

Octubre 2006

### TÍTULO

**Eurocódigo 5**

**Proyecto de estructuras de madera**

**Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación**

*Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-1: General. Common rules and rules for buildings.*

*Eurocode 5: Conception et calcul des structures en bois. Partie 1-1: Généralités. Règles communes et règles pour les bâtiments.*

### CORRESPONDENCIA

Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN 1995-1-1:2004 y del Erratum Europeo EN 1995-1-1:2004/AC:2006.

### OBSERVACIONES

Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-ENV 1995-1-1:1997.

### ANTECEDENTES

Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 140 *Eurocódigos Estructurales* cuya Secretaría desempeña SEOPAN.

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 43377:2006

© AENOR 2006  
Reproducción prohibida

LAS OBSERVACIONES A ESTE DOCUMENTO HAN DE DIRIGIRSE A:

**AENOR**

C Génova, 6  
28004 MADRID-España

**Asociación Española de  
Normalización y Certificación**

Teléfono 91 432 60 00  
Fax 91 310 40 32

136 Páginas

**Grupo 78**



Versión en español

**Eurocódigo 5**  
**Proyecto de estructuras de madera**  
**Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación**

**Eurocode 5: Design of timber structures.**  
**Part 1-1: General. Common rules and**  
**rules for buildings.**

**Eurocode 5: Conception et calcul des**  
**structures en bois. Partie 1-1: Généralités.**  
**Règles communes et règles pour les**  
**bâtiments.**

**Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion**  
**von Holzbauten. Teil 1-1: Allgemeine**  
**Regeln und Regeln für den Hochbau.**

Esta norma europea ha sido aprobada por CEN el 2004-04-16. Los miembros de CEN están sometidos al Reglamento Interior de CEN/CENELEC que define las condiciones dentro de las cuales debe adoptarse, sin modificación, la norma europea como norma nacional.

Las correspondientes listas actualizadas y las referencias bibliográficas relativas a estas normas nacionales, pueden obtenerse en el Centro de Gestión de CEN, o a través de sus miembros.

Esta norma europea existe en tres versiones oficiales (alemán, francés e inglés). Una versión en otra lengua realizada bajo la responsabilidad de un miembro de CEN en su idioma nacional, y notificada al Centro de Gestión, tiene el mismo rango que aquéllas.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

**CEN**  
**COMITÉ EUROPEO DE NORMALIZACIÓN**  
European Committee for Standardization  
Comité Européen de Normalisation  
Europäisches Komitee für Normung  
**CENTRO DE GESTIÓN: Rue de Stassart, 36 B-1050 Bruxelles**

## ÍNDICE

	Página
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES</b>	
<b>1.1 Objeto y campo de aplicación .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.1 Objeto y campo de aplicación de la Norma Europea EN 1995 .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1.2 Objeto y campo de aplicación de la Norma Europea EN 1995-1-1 .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Normas para consulta .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Consideraciones.....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Distinción entre Principios y Reglas de Aplicación .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 Términos y definiciones .....</b>	<b>18</b>
<b>1.5.1 Generalidades .....</b>	<b>18</b>
<b>1.5.2 Términos y definiciones adicionales utilizados en esta norma europea.....</b>	<b>18</b>
<b>1.6 Símbolos utilizados en la Norma Europea EN 1995-1-1 .....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO 2 – BASES DE PROYECTO</b>	
<b>2.1 Requisitos.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.1 Requisitos básicos.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.2 Fiabilidad estructural .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.3 Vida útil y durabilidad.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2 Principios de los estados límite de cálculo.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.1 Generalidades.....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.2 Estados límite últimos .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.3 Estados límite de servicio.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3 Variables básicas .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.1 Acciones e influencia del ambiente .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.1.1 Generalidades .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.1.2 Clases de duración de la carga .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.1.3 Clases de servicio.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.2 Propiedades de los materiales y productos .....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.2.1 Influencia de la duración de la carga y del contenido de humedad en la resistencia .</b>	<b>28</b>
<b>2.3.2.2 Influencia de la duración de la carga y del contenido de humedad en las deformaciones .....</b>	<b>29</b>
<b>2.4 Comprobación mediante el método del coeficiente parcial .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.1 Valor de cálculo de una propiedad del material.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4.2 Valor de cálculo de los datos geométricos .....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.3 Resistencias de cálculo .....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.4 Comprobación del equilibrio (EQU) .....</b>	<b>31</b>

### CAPÍTULO 3 – PROPIEDADES DEL MATERIAL

3.1	Generalidades .....	32
3.1.1	Parámetros de resistencia y rigidez .....	32
3.1.2	Relaciones tensión-deformación.....	32
3.1.3	Factor de modificación para la clase de servicio y la clase de duración de la carga ..	32
3.1.4	Factor de modificación de la deformación para la clase de servicio .....	32
3.2	Madera maciza .....	32
3.3	Madera laminada encolada .....	33
3.4	Madera microlaminada (LVL) .....	35
3.5	Tableros derivados de la madera .....	35
3.6	Adhesivos .....	36
3.7	Herrajes metálicos.....	36

### CAPÍTULO 4 – DURABILIDAD

4.1	Resistencia a los organismos biológicos.....	36
4.2	Resistencia a la corrosión .....	36

### CAPÍTULO 5 – BASES DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

5.1	Generalidades .....	37
5.2	Piezas .....	37
5.3	Uniones.....	37
5.4	Tipos estructurales .....	38
5.4.1	Generalidades .....	38
5.4.2	Estructuras de celosía .....	38
5.4.3	Análisis simplificado de cerchas con placas metálicas dentadas (placas-clavo).....	39
5.4.4	Pórticos y arcos planos.....	40

### CAPÍTULO 6 – ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

6.1	Cálculo de secciones sometidas a tensiones en una dirección principal.....	42
6.1.1	Generalidades .....	42
6.1.2	Tracción paralela a la fibra .....	42
6.1.3	Tracción perpendicular a la fibra.....	42
6.1.4	Compresión paralela a la fibra .....	42
6.1.5	Compresión perpendicular a la fibra .....	43
6.1.6	Flexión .....	47
6.1.7	Cortante .....	47
6.1.8	Torsión .....	48
6.2	Cálculo de secciones sometidas a una combinación de tensiones .....	49
6.2.1	Generalidades .....	49
6.2.2	Tensiones de compresión que forman un ángulo con respecto a la dirección de la fibra .....	49

6.2.3	Flexión y tracción combinadas.....	49
6.2.4	Flexión y compresión combinadas.....	50
6.3	Estabilidad de las piezas .....	50
6.3.1	Generalidades .....	50
6.3.2	Columnas sometidas a compresión o a la combinación de compresión y flexión .....	50
6.3.3	Vigas sometidas a flexión o a una combinación de flexión y compresión.....	51
6.4	Cálculo de secciones en piezas de sección variable o de forma curva.....	53
6.4.1	Generalidades .....	53
6.4.2	Vigas de canto variable a un agua .....	54
6.4.3	Vigas a dos aguas, curvas y curvas a dos aguas.....	55
6.5	Piezas con entalladuras.....	59
6.5.1	Generalidades .....	59
6.5.2	Vigas con una entalladura en el apoyo .....	59
6.6	Sistema de carga compartida .....	61

## CAPÍTULO 7 – ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

7.1	Deslizamiento de las uniones .....	62
7.2	Valores límite para las deformaciones de las vigas .....	62
7.3	Vibraciones .....	63
7.3.1	Generalidades .....	63
7.3.2	Vibraciones provocadas por maquinaria .....	63
7.3.3	Forjados con uso residencial .....	63

## CAPÍTULO 8 – UNIONES CON MEDIOS DE FIJACIÓN METÁLICOS

8.1	Generalidades .....	66
8.1.1	Requisitos de los medios de fijación.....	66
8.1.2	Uniones con múltiples medios de fijación.....	66
8.1.3	Uniones con múltiples planos de cortadura .....	66
8.1.4	Uniones con fuerzas que forman un ángulo con la dirección de la fibra.....	66
8.1.5	Uniones con fuerzas alternas .....	68
8.2	Capacidad de carga lateral de medios de fijación de tipo pasador .....	68
8.2.1	Generalidades .....	68
8.2.2	Uniones madera-madera y tablero-madera .....	68
8.2.3	Uniones de acero-madera .....	70
8.3	Uniones clavadas .....	72
8.3.1	Clavos con carga lateral.....	72
8.3.1.1	Generalidades .....	72
8.3.1.2	Uniones clavadas madera-madera .....	75
8.3.1.3	Uniones clavadas tablero-madera.....	78
8.3.1.4	Uniones clavadas acero-madera.....	79
8.3.2	Clavos con carga axial .....	79
8.3.3	Clavos sometidos a una combinación de carga lateral y axial.....	81

