,E y NE
Iroko	*Milicia excelsa y regia*	Africa
Jarrah	*Eucaliptus marginata* sm.	Australia
Pino insignis	*Pinus radiata* D. Don.	España
Pino laricio	*Pinus nigra* Arnold.	España
Pino Oregón	*Pseudotsuga menziessii* Fr.	Canadá EE.UU Francia
Pino pinaster	*Pinus pinaster* Ait.	España Francia
Pino silvestre	*Pinus sylvestris* L.	Austria España Europa:C,N,E y NE Holanda Reino Unido
Teca	*Tectona grandis* 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(véase tabla E.3 y E.4).

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/mm^2		
- Flexión	$f_{m,g,k}$	$f_{m,g,k} = 7 + 1{,}15\ f_{t,0,k} = 23{,}1$
- 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/mm^2		
- 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^{0}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/m^3		
- 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

1 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

	Clases resistentes		
Madera laminada encolada homogénea	**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/mm²													
- 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	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	16	17	18	19	20	22	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	$f_{v,k}$	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Rigidez, en kN/mm²													
- Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	7	8	9	9,5	10	11	11.5	12	13	14	15	16
- Módulo de elasticidad paralelo 5^0-percentíl	$E_{0,k}$	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	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	0,38	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	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00
Densidad, en kg/m³													
- 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							
		D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Resistencia (característica), en N/mm²									
- Flexión	$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70
- Tracción paralela	$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42
- Tracción perpendicular.	$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
- Compresión paralela	$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34
-Compresión perpendicular.	$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
- Cortante	$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Rigidez, kN/mm²									
-Módulo de elasticidad paralelo medio	$E_{0,medio}$	10	11	12	12	13	14	17	20
- Módulo de elasticidad paralelo 5º-percentíl	$E_{0,k}$	8,4	9,2	10,1	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
- Módulo de elasticidad perpendicular medio	$E_{90,medio}$	0,67	0,73	0,80	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
- Módulo transversal medio	G_{medio}	0,63	0,69	0,75	075	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad, kg/m³									
-Densidad característica	ρ_k	500	520	530	540	550	620	700	900
- Densidad media	ρ_{medio}	610	630	640	650	660	750	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 E.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 5^0-percentíl	$E_{0,g,k}$	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

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-percentíl	$E_{0,g,k}$	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	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430

E.3 Tableros

1 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:

a) ambiente seco: Clase de servicio 1, y clase de uso 1.

b) ambiente húmedo: Clase de servicio 2, y clase de uso 1

c) ambiente exterior: Exposición a la intemperie clases de uso 1, 2 y 3

2 En las tablas siguientes (véase UNE EN 789):

a) cortante en el grueso es equivalente a cortante de cizalladura;

b) cortante en el plano es equivalente a cortante de rodadura.

3 Cuando no se preste a confusión, los siguientes tableros de partículas se denominan:

a) UNE EN 312-4 ó P4;

b) UNE EN 312-5 ó P5;

c) UNE EN 312-6 ó P6;

d) 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/mm²							
- 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/mm²							
- 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/m³							
- 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/mm²							
- 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/mm²							
- 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/m³							
- 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/mm²							
- 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/mm²							
- 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/m³							
- 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/mm²							
- 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/mm²							
- 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/m³							
- 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 E.9 y E.10 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 E.9 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	
		≤ 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 E.10 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	$\rho_{p,k}$	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.

E.3.4 Tableros virutas orientadas

E.3.4.1 Valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad de los tableros contrachapados

1 En las tablas E.11 y E.12 se indican los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad asociadas a cada tipo de tablero de tablero de virutas orientadas (OSB).

Tabla E.11 Tableros de virutas orientadas para uso en ambiente seco (OSB/2) y para uso en ambiente húmedo (OSB/3). Valores de las propiedades.

			OSB/2 y OSB/3 (UNE EN 300) Para su uso en ambiente seco y húmedo Espesor nominal, t_{nom}, en mm		
Propiedades			**$6 < t_{nom} \leq 10$**	**$10 < t_{nom} \leq 18$**	**$18 < t_{nom} \leq 25$**
Resistencia (característica), en N/mm²					
Flexión	paralela	$f_{m,p,0,k}$	18,0	16,4	14,8
	perpendicular	$f_{m,p,90,k}$	9,0	8,2	7,4
Tracción	paralela	$f_{t,p,0,k}$	9,9	9,4	9,0
	perpendicular	$f_{t,p,90,k}$	7,2	7,0	6,8
Compresión	paralela	$f_{c,p,0,k}$	15,9	15,4	14,8
	perpendicular	$f_{c,p,90,k}$	12,9	12,7	12,4
Cortante, en el grueso		$f_{v,p,k}$	6,8	6,8	6,8
Cortante, en el plano		$f_{r,p,k}$	1,0	1,0	1,0
Rigidez (media), en N/mm²					
A flexión	paralela	$E_{m,0,p}$	4930	4930	4930
	perpendicular	$E_{m,90,p}$	1980	1980	1980
A tracción	paralela	$E_{t,0,p}$	3800	3800	3800
	perpendicular	$E_{t,90,p}$	3000	3000	3000
A compresión	paralela	$E_{c,0,p}$	3800	3800	3800
	perpendicular	$E_{c,90,p}$	3000	3000	3000
A cortante, en el grueso		$G_{v,p}$	1080	1080	1080
A cortante, en el plano		$G_{r,p}$	50	50	50
Densidad, en kg/m³					
Característica		$\rho_{p,k}$	550	550	550