8.4	Uniones grapadas .....	81
8.5	Uniones con pernos .....	83
8.5.1	Pernos con carga lateral .....	83
8.5.1.1	Generalidades y uniones con pernos en madera y madera.....	83
8.5.1.2	Uniones con pernos entre tablero y madera .....	84
8.5.1.3	Uniones con pernos entre acero y madera .....	85
8.5.2	Pernos con carga axial .....	85
8.6	Uniones con pasadores .....	85
8.7	Uniones con tirafondos .....	86
8.7.1	Tirafondos con carga lateral .....	86
8.7.2	Tirafondos con carga axial .....	86
8.7.3	Tirafondos cargados con una combinación de carga lateral y axial.....	88
8.8	Uniones con placas metálicas dentadas (placas-clavo).....	88
8.8.1	Generalidades .....	88
8.8.2	Geometría de la placa .....	88
8.8.3	Propiedades resistentes de la placa .....	88
8.8.4	Resistencias de anclaje de la placa .....	89
8.8.5	Comprobación de la resistencia de la unión.....	90
8.8.5.1	Capacidad de anclaje de la placa .....	90
8.8.5.2	Capacidad de la placa .....	91
8.9	Conectores de anillo y de placa .....	92
8.10	Conectores de placa dentada .....	95

## CAPÍTULO 9 – COMPONENTES Y SISTEMAS

9.1	Componentes .....	99
9.1.1	Vigas con alma delgada encolada .....	99
9.1.2	Vigas con alas delgadas encoladas .....	101
9.1.3	Vigas con uniones mecánicas.....	103
9.1.4	Columnas con uniones mecánicas y encoladas .....	103
9.2	Sistemas.....	103
9.2.1	Cerchas.....	103
9.2.2	Cerchas con uniones con placas metálicas dentadas (placas-clavo).....	105
9.2.3	Diafragmas de cubierta y de forjado .....	105
9.2.3.1	Generalidades .....	105
9.2.3.2	Análisis simplificado de los diafragmas de cubierta y de forjado .....	105
9.2.4	Diafragmas de muros .....	106
9.2.4.1	Generalidades .....	106
9.2.4.2	Análisis simplificado de diafragmas de muros – Método A .....	107
9.2.4.3	Análisis simplificado de diafragmas de muros – Método B.....	109
9.2.4.3.1	Construcción de muros y paneles para cumplir los requisitos del análisis simplificado .....	109
9.2.4.3.2	Procedimiento de cálculo .....	110

9.2.5	Arriostramiento.....	114
9.2.5.1	Generalidades .....	114
9.2.5.2	Piezas simples en compresión.....	114
9.2.5.3	Arriostramiento de sistemas de vigas o cerchas .....	115

## CAPÍTULO 10 – DETALLES CONSTRUCTIVOS Y CONTROL

10.1	Generalidades .....	117
10.2	Materiales .....	117
10.3	Uniones encoladas .....	117
10.4	Uniones con elementos de fijación mecánicos .....	117
10.4.1	Generalidades .....	117
10.4.2	Clavos .....	117
10.4.3	Pernos y arandelas .....	118
10.4.4	Pasadores .....	118
10.4.5	Tirafondos.....	118
10.5	Montaje .....	118
10.6	Transporte y elevación.....	119
10.7	Control .....	119
10.8	Reglas específicas para estructuras de diafragmas .....	119
10.8.1	Diafragmas de forjados y cubiertas .....	119
10.8.2	Diafragmas de muros .....	120
10.9	Reglas especiales para cerchas con herrajes de placas metálicas dentadas .....	120
10.9.1	Fabricación .....	120
10.9.2	Elevación .....	121

ANEXO A (Informativo)	FALLO DE CORTANTE EN BLOQUE Y POR DESGARRO EN UNIONES ACERO-MADERA CON VARIOS ELEMENTOS DE FIJACIÓN DE TIPO CLAVIJA .....	122
-----------------------	---	-----

ANEXO B (Informativo)	VIGAS CON UNIONES MECÁNICAS .....	124
B.1	Análisis simplificado .....	124
B.1.1	Secciones transversales .....	124
B.1.2	Hipótesis.....	124
B.1.3	Separaciones .....	124
B.1.4	Deformación debida al momento flector .....	124
B.2	Rigidez eficaz a flexión.....	126
B.3	Tensiones normales .....	126
B.4	Tensión máxima de cortante .....	127
B.5	Carga en el conector.....	127

ANEXO C (Informativo)	COLUMNAS COMPUESTAS.....	128
C.1	Generalidades .....	128
C.1.1	Hipótesis.....	128
C.1.2	Capacidad de carga.....	128

<b>C.2</b>	<b>Columnas compuestas con uniones mecánicas .....</b>	<b>128</b>
<b>C.2.1</b>	<b>Esbeltez eficaz.....</b>	<b>128</b>
<b>C.2.2</b>	<b>Fuerza en los elementos de fijación .....</b>	<b>129</b>
<b>C.2.3</b>	<b>Cargas combinadas .....</b>	<b>129</b>
<b>C.3</b>	<b>Columnas compuestas con tacos separadores o con presillas.....</b>	<b>129</b>
<b>C.3.1</b>	<b>Hipótesis.....</b>	<b>129</b>
<b>C.3.2</b>	<b>Capacidad de carga axial.....</b>	<b>131</b>
<b>C.3.3</b>	<b>Carga en los elementos de fijación, presillas o tacos .....</b>	<b>131</b>
<b>C.4</b>	<b>Columnas de celosía con uniones encoladas o clavadas .....</b>	<b>132</b>
<b>C.4.1</b>	<b>Hipótesis.....</b>	<b>132</b>
<b>C.4.2</b>	<b>Capacidad de carga.....</b>	<b>132</b>
<b>C.4.3</b>	<b>Esfuerzos cortantes .....</b>	<b>135</b>
<b>ANEXO D (Informativo)</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>136</b>

## PRÓLOGO

Esta Norma Europea EN 1995-1-1 ha sido elaborada por el Comité Técnico CEN/TC 250 *Eurocódigos estructurales*, cuya Secretaría desempeña BSI.

Esta norma europea debe recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de mayo de 2005, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deben anularse antes de finales de marzo de 2010.

Esta norma europea anula y sustituye a la Norma Europea Experimental ENV 1995-1-1:1993.

El Comité Técnico CEN/TC 250 es responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, están obligados a adoptar esta norma europea los organismos de normalización de los siguientes países: Alemania, Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslovaquia, Eslovenia, España, Estonia, Finlandia, Francia, Grecia, Hungría, Irlanda, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suecia y Suiza.

## Prólogo del programa de Eurocódigos

En 1975, la Comisión de la Comunidad Europea decidió llevar a cabo un programa de actuación en el campo de la construcción, basado en el artículo 95 del Tratado. El objetivo de este programa era la eliminación de las barreras técnicas al comercio y la armonización de las especificaciones técnicas.

Dentro de este programa de actuación, la Comisión tomó la iniciativa de establecer un conjunto de reglas técnicas armonizadas para el proyecto de las estructuras que, en una primera etapa, sirviera como alternativa a las reglas nacionales en vigor en los Estados Miembro y, finalmente, las pudiera reemplazar.

Durante quince años, la Comisión, con la ayuda de un Comité Director con representantes de los Estados Miembro, condujo el desarrollo del programa de los Eurocódigos, lo que llevó en los años 80 a la primera generación de códigos europeos.

En 1989, la Comisión y los Estados Miembro de la UE y de la AELC decidieron, sobre la base de un acuerdo<sup>1)</sup> entre la Comisión y el CEN, transferir al CEN la preparación y la publicación de los Eurocódigos mediante una serie de Mandatos, con el fin de dotarlos de un futuro estatus de Norma Europea (EN). Esto vincula *de facto* los Eurocódigos con las disposiciones de todas las Directivas del Consejo y Decisiones de la Comisión que hacen referencia a las normas europeas (por ejemplo, la Directiva del Consejo 89/106/CEE sobre productos de construcción -DPC- y las Directivas del Consejo 93/37/CEE, 92/50/CEE y 89/440/CEE sobre obras públicas y servicios y las Directivas de la AELC equivalentes iniciadas para conseguir la implantación del mercado interior).

El programa Eurocódigos Estructurales comprende las siguientes normas, compuestas a su vez de diversas Partes:

EN 1990	Eurocódigos: Bases para el cálculo de estructuras
EN 1991	Eurocódigo 1: Acciones en estructuras
EN 1992	Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón
EN 1993	Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero
EN 1994	Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas
EN 1995	Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera
EN 1996	Eurocódigo 6: Proyecto de estructuras de fábrica
EN 1997	Eurocódigo 7: Proyecto geotécnico
EN 1998	Eurocódigo 8: Proyecto de estructuras sismorresistentes
EN 1999	Eurocódigo 9: Proyecto de estructuras de aluminio

Los Eurocódigos reconocen la responsabilidad de las autoridades reglamentadoras de cada Estado Miembro y han salvaguardado su derecho a determinar, en el ámbito nacional, los valores relacionados con temas reglamentarios de seguridad cuando éstos sigan siendo distintos de un Estado a otro.

## Estatus y campo de aplicación de los Eurocódigos

Los Estados Miembro de la UE y de la AELC reconocen que los Eurocódigos sirven como documentos de referencia para los siguientes fines:

- como medio para demostrar el cumplimiento en las obras de edificación y de ingeniería civil de los requisitos esenciales de la Directiva del Consejo 89/106/CEE, en particular del Requisito Esencial nº 1 - Resistencia mecánica y estabilidad - y del Requisito Esencial nº 2 - Seguridad en caso de incendio;
- como base para especificar los contratos de las obras de construcción y de los servicios de ingeniería relacionados con ellas;
- como marco para redactar las especificaciones técnicas armonizadas de productos de construcción (ENs y DITEs).