Tabla E.12. Tableros de virutas orientadas de alta prestación para uso en ambiente húmedo (OSB/4). Valores de las propiedades.

			OSB/4 (UNE EN 300) De alta prestación para su uso en ambiente húmedo Espesor nominal, t_{nom}, en mm		
Propiedades			**$6 < t_{nom} \leq 10$**	**$10 < t_{nom} \leq 18$**	**$18 < t_{nom} \leq 25$**
Resistencia (característica), en N/mm²					
Flexión	paralela	$f_{m,p,0,k}$	24,5	23,0	21,0
	perpendicular	$f_{m,p,90,k}$	13,0	12,2	11,4
Tracción	paralela	$f_{t,p,0,k}$	11,9	11,4	10,9
	perpendicular	$f_{t,p,90,k}$	8,5	8,2	8,0
Compresión	paralela	$f_{c,p,0,k}$	18,1	17,6	17,0
	perpendicular	$f_{c,p,90,k}$	14,3	14,0	13,7
Cortante, en el grueso		$f_{v,p,k}$	6,9	6,9	6,9
Cortante, en el plano		$f_{r,p,k}$	1,1	1,1	1,1
Rigidez (media), en N/mm²					
Flexión	paralela	$E_{m,0,p}$	6780	6780	6780
	perpendicular	$E_{m,90,p}$	2680	2680	2680
Tracción	paralela	$E_{t,0,p}$	4300	4300	4300
	perpendicular	$E_{t,90,p}$	3200	3200	3200
Compresión	paralela	$E_{c,0,p}$	4300	4300	4300
	perpendicular	$E_{c,90,p}$	3200	3200	3200
A cortante, en el grueso		$G_{v,p}$	1090	1090	1090
A cortante, en el plano		$G_{r,p}$	60	60	60
Densidad, en kg/m³					
Característica		$\rho_{p,k}$	550	550	550

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 (ºC)	HR (%)	Máxima anual	T (ºC)	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:

$$L_k = \beta \cdot s \text{ o } l_k = \beta \cdot h \qquad \text{(G.1)}$$

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:

$$l_k = \beta \cdot s \cdot \sqrt{1 + \frac{E \cdot I \cdot \pi^2}{(\beta \cdot s)^2 \cdot S}} \quad \text{ó} \quad l_k = \beta \cdot h \cdot \sqrt{1 + \frac{E \cdot I \cdot \pi^2}{(\beta \cdot h)^2 \cdot S}} \qquad \text{(G.2)}$$

siendo:

$$S = G \cdot A / 1{,}2 \qquad \text{(G.3)}$$

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

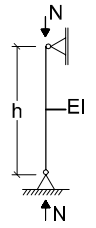
	Sistema estructural	Coeficientes β
1	Pilar Biarticulado 	$\beta = 1$