1) Acuerdo entre la Comisión de la Comunidad Europea y el Comité Europeo de Normalización (CEN) referente al trabajo sobre los EUROCÓDIGOS para el proyecto de edificios y de obras de ingeniería civil.

Los Eurocódigos, en la medida en que están relacionados con las construcciones, tienen una relación directa con los Documentos Interpretativos<sup>2)</sup> a los que hace referencia el artículo 12 de la DPC, aunque son de distinta naturaleza que las normas armonizadas de producto<sup>3)</sup>. Por ello, los Comités Técnicos del CEN y/o los Grupos de Trabajo de la EOTA que trabajen sobre normas de producto deben considerar de manera adecuada los aspectos técnicos de los Eurocódigos, con vistas a obtener una compatibilidad total entre estas especificaciones técnicas y los Eurocódigos.

Los Eurocódigos dan reglas comunes de cálculo estructural para su uso habitual en el proyecto de estructuras completas y de productos componentes de naturaleza tanto tradicional como innovadora. Las formas de construcción y las condiciones de proyecto poco usuales no quedan cubiertas específicamente y requerirán, en tales casos, un estudio adicional del proyectista.

### **Las normas nacionales de aplicación de los Eurocódigos**

Las normas nacionales de aplicación de los Eurocódigos comprenderán el texto completo del Eurocódigo (incluyendo los anexos) tal y como se publique por el CEN, pudiendo éste venir precedido de una portada nacional y de un preámbulo nacional y terminado en un anexo nacional.

El anexo nacional sólo puede contener información sobre aquellos parámetros, que queden abiertos en los Eurocódigos para la elección de una opción nacional, conocidos como Parámetros de Determinación Nacional, para su empleo en el proyecto de las obras de edificación y de ingeniería civil a construir en el país correspondiente, es decir:

- los valores y/o clases sobre los que se ofrezcan alternativas en el Eurocódigo;
- los valores a emplear cuando sólo se dé un símbolo en el Eurocódigo;
- los datos específicos del país (geográficos, climatológicos, etc.), por ejemplo, un mapa de nieve;
- el procedimiento a emplear cuando los Eurocódigos ofrezcan procedimientos alternativos;
- decisiones sobre la aplicación de los anexos informativos; y
- referencia a información complementaria no contradictoria que ayude al usuario a aplicar el Eurocódigo.

### **Vínculos entre los Eurocódigos y las especificaciones técnicas armonizadas (ENs y DITEs) de productos**

Hay una necesidad de consistencia entre las especificaciones técnicas armonizadas de los productos de construcción y las reglas técnicas de las obras<sup>4)</sup>. Aún más, toda la información que acompañe al marcado CE de los productos de construcción y que se refiera a los Eurocódigos debe mencionar con claridad qué Parámetros de Determinación Nacional se han tenido en cuenta.

---

2) De acuerdo con el artículo 3.3 de la DPC, los documentos interpretativos darán forma concreta a los requisitos esenciales (REs con el fin de establecer los vínculos necesarios entre los requisitos esenciales y los mandatos para la elaboración de normas armonizadas y DITEs/Guías de DITEs.

3) De acuerdo con el artículo 12 de la DPC los documentos interpretativos deben:

- a) dar forma concreta a los requisitos esenciales mediante la armonización de la terminología y de las bases técnicas y la asignación, en su caso, de clases y niveles para cada requisito esencial;
- b) indicar los métodos para relacionar estas clases y niveles con las especificaciones técnicas, por ejemplo, métodos de cálculo y de prueba, reglas técnicas para el cálculo en proyectos, etc.;
- c) servir de referencia para el establecimiento de las normas armonizadas y de guías para los Documentos de Idoneidad Técnica Europeos.

Los Eurocódigos, de facto, juegan un papel similar en el campo del Requisito Esencial nº 1 y en parte del Requisito Esencial nº 2.

4) Véanse los artículos 3.3 y 12 de la DPC, así como los apartados 4.2, 4.3.1, 4.3.2 y 5.2 del Documento Interpretativo nº 1.

### **Información adicional específica de la Norma Europea EN 1995-1-1**

La Norma Europea EN 1995 describe los principios y requisitos para la seguridad, funcionalidad y durabilidad de las estructuras de madera. Está basada en el concepto de los estados límite utilizado junto con el método de los coeficientes parciales.

La Norma Europea EN 1995 está pensada para el proyecto de estructuras de nueva planta, para su aplicación directa junto con la Norma Europea EN 1990:2002 y las partes relevantes de la Norma Europea EN 1991.

Los valores numéricos para los coeficientes parciales y otros parámetros de fiabilidad están recomendados como valores básicos que proporcionan un nivel de fiabilidad aceptable. Se han seleccionado suponiendo que existe un nivel adecuado de gestión de la calidad y de la mano de obra. Cuando la Norma Europea EN 1995-1-1 se utilice como un documento base por otros Comités Técnicos del CEN es necesario tomar los mismos valores.

### **Anexo nacional de la Norma Europea EN 1995-1-1**

Esta norma proporciona procedimientos alternativos, valores y recomendaciones con notas que indican cuando tienen cabida opciones nacionales. Por lo tanto, la norma nacional que implemente la Norma Europea EN 1995-1-1 debería tener un anexo nacional que contenga todos los Parámetros de Determinación Nacional a emplear en el proyecto de edificaciones y obras de ingeniería civil a construir en el país correspondiente.

En la Norma Europea EN 1995-1-1 se permite la opción nacional en los apartados siguientes:

- 2.3.1.2(2)P      Asignación de las cargas a las clases de duración de la carga;
- 2.3.1.3(1)P      Asignación de estructuras a las clases de servicio;
- 2.4.1(1)P      Coeficientes parciales para las propiedades del material;
- 6.4.3(8)      Vigas a dos aguas, vigas curvas y curvas a dos aguas;
- 7.2(2)      Valores límites para las deformaciones;
- 7.3.3(2)      Valores límites para las vibraciones;
- 8.3.1.2(4)      Uniones clavadas entre madera y madera: Reglas para clavos en la testa;
- 8.3.1.2(7)      Uniones clavadas entre madera y madera: Especies sensibles a la hienda;
- 9.2.4.1(7)      Método de cálculo para los diafragmas de muros;
- 9.2.5.3(1)      Factores de modificación de arriostramiento para vigas o sistemas de celosía;
- 10.9.2(3)      Montaje de cerchas con uniones mediante placas metálicas dentadas: Máxima combadura;
- 10.9.2(4)      Montaje de cerchas con uniones mediante placas metálicas dentadas: Máxima desviación.

## CAPÍTULO 1 – GENERALIDADES

### 1.1 Objeto y campo de aplicación

#### 1.1.1 Objeto y campo de aplicación de la Norma Europea EN 1995

- (1)P La Norma Europea EN 1995 se aplica al proyecto de edificios y obras de ingeniería civil con madera (madera maciza, aserrada, escuadrada o en forma de poste, madera laminada encolada o productos derivados de la madera con uso estructural, por ejemplo, la madera microlaminada LVL) o con tableros derivados de la madera unidos con adhesivos o medios de fijación mecánicos. Cumple los principios y requisitos para la seguridad y servicio de las estructuras y las bases de proyecto y verificación definidas en la Norma Europea EN 1990:2002.
- (2) P La Norma Europea EN 1995 sólo afecta a los requisitos de resistencia mecánica, adecuación al servicio, durabilidad y resistencia al fuego de las estructuras de madera. Otros requisitos, como por ejemplo el aislamiento térmico y acústico, no se consideran.
- (3) La Norma Europea EN 1995 está pensada para utilizarse junto con las siguientes:  
EN 1990:2002 Eurocódigo – Bases de cálculo de estructuras  
EN 1991 “Acciones en estructuras”  
Normas europeas para productos de construcción relevantes para las estructuras de madera  
EN 1998 “Proyecto de estructuras sismorresistentes”, cuando las estructuras de madera se construyan en regiones sísmicas
- (4) La Norma Europea EN 1995 se divide en varias partes:  
EN 1995-1 Reglas generales  
EN 1995-2 Puentes
- (5) La Norma Europea EN 1995-1 “Reglas generales” comprende:  
EN 1995-1-1 Reglas generales – Reglas generales y reglas para edificación  
EN 1995-1-2 Reglas generales – Proyecto de estructuras expuestas al fuego
- (6) La Norma Europea EN 1995-2 hace referencia a las reglas generales de la Norma Europea EN 1995-1-1. Los apartados de la Norma Europea EN 1995-2 complementan a los apartados de la Norma Europea EN 1995-1.

#### 1.1.2 Objeto y campo de aplicación de la Norma Europea EN 1995-1-1

- (1) La Norma Europea EN 1995-1-1 establece las reglas generales de proyecto para las estructuras de madera junto con reglas específicas para los edificios.
- (2) Los temas siguientes se tratan en la Norma Europea EN 1995-1-1:  
Capítulo 1: Generalidades  
Capítulo 2: Bases de proyecto  
Capítulo 3: Propiedades de los materiales  
Capítulo 4: Durabilidad  
Capítulo 5: Bases para el análisis estructural  
Capítulo 6: Estados límite últimos  
Capítulo 7: Estados límite de servicio  
Capítulo 8: Uniones con medios de fijación metálicos  
Capítulo 9: Componentes y sistemas  
Capítulo 10: Detalles constructivos y control
- (3)P La Norma Europea EN 1995-1-1 no cubre el proyecto de estructuras sometidas a la exposición prolongada a temperaturas superiores a los 60 °C.

## 1.2 Normas para consulta

(1) Esta norma europea incorpora disposiciones de otras publicaciones por su referencia, con o sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares apropiados del texto de la norma y se relacionan a continuación. Para las referencias con fecha, no son aplicables las revisiones o modificaciones posteriores de ninguna de las publicaciones. Para las referencias sin fecha, se aplica la edición en vigor del documento normativo al que se haga referencia (incluyendo sus modificaciones).

Normas ISO:

ISO 2081:1986 – *Recubrimientos metálicos. Revestimientos electrolíticos de cinc sobre hierro o acero.*

ISO 2631-2:1989 – *Evaluación de la exposición humana a la vibración corporal completa. Parte 2: Vibraciones continuas e inducidas por los choques en los edificios (1 Hz a 8 Hz).*

Normas Europeas:

EN 300:1997 – *Tableros de virutas orientadas (OSB). Definiciones, clasificación y especificaciones.*

EN 301:1992 – *Adhesivos para estructuras de madera bajo carga. Adhesivos de policondensación de tipos fenólicos y aminoplásticos. Clasificación y especificaciones de comportamiento.*

EN 312-4:1996 – *Tableros de partículas. Especificaciones. Parte 4: Especificaciones de los tableros estructurales para uso en ambiente seco.*

EN 312-5:1997 – *Tableros de partículas. Especificaciones. Parte 5: Especificaciones de los tableros estructurales para uso en ambiente húmedo.*

EN 312-6:1996 – *Tableros de partículas. Especificaciones. Parte 6: Especificaciones de los tableros estructurales de alta prestación para uso en ambiente seco.*

EN 312-7:1997 – *Tableros de partículas. Especificaciones. Parte 7: Especificaciones de los tableros estructurales de alta prestación para uso en ambiente húmedo.*

EN 335-1:1992 – *Durabilidad de la madera y de sus materiales derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 1: Generalidades.*

EN 335-2:1992 – *Durabilidad de la madera y de sus productos derivados. Definición de las clases de riesgo de ataque biológico. Parte 2: Aplicación a madera maciza.*

EN 335-3:1995 – *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.*

EN 350-2:1994 – *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 de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.*

EN 351-1:1995 – *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.*

EN 383:1993 – *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de la resistencia al aplastamiento y del módulo de aplastamiento para los elementos de fijación tipo clavija.*

EN 385:2001 – *Empalmes por unión dentada en madera estructural. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación.*

EN 387:2001 – *Madera laminada encolada. Empalmes mediante uniones dentadas de grandes dimensiones. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación.*

EN 409:1993 – *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación del momento plástico de los elementos de fijación de tipo clavija. Clavos.*

EN 460:1994 – *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.*

EN 594:1995 – *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.*

EN 622-2:1997 – *Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 2: Especificaciones para los tableros de fibras duros.*

EN 622-3:1997 – *Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 3: Especificaciones para los tableros de fibras semiduros.*

EN 622-4:1997 – *Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 4: Especificaciones para los tableros de fibras blandos.*

EN 622-5:1997 – *Tableros de fibras. Especificaciones. Parte 5: Especificaciones para los tableros de fibras fabricados por proceso seco (MDF).*

EN 636-1:1996 – *Tableros contrachapados. Especificaciones. Parte 1: Especificaciones del tablero contrachapado para uso en ambiente seco.*

EN 636-2:1996 – *Tableros contrachapados. especificaciones. Parte 2: Especificaciones del tablero contrachapado para uso en ambiente húmedo.*

EN 636-3:1996 – *Tableros contrachapados. Especificaciones. Parte 3: Especificaciones del tablero contrachapado para uso en exterior.*

EN 912:1999 – *Conectores para madera. Especificaciones de los conectores para madera.*

EN 1075:1999 – *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Uniones realizadas con conectores metálicos de placa dentada.*

EN 1380:1999 – *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Uniones estructurales clavadas.*

EN 1381:1999 – *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Uniones estructurales grapadas.*

EN 1382:1999 – *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Resistencia al arranque de los elementos de fijación en la madera.*

EN 1383:1999 – *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Resistencia a la incrustación en la madera de la cabeza de los elementos de fijación.*

EN 1990:2002 – *Eurocódigos. Bases de cálculo de estructuras.*

EN 1991-1-1:2002 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-1: Acciones generales. Pesos específicos, pesos propios, y sobrecargas de uso en edificios.*

EN 1991-1-3 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-3: Acciones generales. Cargas de nieve.*

EN 1991-1-4 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-4: Acciones generales. Acciones de viento.*

EN 1991-1-5 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-5: Acciones generales. Acciones térmicas.*

EN 1991-1-6 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-6: Acciones generales. Acciones durante la ejecución.*

EN 1991-1-7 – *Eurocódigo 1: Acciones en estructuras. Parte 1-7: Acciones generales. Acciones accidentales.*

EN 10147:2000 – *Bandas (chapas y bobinas) de acero de construcción galvanizadas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.*

EN 13271:2001 – *Conectores para la madera. Valores característicos de resistencia y del módulo de deslizamiento de uniones con conectores.*

EN 13986 – *Tableros derivados de la madera para utilización en la construcción. Características, evaluación de la conformidad y marcado.*

EN 14080 – *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Requisitos.*

EN 14081-1 – *Estructuras de madera. Clasificación de la madera estructural con sección transversal rectangular. Parte 1: Especificaciones generales.*

EN 14250 – *Estructuras de madera. Requisitos de producto para elementos estructurales prefabricados que utilizan conectores metálicos de placa dentada.*

EN 14279 – *Madera microlaminada (LVL). Especificaciones, definiciones, clasificación y requisitos.*

EN 14358 – *Estructuras de madera. Cálculo de características valor del percentil 5.*

EN 14374 – *Estructuras de madera. Madera microlaminada (LVL). Requisitos.*

EN 14544 – *Estructuras de madera. Clasificación de la madera resistente de sección circular. Requisitos.*

EN 14545 – *Estructuras de madera. Conectores. Requisitos.*

EN 14592 – *Estructuras de madera. Elementos de fijación. Requisitos.*

EN 26891:1991 – *Estructuras de madera. Uniones realizadas con elementos de fijación mecánicos. Principios generales para la determinación de las características de resistencia y deslizamiento.*

EN 28970:1991 – *Estructuras de madera. Ensayo de uniones realizadas con elementos de fijación mecánicos. Requisitos para la densidad de la madera. (ISO 8970:1989)*

NOTA – Mientras las Normas EN 14250, EN 14081-1, EN 14080, EN 13986, EN 14374, EN 14358, EN 14544, EN 14545 y EN 14592 no estén disponibles como normas europeas, se puede facilitar más información en el anexo nacional.

### **1.3 Consideraciones**

(1)P Se aplican las consideraciones generales de la Norma Europea EN 1990:2002.

(2) En el capítulo 10 se indican requisitos adicionales para los detalles constructivos y el control.

### **1.4 Distinción entre Principios y Reglas de Aplicación**

(1)P Se aplican las reglas del apartado 1.4 de la Norma Europea EN 1990:2002.

## 1.5 Términos y definiciones

### 1.5.1 Generalidades

(1)P Se aplican los términos y definiciones del apartado 1.5 de la Norma Europea EN 1990:2002.

### 1.5.2 Términos y definiciones adicionales utilizados en esta norma europea

**1.5.2.1 valor característico:** Véase el apartado 1.5.4.1 de la Norma Europea EN 1990:2002.

**1.5.2.2 conexión de tipo clavija:** Conexión mediante una barra de sección circular, normalmente de acero, con o sin cabeza, fijada de manera ajustada en agujeros pretaladrados y utilizada para transmitir cargas perpendiculares al eje de la clavija.

**1.5.2.3 humedad de equilibrio higroscópico:** Contenido de humedad de la madera con el que la madera no capta ni cede humedad al aire del ambiente.

**1.5.2.4 punto de saturación de la fibra:** Contenido de humedad para el cual las fibras de la madera se encuentran completamente saturadas.

**1.5.2.5 LVL:** Madera microlaminada, definida de acuerdo con las Normas Europeas EN 14279 y EN 14374.

**1.5.2.6 losa de madera laminada:** Placa construida con láminas de madera maciza empalmadas en paralelo conectadas entre si con clavos o tirafondos o mediante pretensado o encolado.

**1.5.2.7 contenido de humedad:** Masa de agua contenida en la madera expresada como porcentaje de su peso seco.

**1.5.2.8 descuadre:** Efecto causado por acciones horizontales en el plano de un muro.

**1.5.2.9 propiedad de rigidez:** Propiedad utilizada en el cálculo de las deformaciones de la estructura, tal como el módulo de elasticidad, el módulo de cortante o el módulo de deslizamiento.

**1.5.2.10 módulo de deslizamiento:** Propiedad utilizada en el cálculo de las deformaciones entre dos piezas de una estructura.