Tabla G.1. Coeficientes de la longitud de pandeo β para barras

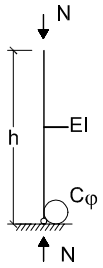
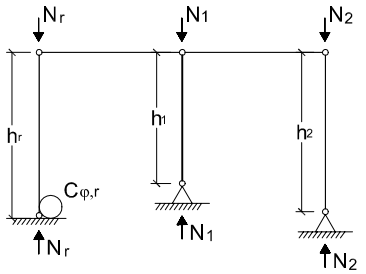
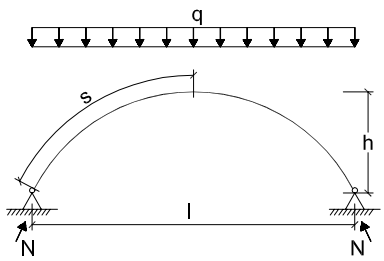
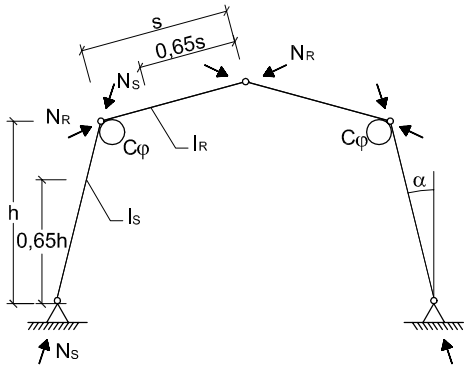
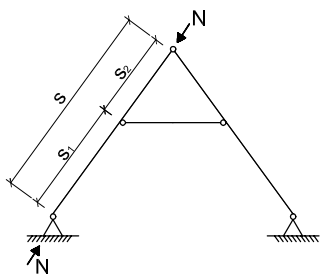
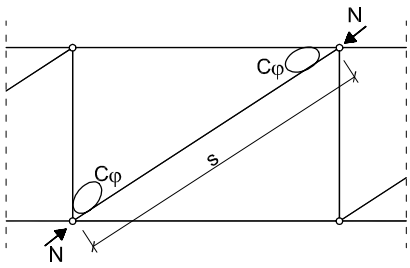
	Sistema estructural	Coeficientes β
2	Pilar en voladizo 	$\beta = \sqrt{4 + \frac{E \cdot I \cdot \pi^2}{h \cdot C_\varphi}}$ C_φ Coeficiente de muelle
3	Entramado 	Para la columna, r: $\beta_r = \pi \sqrt{\frac{5 + 4\alpha}{12} + \frac{(E \cdot I)_\alpha \cdot (1 + \alpha)}{h_r \cdot C_{\varphi,r}}}$ siendo: $\alpha = \frac{h_r}{N_r} \cdot \sum \frac{N_i}{h_i}$
4	Arco biarticulado o triarticulado de sección constante. 	$l_k = \beta \cdot s$ para $0{,}15 \leq h/l \leq 0{,}50$ siendo: $\beta = 1{,}25$ (forma modal antimétrica de pandeo)
5	Pórtico a dos aguas triarticulado 	Pilar $l_k = \beta_S \cdot h \quad (\alpha \leq 15º)$ $\beta_S = \sqrt{4 + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_S}{h} \cdot \left(\frac{1}{C_\varphi} + \frac{s}{3 \cdot E \cdot I_R} \right) + \frac{E \cdot I_S \cdot N_R \cdot s^2}{E \cdot I_R \cdot N_S \cdot h^2}}$ Dintel $l_k = \beta_R \cdot s \quad (\alpha \leq 15º)$ $\beta_R = \beta_s \frac{h}{s} \sqrt{\frac{I_R \cdot N_S}{I_S \cdot N_R}}$ N_R axil en el dintel. N_S axil en la columna (forma modal antimétrica de pandeo)

Tabla G.1. Coeficientes de la longitud de pandeo β para barras

	Sistema estructural	Coeficientes β
6	Forma de par y nudillo 	β = 0,8 para $s_1 < 0{,}7 \cdot s$ β = 1,0 para $s_1 \geq 0{,}7 \cdot s$ (forma modal antimétrica de pandeo)
7	Celosía del alma 	Uniones articuladas $C_\varphi \approx 0$ β = 1,0 Uniones semirrígidas $C_\varphi > 0$ β = 0,8

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 G.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:

$$C_\varphi = \sum_{i=1}^{n} K_u \cdot r_i^2 \qquad \text{(G.4)}$$

siendo:

r_i distancia entre el medio de fijación y el centro de gravedad de la conexión. En el enlace articulado $C_\varphi = 0$ y en el enlace completamente rígido $C_\varphi = \infty$;

$$K_u = 2 \cdot K_{ser}/3 \qquad \text{(G.5)}$$

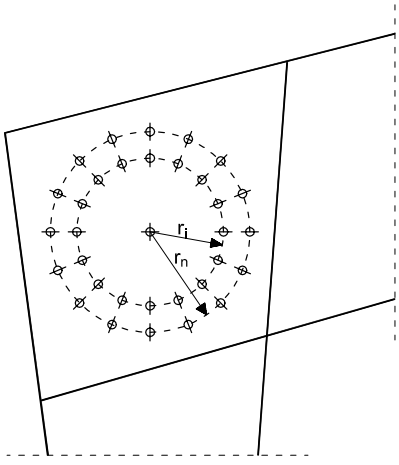


Figura G.1. Enlace semirrígido de una esquina de un pórtico

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:

$$R_{bs,Rk} = \max \begin{vmatrix} 1{,}5 \cdot A_{net,t} \cdot f_{t,0,k} \\ 0{,}7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{v,k} \end{vmatrix} \quad \text{(H.1)}$$

siendo:

$$A_{net,t} = L_{net,t} \cdot t \quad \text{(H.2)}$$

$$A_{net,v} = \begin{cases} L_{net,v} \cdot t & \text{modos de fallo (e, f, j/l, k, m)} \\ L_{net,v} \cdot (L_{net,t} + 2 \cdot t_{ef}) & \text{restantes modos de fallo} \end{cases} \quad \text{(H.3)}$$

y,

$$L_{net,v} = \sum_i l_{v,i} \quad \text{(H.4)}$$

$$L_{net,t} = \sum_i l_{t,i} \quad \text{(H.5)}$$

- para placas de acero delgadas;

$$t_{ef} = \begin{cases} 0{,}4 \cdot t_1 & \text{(a)} \\ 1{,}4 \cdot \sqrt{\dfrac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} & \text{(b)} \end{cases} \quad \text{(H.6)}$$