## 1.6 Símbolos utilizados en la Norma Europea EN 1995-1-1

Para los fines de la Norma Europea EN 1995-1-1, se aplican los símbolos siguientes.

### *Letras latinas mayúsculas*

$A$	Área de la sección transversal
$A_{ef}$	Área eficaz de la superficie total de contacto entre una placa metálica dentada y la madera
$A_f$	Área de la sección transversal del ala
$A_{net,t}$	Área neta de la sección transversal perpendicular a la fibra
$A_{net,v}$	Área neta a cortante paralela a la fibra
$C$	Coefficiente del muelle
$E_{0,05}$	Valor del quinto percentil del módulo de elasticidad
$E_d$	Valor de cálculo del módulo de elasticidad
$E_{mean}$	Valor medio del módulo de elasticidad
$E_{mean,fin}$	Valor medio final del módulo de elasticidad

$F$	Fuerza
$F_{A,Ed}$	Valor de cálculo de la fuerza que actúa sobre una placa metálica dentada situada en el centroide del área eficaz
$F_{A,min,d}$	Valor de cálculo de la fuerza mínima que actúa en una placa metálica dentada situada en el centroide del área eficaz
$F_{ax,Ed}$	Valor de cálculo de la fuerza axial en el medio de fijación
$F_{ax,Rd}$	Valor de cálculo de la capacidad de carga a la extracción del medio de fijación
$F_{ax,Rk}$	Valor característico de la capacidad de carga al arranque del medio de fijación
$F_c$	Fuerza de compresión
$F_d$	Valor de cálculo de la fuerza
$F_{d,ser}$	Valor de cálculo de la fuerza en el estado límite de servicio
$F_{f,Rd}$	Valor de cálculo de la capacidad de carga por medio de fijación en un muro diafragma
$F_{i,c,Ed}$	Valor de cálculo de la fuerza de reacción de compresión en el extremo de un muro diafragma a cortante
$F_{i,t,Ed}$	Valor de cálculo de la fuerza de reacción de tracción en el extremo de un muro diafragma a cortante
$F_{i,vert,Ed}$	Carga vertical en un muro
$F_{i,v,Rd}$	Valor de cálculo de la resistencia al descuadre del panel $i$ (en el apartado 9.2.4.2) o muro $i$ (en el apartado 9.2.4.3)
$F_{la}$	Carga lateral
$F_{M,Ed}$	Valor de cálculo de la fuerza debida a un momento de cálculo
$F_t$	Fuerza de tracción
$F_{v,0,Rk}$	Valor característico de la capacidad de carga de un conector a lo largo de la fibra
$F_{v,Ed}$	Valor de cálculo del esfuerzo cortante por plano y por medio de fijación; Efecto horizontal de cálculo en un muro diafragma
$F_{v,Rd}$	Valor de cálculo del esfuerzo cortante por plano y por medio de fijación; Efecto horizontal de cálculo en un muro diafragma; Valor de cálculo de la capacidad de carga al descuadre
$F_{v,Rk}$	Valor característico de la capacidad de carga por plano de cortadura y por medio de fijación
$F_{v,w,Ed}$	Valor de cálculo del esfuerzo cortante actuando en el alma
$F_{x,Ed}$	Valor de cálculo de una fuerza en la dirección $x$
$F_{y,Ed}$	Valor de cálculo de una fuerza en la dirección $y$
$F_{x,Rd}$	Valor de cálculo de la capacidad de carga de una placa en la dirección $x$
$F_{y,Rd}$	Valor de cálculo de la capacidad de carga de una placa en la dirección $y$
$F_{x,Rk}$	Valor característico de la capacidad de carga de una placa en la dirección $x$
$F_{y,Rk}$	Valor característico de la capacidad de carga de una placa en la dirección $y$
$G_{0,05}$	Valor del quinto percentil del módulo de cortante
$G_d$	Valor de cálculo del módulo de cortante
$G_{mean}$	Valor medio del módulo de cortante
$H$	Altura total de una cercha
$I_f$	Momento de inercia del ala

$I_{\text{tor}}$	Módulo de torsión
$I_z$	Momento de inercia respecto al eje débil
$K_{\text{ser}}$	Módulo de deslizamiento
$K_{\text{ser,fin}}$	Módulo de deslizamiento final
$K_u$	Módulo de deslizamiento instantáneo para los estados límite últimos
$L_{\text{net,t}}$	Anchura neta de la sección transversal perpendicular a la fibra
$L_{\text{net,v}}$	Longitud neta del área de rotura en cortante
$M_{\text{A,Ed}}$	Valor de cálculo del momento que actúa sobre una placa metálica dentada
$M_{\text{ap,d}}$	Valor de cálculo del momento en la zona del vértice
$M_d$	Valor de cálculo del momento
$M_{y,Rk}$	Valor característico del momento plástico del medio de fijación
$N$	Axil
$R_{90,d}$	Valor de cálculo de la capacidad de carga frente a la hienda
$R_{90,k}$	Valor característico de la capacidad de carga frente a la hienda
$R_{\text{ax,d}}$	Valor de cálculo de la capacidad de carga de una conexión cargada axialmente
$R_{\text{ax,k}}$	Valor característico de la capacidad de carga de una conexión cargada axialmente
$R_{\text{ax},\alpha,k}$	Valor característico de la capacidad de carga con un ángulo respecto a la fibra
$R_d$	Valor de cálculo de la capacidad de carga
$R_{\text{ef,k}}$	Valor característico de la capacidad de carga eficaz de una conexión
$R_{\text{iv,d}}$	Valor de cálculo de la capacidad de carga al descuadre de un muro
$R_k$	Valor característico de la capacidad de carga
$R_{\text{sp,k}}$	Valor característico de la capacidad de carga frente a la hienda
$R_{\text{to,k}}$	Valor característico de la capacidad de carga de un conector dentado
$R_{v,d}$	Valor de cálculo de la capacidad de carga al descuadre de un muro diafragma
$V$	Esfuerzo cortante; Volumen
$V_u, V_l$	Esfuerzos cortantes en la parte superior e inferior de una viga con un agujero
$W_y$	Módulo resistente respecto al eje y
$X_d$	Valor de cálculo de una propiedad resistente
$X_k$	Valor característico de una propiedad resistente

*Letras latinas minúsculas*

$a$	Distancia
$a_1$	Separación, paralela a la fibra, entre medios de fijación dentro de una fila
$a_2$	Separación, perpendicular a la fibra, entre filas de medios de fijación
$a_{3,c}$	Distancia entre el medio de fijación y la testa no cargada

$a_{3,t}$	Distancia entre el medio de fijación y la testa cargada
$a_{4,c}$	Distancia entre el medio de fijación y el borde no cargado
$a_{4,t}$	Distancia entre el medio de fijación y el borde cargado
$a_{bow}$	Combadura máxima de una pieza de una cercha
$a_{bow,perm}$	Combadura máxima permitida de una pieza de una cercha
$a_{dev}$	Desviación máxima de una cercha
$a_{dev,perm}$	Desviación máxima permitida de una cercha
$b$	Anchura
$b_i$	Anchura del panel $i$ (en el apartado 9.2.4.2) o del muro $i$ (en el apartado 9.2.4.3)
$b_{net}$	Distancia libre entre montantes
$b_w$	Anchura del alma
$d$	Diámetro
$d_1$	Diámetro del agujero central de un conector
$d_c$	Diámetro de un conector
$d_{ef}$	Diámetro eficaz
$f_{h,i,k}$	Valor característico de la resistencia al aplastamiento de una pieza de madera $i$
$f_{a,0,0}$	Valor característico de la capacidad de carga de anclaje por unidad de superficie para $\alpha = 0^\circ$ y $\beta = 0^\circ$
$f_{a,90,90}$	Valor característico de la capacidad de carga de anclaje por unidad de superficie para $\alpha = 90^\circ$ y $\beta = 90^\circ$
$f_{a,\alpha,\beta,k}$	Valor característico de la resistencia al anclaje
$f_{ax,k}$	Valor característico del parámetro de arranque para los clavos
$f_{c,0,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a compresión paralela a la fibra
$f_{c,w,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a compresión del alma
$f_{f,c,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a compresión del ala
$f_{c,90,k}$	Valor característico de la resistencia a compresión perpendicular a la fibra
$f_{f,t,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a tracción del ala
$f_{h,k}$	Valor característico de la resistencia al aplastamiento
$f_{head,k}$	Valor característico del parámetro de incrustación de la cabeza para clavos
$f_1$	Frecuencia fundamental
$f_{m,k}$	Valor característico de la resistencia a flexión
$f_{m,y,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a flexión respecto al eje principal y
$f_{m,z,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a flexión respecto al eje principal z
$f_{m,\alpha,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a flexión con un ángulo $\alpha$ respecto a la fibra
$f_{t,0,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a tracción paralela a la fibra
$f_{t,0,k}$	Valor característico de la resistencia a tracción paralela a la fibra
$f_{t,90,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a tracción perpendicular a la fibra

$f_{t,w,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a tracción del alma
$f_{u,k}$	Valor característico de la resistencia a tracción de los pernos
$f_{v,0,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a cortante por cizalladura del tablero
$f_{v,ax,\alpha,k}$	Valor característico de la resistencia al arranque con un ángulo respecto a la fibra
$f_{v,ax,90,k}$	Valor característico de la resistencia al arranque en dirección perpendicular a la fibra
$f_{v,d}$	Valor de cálculo de la resistencia a cortante
$h$	Canto (o altura de la sección); Altura de un muro
$h_{ap}$	Canto (o altura de la sección) en la sección del vértice
$h_d$	Profundidad de un agujero
$h_e$	Profundidad de aplastamiento
$h_e$	Distancia al borde cargado
$h_{ef}$	Canto eficaz
$h_{f,c}$	Canto del ala comprimida
$h_{f,t}$	Canto del ala traccionada
$h_{rl}$	Distancia desde el borde inferior del agujero hasta el borde inferior de la pieza
$h_{ru}$	Distancia desde el borde superior del agujero hasta el borde superior de la pieza
$h_w$	Canto del alma
$i$	Inclinación de la entalladura
$k_{c,y}$ o $k_{c,z}$	Factor de inestabilidad
$k_{crit}$	Factor empleado en el vuelco lateral
$k_d$	Factor de tamaño del panel
$k_{def}$	Factor de deformación (o de fluencia)
$k_{dis}$	Factor que tiene en cuenta el efecto de la distribución de las tensiones en la zona del vértice
$k_{f,1}, k_{f,2}, k_{f,3}$	Factores de modificación de la resistencia del arriostramiento
$k_h$	Factor de altura
$k_{i,q}$	Factor de carga uniformemente distribuida
$k_m$	Factor que considera la redistribución de las tensiones de flexión en una sección transversal
$k_{mod}$	Factor de modificación para la duración de la carga y el contenido de humedad
$k_n$	Factor del material de cerramiento y arriostramiento
$k_r$	Factor de reducción
$k_{R,red}$	Factor de reducción para la capacidad de carga
$k_s$	Factor de separación entre medios de fijación; Factor de modificación para el coeficiente de muelle
$k_{s,red}$	Factor de reducción por la separación
$k_{shape}$	Factor que depende de la forma de la sección transversal
$k_{sys}$	Factor de carga compartida

$k_v$	Factor de reducción para vigas con entalladura
$k_{vol}$	Factor de volumen
$k_y$ o $k_z$	Factor de inestabilidad
$\ell_{a,min}$	Longitud mínima de anclaje para barras encoladas
$\ell$	Luz; longitud de contacto
$\ell_A$	Distancia desde un agujero hasta el apoyo
$\ell_{ef}$	Longitud eficaz; Longitud eficaz de distribución
$\ell_V$	Distancia desde un agujero hasta la testa de una pieza
$\ell_Z$	Separación entre agujeros
$m$	Masa por unidad de área
$n_{40}$	Número de frecuencias naturales por debajo de 40 Hz
$n_{ef}$	Número eficaz de medios de fijación
$p_d$	Carga distribuida
$q_i$	Carga equivalente uniformemente distribuida
$r$	Radio de curvatura
$s$	Separación
$s_0$	Separación básica entre medios de fijación
$r_{in}$	Radio interior
$t$	Espesor
$t_{pen}$	Profundidad de penetración
$u_{creep}$	Deformación por fluencia
$u_{fin}$	Deformación final
$u_{fin,G}$	Deformación final para una acción permanente $G$
$u_{fin,Q,1}$	Deformación final para la acción variable dominante $Q_1$
$u_{fin,Q,i}$	Deformación final para las acciones variables acompañantes $Q_i$
$u_{inst}$	Deformación instantánea
$u_{inst,G}$	Deformación instantánea para una acción permanente $G$
$u_{inst,Q,1}$	Deformación instantánea para la acción variable dominante $Q_1$
$u_{inst,Q,i}$	Deformación instantánea para las acciones variables acompañantes $Q_i$
$w_c$	Contraflecha
$w_{creep}$	Deformación por fluencia
$w_{fin}$	Deformación final
$w_{inst}$	Deformación instantánea
$w_{net,fin}$	Deformación neta final
$v$	Respuesta de la velocidad frente a un impulso unitario

*Letras griegas minúsculas*

$\alpha$	Ángulo entre la dirección x y la fuerza para una placa metálica dentada; Ángulo entre la dirección de la fuerza y la dirección de la fibra; Ángulo entre la dirección de la carga y el borde cargado (o la testa)
$\beta$	Ángulo entre la dirección de la fibra y la fuerza para una placa metálica dentada
$\beta_c$	Factor de rectitud
$\gamma$	Ángulo entre la dirección x y la línea de conexión para una placa metálica dentada
$\chi_M$	Coeficiente parcial para las propiedades del material, teniendo en cuenta también las incertidumbres del modelo y las variaciones dimensionales
$\lambda_y$	Esbeltez mecánica correspondiente a la flexión respecto al eje y
$\lambda_z$	Esbeltez mecánica correspondiente a la flexión respecto al eje z
$\lambda_{rel,y}$	Esbeltez relativa correspondiente a la flexión respecto al eje y
$\lambda_{rel,z}$	Esbeltez relativa correspondiente a la flexión respecto al eje z
$\rho_k$	Densidad característica
$\rho_m$	Densidad media
$\sigma_{c,0,d}$	Valor de cálculo de la tensión de compresión paralela a la fibra
$\sigma_{c,\alpha,d}$	Valor de cálculo de la tensión de compresión con un ángulo $\alpha$ respecto a la dirección de la fibra
$\sigma_{f,c,d}$	Valor de cálculo medio de la tensión de compresión en el ala
$\sigma_{f,c,máx.,d}$	Valor de cálculo de la tensión de compresión en las fibras extremas del ala
$\sigma_{f,t,d}$	Valor de cálculo medio de la tensión de tracción en el ala
$\sigma_{f,t,máx.,d}$	Valor de cálculo de la tensión de tracción en las fibras extremas del ala
$\sigma_{m,crit}$	Tensión crítica de flexión
$\sigma_{m,y,d}$	Valor de cálculo de la tensión de flexión respecto al eje principal y
$\sigma_{m,z,d}$	Valor de cálculo de la tensión de flexión respecto al eje principal z
$\sigma_{m,\alpha,d}$	Valor de cálculo de la tensión de flexión con un ángulo $\alpha$ respecto a la fibra
$\sigma_N$	Tensión normal
$\sigma_{t,0,d}$	Valor de cálculo de la tensión de tracción paralela a la fibra
$\sigma_{t,90,d}$	Valor de cálculo de la tensión de tracción perpendicular a la fibra
$\sigma_{w,c,d}$	Valor de cálculo de la tensión de compresión en el alma
$\sigma_{w,t,d}$	Valor de cálculo de la tensión de tracción en el alma
$\tau_d$	Valor de cálculo de la tensión de cortante
$\tau_{F,d}$	Valor de cálculo de la tensión de anclaje debida a una fuerza axial
$\tau_{M,d}$	Valor de cálculo de la tensión de anclaje debida a un momento
$\tau_{tor,d}$	Valor de cálculo de la tensión tangencial debida a la torsión
$\psi_0$	Factor del valor de combinación para una acción variable
$\psi_2$	Factor del valor casi permanente de una acción variable
$\zeta$	Coeficiente de amortiguamiento modal

## **CAPÍTULO 2 – BASES DE PROYECTO**

### **2.1 Requisitos**

#### **2.1.1 Requisitos básicos**

- (1)P El proyecto de las estructuras de madera debe hacerse de acuerdo con la Norma Europea EN 1990:2002.
- (2)P También se deben aplicar las reglas suplementarias para las estructuras de madera incluidas en este capítulo.
- (3) Los requisitos básicos del capítulo 2 de la Norma Europea EN 1990:2002 se consideran satisfechos en las estructuras de madera cuando se aplique el diseño de estados límite, conjuntamente con el método de los coeficientes parciales, empleando las Normas Europeas EN 1990:2002 y EN 1991 para las acciones y sus combinaciones, y la Norma Europea EN 1995 para las resistencias, reglas para la utilización y durabilidad.

#### **2.1.2 Fiabilidad estructural**

- (1) Cuando se requieran diferentes niveles de seguridad, estos niveles deberían alcanzarse preferiblemente mediante la elección adecuada de una gestión de la calidad en el proyecto y en la ejecución, de acuerdo con el anexo C de la Norma Europea EN 1990:2002.

#### **2.1.3 Vida útil y durabilidad**

- (1) Se aplica el apartado 2.3 de la Norma Europea EN 1990:2002.

### **2.2 Principios de los estados límite de cálculo**

#### **2.2.1 Generalidades**

- (1)P Los modelos de cálculo para los diferentes estados límite deben, según corresponda, tener en cuenta lo siguiente:
- las diferentes propiedades del material (por ejemplo, resistencia y rigidez);
  - el diferente comportamiento dependiente del tiempo de los materiales (duración de la carga, fluencia);
  - las diferentes condiciones climáticas (temperatura, variaciones de la humedad);
  - las diferentes situaciones de cálculo (fases de la construcción, cambios en las condiciones de apoyo).