- para placas de acero gruesas;

$$t_{ef} = \begin{cases} 2 \cdot \sqrt{\dfrac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d}} & \text{(d) (h)} \\ t_1 \cdot \left[\sqrt{2 + \dfrac{M_{y,Rk}}{f_{h,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] & \text{(c) (g)} \end{cases} \quad \text{(H.7)}$$

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;
$l_{v,i}$, $l_{t,i}$ longitudes 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.

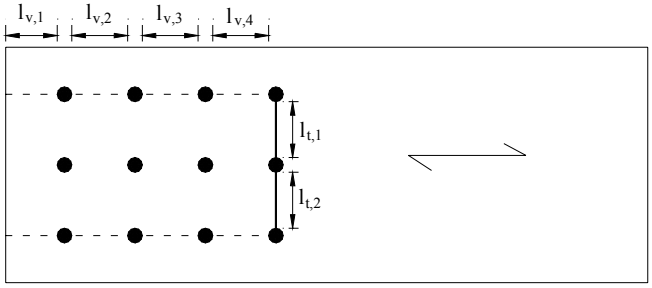


Figura H.1 Fallo por el perímetro de una unión.

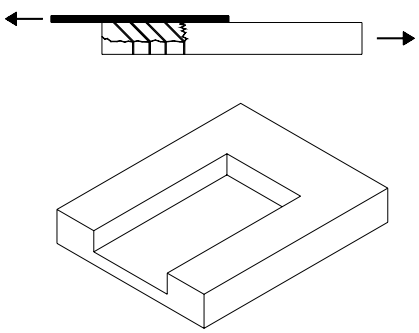


Figura H.2 Fallo en bloque.

Anejo I. Normas de referencia

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: 2007 enmienda 2008	Clasificación visual de la madera aserrada de conífera para uso estructural
UNE 56530: 1977	Características fisico-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

	Parte 5. Especificaciones de los tableros estructurales para uso en ambiente húmedo
UNE EN 312-6: 1997	Tableros de partículas. Especificaciones Parte 6. Especificaciones de los tableros estructurales de alta prestación para uso en ambiente seco
UNE EN 312-7: 1997	Tableros de partículas. Especificaciones Parte 7. Especificaciones de los tableros estructurales de alta prestación para uso en ambiente húmedo
UNE EN 313-1: 1996	Tableros contrachapados. Clasificación y terminología. Parte 1: Clasificación.
UNE EN 313-2: 1996	Tableros contrachapados. Clasificación y terminología. Parte 2: Terminología.
UNE EN 315: 1994	Tableros contrachapados. Tolerancias dimensionales.
UNE EN 316: 1994	Tableros de fibras. Definiciones, clasificación y símbolos.
UNE EN 335-1: 1993	Durabilidad de la madera y de sus materiales derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 1:Generalidades.
UNE EN 335-2: 1994	Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 2: Aplicación a madera maciza.
UNE EN 335-3: 1996	Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 3: Aplicación a los tableros derivados de la madera. (+ ERRATUM).
UNE EN 336: 1995	Madera estructural. Coníferas y chopo. Dimensiones y tolerancias.
prEN 338: 2008	Madera estructural. Clases resistentes.
UNE EN 350-1: 1995	Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1.Guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera.
UNE EN 350-2: 1995	Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionada por su importancia en Europa
UNE EN 351-1: 1996	Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 1: Clasificación de las penetraciones y retenciones de los productos protectores. (+ ERRATUM)
UNE EN 351-2: 1996	Durabilidad de la madera y de los productos derivados de la madera. Madera maciza tratada con productos protectores. Parte 2: Guía de muestreo de la madera tratada para su análisis.
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: 2004	Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las pro-

piedades mecánicas y la densidad.

UNE EN 386: 1995 Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.

UNE-EN 387:2002 Madera laminada encolada. Empalmes mediante uniones dentadas de grandes dimensiones

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: 2004 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: 2006	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)
UNE EN 12369-2: 2004	Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 2: Tablero contrachapado
UNE EN 14251: 2004	Madera en rollo estructural. Métodos de ensayo
EN 14592:2002	Dowel-type fasteners. Requirements