#### **2.2.2 Estados límite últimos**

- (1)P El análisis de las estructuras debe llevarse a cabo utilizando los valores siguientes para las propiedades de rigidez:
- Para un análisis elástico lineal de primer orden de la estructura, cuya distribución de esfuerzos no se vea afectada por la distribución de la rigidez dentro de la estructura (por ejemplo, todas las piezas tienen las mismas propiedades dependientes del tiempo), se deben utilizar valores medios.
  - Para un análisis elástico lineal de primer orden de la estructura, cuya distribución de esfuerzos quede afectada por la distribución de la rigidez dentro de la estructura (por ejemplo, piezas compuestas que contengan materiales con diferentes propiedades dependientes del tiempo), deben utilizarse los valores medios finales ajustados a la componente de la carga que provoque la mayor tensión en relación a la resistencia.
  - Para un análisis elástico lineal de segundo orden de la estructura, deben utilizarse los valores de cálculo sin ajustar a la duración de la carga.

NOTA 1 – Para los valores medios finales ajustados a la duración de la carga, véase el párrafo (2) del apartado 2.3.2.2.

NOTA 2 – Para los valores de cálculo de las propiedades de rigidez, véase el párrafo (2)P del apartado 2.4.1.

(2) El módulo de deslizamiento de una unión en el estado límite último,  $K_u$ , debería tomarse como:

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} \quad (2.1)$$

donde  $K_{ser}$  es el módulo de deslizamiento, véase el párrafo (3) del apartado 2.2.3.

### 2.2.3 Estados límite de servicio

(1)P La deformación de la estructura como consecuencia de los efectos de las acciones (tales como los esfuerzos axiales y cortantes, momentos flectores y deslizamiento de las uniones) así como la debida a la humedad, deben mantenerse dentro de unos límites adecuados, teniendo en cuenta la posibilidad de daños en los materiales de revestimiento, falsos techos, pavimentos, tabiquería y acabados, y las necesidades funcionales así como los requisitos de apariencia.

(2) La deformación instantánea,  $u_{inst}$  (véase la figura 7.1) debería calcularse para la combinación característica de las acciones, véase el punto a) del párrafo (2) del apartado 6.5.3 de la Norma Europea EN 1990, utilizando los valores medios de los módulos de elasticidad, módulos de cortante y módulos de deslizamiento correspondientes.

(3) La deformación final,  $u_{fin}$  (véase la figura 7.1) debería calcularse para la combinación casi permanente de las acciones, véase el punto c) del párrafo (2) del apartado 6.5.3 de la Norma Europea EN 1990.

(4) Si la estructura está constituida por piezas o componentes que tienen diferentes comportamientos frente a la fluencia, la deformación final debería calcularse utilizando los valores medios finales de los módulos de elasticidad, módulos de cortante y módulos de deslizamiento correspondientes, de acuerdo con el párrafo (1) del apartado 2.3.2.2.

(5) En estructuras que consisten en piezas, componentes y uniones con el mismo comportamiento frente a la fluencia, y bajo la hipótesis de una relación lineal entre las acciones y las deformaciones correspondientes, como una simplificación del párrafo (3) del apartado 2.2.3, la deformación final,  $u_{fin}$ , puede tomarse como:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + u_{fin,Q_i} \quad (2.2)$$

donde

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad \text{para la acción permanente, } G \quad (2.3)$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \psi_{2,1} k_{def}) \quad \text{para la acción variable predominante, } Q_1 \quad (2.4)$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} k_{def}) \quad \text{para las acciones variables acompañantes, } Q_i \text{ (} i > 1 \text{)} \quad (2.5)$$

$u_{inst,G}$ ,  $u_{inst,Q,1}$ ,  $u_{inst,Q,i}$  son las deformaciones instantáneas para las acciones  $G$ ,  $Q_1$ ,  $Q_i$  respectivamente;

$\psi_{2,1}$ ,  $\psi_{2,i}$  son los factores para el valor casi permanente de las acciones variables;

$\psi_{0,i}$  son los factores para los valores de combinación de las acciones variables;

$k_{def}$  viene dado en la tabla 3.2 para la madera y los materiales derivados de la madera, y en los párrafos (3) y (4) del apartado 2.3.2.2 para las uniones.

Cuando se empleen las expresiones (2.3) a (2.5), los factores  $\psi_2$  deberían omitirse en las expresiones (6.16a) y (6.16b) de la Norma Europea EN 1990:2002.

NOTA — En la mayoría de los casos, la aplicación del método simplificado es válida.

(6) En lo que respecta a las vibraciones dentro de los estados límite de servicio, deberían utilizarse los valores medios de las rigideces correspondientes.

## 2.3 Variables básicas

### 2.3.1 Acciones e influencia del ambiente

#### 2.3.1.1 Generalidades

(1) Las acciones a utilizar en el cálculo pueden obtenerse de las partes pertinentes de la Norma Europea EN 1991.

NOTA 1 – Las partes aplicables de la Norma Europea EN 1991 para utilizar en el cálculo incluyen:

EN 1991-1-1	Pesos específicos, peso propio y sobrecargas
EN 1991-1-3	Cargas de nieve
EN 1991-1-4	Acciones del viento
EN 1991-1-5	Acciones térmicas
EN 1991-1-6	Acciones durante la ejecución
EN 1991-1-7	Acciones accidentales

(2)P La duración de la carga y el contenido de humedad afectan a las propiedades de resistencia y rigidez de las piezas de madera y de los productos derivados de la madera, y deben tenerse en cuenta para la resistencia mecánica y la aptitud de servicio.

(3)P Deben tenerse en cuenta las acciones debidas a los cambios del contenido de humedad de la madera.

#### 2.3.1.2 Clases de duración de la carga

(1)P Las clases de duración de la carga se caracterizan por el efecto de una carga constante que actúa durante un determinado periodo de tiempo de la vida de la estructura. Para las acciones variables, la clase adecuada se debe determinar basándose en una estimación de la variación típica de la carga a lo largo del tiempo.

(2)P La clase de duración de la carga se debe asignar a las acciones según se indica en la tabla 2.1 a los efectos de cálculo de resistencia y rigidez.

**Tabla 2.1**  
**Clases de duración de la carga**

Clase de duración de la carga	Orden de duración acumulada de la carga característica
Permanente	más de 10 años
Larga	6 meses – 10 años
Media	1 semana – 6 meses
Corta	menos de una semana
Instantánea	

NOTA – En la tabla 2.2 se incluyen ejemplos de asignación de duraciones de la carga. Debido a que las cargas climáticas (nieve, viento) varían según los países, la asignación de la clase de duración de la carga puede especificarse en el anexo nacional.

**Tabla 2.2**  
**Ejemplos de asignación de duración de la carga**

Clase de duración de la carga	Ejemplos de carga
Permanente	peso propio
Larga	almacenamiento
Media	sobrecarga de uso, nieve
Corta	nieve, viento
Instantánea	viento, acciones accidentales

### 2.3.1.3 Clases de servicio

(1)P Las estructuras deben asignarse a una de las clases de servicio definidas a continuación:

NOTA 1 – El objeto principal del sistema de clases de servicio es la asignación de los valores de resistencia y el cálculo de las deformaciones bajo condiciones ambientales determinadas.

NOTA 2 – En el anexo nacional puede proporcionarse información sobre la asignación de las estructuras a las clases de servicio definidas en los párrafos (2)P, (3)P y (4)P.

(2)P La clase de servicio 1 se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del aire que sólo supere el 65% durante unas pocas semanas al año.

NOTA – En la clase de servicio 1 el contenido de humedad medio en la mayoría de las coníferas no excede el 12%.

(3)P La clase de servicio 2 se caracteriza por un contenido de humedad en los materiales correspondiente a una temperatura de 20 °C y una humedad relativa del aire que sólo supere el 85% durante unas pocas semanas al año.

NOTA – En la clase de servicio 2 el contenido de humedad medio en la mayoría de las coníferas no excede el 20%.

(4)P La clase de servicio 3 se caracteriza por unas condiciones climáticas que conduzcan a contenidos de humedad mayores que en la clase de servicio 2.

### 2.3.2 Propiedades de los materiales y productos

#### 2.3.2.1 Influencia de la duración de la carga y del contenido de humedad en la resistencia

(1) En el apartado 3.1.3 se dan los factores de modificación debidos a la influencia de la duración de la carga y el contenido de humedad en la resistencia, véase el apartado 2.4.1.

(2) Cuando una unión está formada por dos elementos de madera que tienen diferentes comportamientos dependientes del tiempo, el cálculo de la capacidad de carga en valor de cálculo debería hacerse utilizando el siguiente factor de modificación  $k_{\text{mod}}$ :

$$k_{\text{mod}} = \sqrt{k_{\text{mod},1} k_{\text{mod},2}} \quad (2.6)$$

donde

$k_{\text{mod},1}$  y  $k_{\text{mod},2}$  son los factores de modificación de los dos elementos de madera.

### 2.3.2.2 Influencia de la duración de la carga y del contenido de humedad en las deformaciones

(1) En los estados límite de servicio, si la estructura está formada por piezas o componentes que tienen diferentes propiedades dependientes del tiempo, el valor medio final del módulo de elasticidad,  $E_{\text{mean,fin}}$ , el módulo de cortante  $G_{\text{mean,fin}}$ , y el módulo de deslizamiento,  $K_{\text{ser,fin}}$ , que se utilizan para calcular la deformación final, deberían tomarse de las expresiones siguientes:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (2.7)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (2.8)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + k_{\text{def}})} \quad (2.9)$$

(2) En los estados límite últimos, en los que la distribución de las fuerzas y momentos esté afectada por la distribución de la rigidez en la estructura, el valor medio final del módulo de elasticidad,  $E_{\text{mean,fin}}$ , el módulo de cortante  $G_{\text{mean,fin}}$ , y el módulo de deslizamiento,  $K_{\text{ser,fin}}$ , deberían calcularse a partir de las siguientes expresiones:

$$E_{\text{mean,fin}} = \frac{E_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad (2.10)$$

$$G_{\text{mean,fin}} = \frac{G_{\text{mean}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad (2.11)$$

$$K_{\text{ser,fin}} = \frac{K_{\text{ser}}}{(1 + \psi_2 k_{\text{def}})} \quad (2.12)$$

donde

$E_{\text{mean}}$  es el valor medio del módulo de elasticidad;

$G_{\text{mean}}$  es el valor medio del módulo de cortante;

$K_{\text{ser}}$  es el módulo de deslizamiento;

$k_{\text{def}}$  es un factor para la evaluación de la deformación por fluencia teniendo en cuenta la clase de servicio correspondiente;

$\psi_2$  es el factor para el valor casi permanente de la acción que produzca la tensión mayor en relación a la resistencia (si esta acción es permanente,  $\psi_2$  debería sustituirse por 1).

NOTA 1 – Los valores de  $k_{\text{def}}$  se dan en el apartado 3.1.4.

NOTA 2 – Los valores de  $\psi_2$  se dan en la Norma Europea EN 1990:2002.

(3) Cuando una unión está formada por piezas de madera con el mismo comportamiento dependiente del tiempo, el valor  $k_{\text{def}}$  debería duplicarse.

(4) Cuando una unión está formada por dos elementos derivados de la madera con diferentes comportamientos dependientes del tiempo, el cálculo de la deformación final debería hacerse con el siguiente factor de deformación  $k_{\text{def}}$ :

$$k_{\text{def}} = 2 \sqrt{k_{\text{def},1} k_{\text{def},2}} \quad (2.13)$$

donde

$k_{\text{def},1}$  y  $k_{\text{def},2}$  son los factores de deformación para los dos elementos de madera.

## 2.4 Comprobación mediante el método del coeficiente parcial

### 2.4.1 Valor de cálculo de una propiedad del material

(1)P El valor de cálculo  $X_d$  de una propiedad resistente debe calcularse según la expresión siguiente:

$$X_d = k_{\text{mod}} \frac{X_k}{\gamma_M} \quad (2.14)$$

donde

$X_k$  es el valor característico de la propiedad resistente;

$\gamma_M$  es el coeficiente parcial para la propiedad del material;

$k_{\text{mod}}$  es un factor de modificación que tiene en cuenta el efecto de la duración de la carga y del contenido de humedad.

NOTA 1 – Los valores de  $k_{\text{mod}}$  se dan en el apartado 3.1.3.

NOTA 2 – Los valores recomendados para los coeficientes parciales para las propiedades del material ( $\gamma_M$ ) se muestran en la tabla 2.3. En el anexo nacional puede encontrarse información sobre la opción nacional.

**Tabla 2.3**  
**Coefficientes parciales recomendados  $\gamma_M$  para las propiedades del material y las resistencias**

Combinaciones fundamentales:	
Madera maciza	1,3
Madera laminada encolada	1,25
LVL, tablero contrachapado, OSB,	1,2
Tablero de partículas	1,3
Tablero de fibras, duro	1,3
Tablero de fibras, medio	1,3
Tablero de fibras, MDF	1,3
Tablero de fibras, blando	1,3
Uniones	1,3
Herrajes de placas dentadas	1,25
Combinaciones accidentales	1,0

(2)P Los valores de cálculo de la propiedad de rigidez de un elemento,  $E_d$  o  $G_d$ , deben calcularse según las expresiones siguientes:

$$E_d = \frac{E_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (2.15)$$

$$G_d = \frac{G_{\text{mean}}}{\gamma_M} \quad (2.16)$$

donde

$E_{\text{mean}}$  es el valor medio del módulo de elasticidad;

$G_{\text{mean}}$  es el valor medio del módulo de cortante.

#### 2.4.2 Valor de cálculo de los datos geométricos

(1) Los datos geométricos de las secciones transversales y de los sistemas pueden tomarse como los valores nominales de las normas europeas de producto o de los planos de ejecución.

(2) Los valores de cálculo de las imperfecciones geométricas especificadas en esta norma europea incluyen los efectos siguientes

- imperfecciones geométricas de las piezas;
- los efectos de las imperfecciones estructurales derivadas de la fabricación y del montaje;
- falta de homogeneidad de los materiales (por ejemplo, debido a los nudos).

#### 2.4.3 Resistencias de cálculo

(1)P El valor de cálculo  $R_d$  de una resistencia (capacidad de carga) debe calcularse de acuerdo con la expresión siguiente:

$$R_d = k_{\text{mod}} \frac{R_k}{\gamma_M} \quad (2.17)$$

donde

$R_k$  es el valor característico de la capacidad de carga;

$\gamma_M$  es el coeficiente parcial para la propiedad del material;

$k_{\text{mod}}$  es un factor de modificación que tiene en cuenta el efecto de la duración de la carga y el contenido de humedad.

NOTA 1 – Los valores de  $k_{\text{mod}}$  se dan en el apartado 3.1.3.

NOTA 2 – Para los coeficientes parciales, véase el apartado 2.4.1.

#### 2.4.4 Comprobación del equilibrio (EQU)

(1) El formato de fiabilidad para la comprobación del equilibrio estático dado en la tabla A1.2 (A) del anexo A1 de la Norma Europea EN 1990:2002 se aplica, cuando proceda, al cálculo de las estructuras de madera, por ejemplo, para el cálculo de los anclajes o la verificación de los apoyos sometidos a un esfuerzo de levantamiento en las vigas continuas.

## CAPÍTULO 3 – PROPIEDADES DEL MATERIAL

### 3.1 Generalidades

#### 3.1.1 Parámetros de resistencia y rigidez

(1)P Los parámetros de resistencia y rigidez deben determinarse mediante ensayos para los tipos de efectos de las acciones a las que quedará sometido el material en la estructura, o mediante la comparación con especies de madera y calidades similares o productos derivados de la madera, o mediante relaciones bien establecidas entre las diferentes propiedades.

#### 3.1.2 Relaciones tensión-deformación

(1)P Dado que los valores característicos se determinan bajo el supuesto de una relación lineal entre la tensión y la deformación unitaria hasta la rotura, la verificación de la resistencia de las piezas individuales debe basarse también en esa relación lineal.

(2) En el caso de piezas o partes de una pieza sometidas a compresión, puede utilizarse una relación no lineal (elastoplástica).

#### 3.1.3 Factor de modificación para la clase de servicio y la clase de duración de la carga

(1) Deberían utilizarse los valores del factor de modificación  $k_{\text{mod}}$  definidos en la tabla 3.1.

(2) En el caso de una combinación de acciones formada por acciones que pertenecen a diferentes clases de duración de la carga debería tomarse un valor de  $k_{\text{mod}}$  correspondiente a la acción de más corta duración, por ejemplo, para una combinación de carga permanente y otra carga de corta duración, se debería tomar un valor de  $k_{\text{mod}}$  correspondiente a la clase de duración corta.

#### 3.1.4 Factor de modificación de la deformación para la clase de servicio

(1) Deberían utilizarse los valores del factor de deformación  $k_{\text{def}}$  definidos en la tabla 3.2.

### 3.2 Madera maciza

(1)P Las piezas de madera deben cumplir la Norma Europea EN 14081-1. Las piezas de madera de sección transversal circular deben cumplir con la Norma Europea EN 14544.

NOTA – Las clases resistentes de la madera se indican en la Norma Europea EN 338.

(2) Puede tenerse en cuenta el efecto del tamaño de la pieza en la resistencia.

(3) Para la madera maciza de sección rectangular con una densidad característica  $\rho_k \leq 700 \text{ kg/m}^3$ , el valor de referencia de la altura de la sección en flexión o la anchura (máxima dimensión de la sección transversal) en tracción es 150 mm. Para alturas de la sección en flexión o anchuras en tracción de piezas de madera maciza inferiores a 150 mm, los valores característicos de  $f_{m,k}$  y  $f_{t,0,k}$  pueden incrementarse por el factor  $k_h$ , definido a continuación:

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,3 \right\} \quad (3.1)$$

donde

$h$  es la altura de la sección para las piezas flectadas o la anchura para las piezas traccionadas, en mm.

**Tabla 3.1**  
**Valores de  $k_{mod}$**

Material	Norma	Clase de servicio	Clase de duración de la carga				
			Acción permanente	Acción de larga duración	Acción de media duración	Acción de corta duración	Acción instantánea
Madera maciza	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	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, LVL	EN 14374, 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	EN 636 Parte 1, Parte 2, Parte 3 Parte 2, Parte 3 Parte 3	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 de virutas orientadas, OSB	EN 300 OSB/2 OSB/3, OSB/4 OSB/3, OSB/4	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Tablero de partículas	EN 312 Parte 4, Parte 5 Parte 5 Parte 6, Parte 7 Parte 7	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Tablero de fibras, duro	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 ó 2 HB.HLA1 ó 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Tablero de fibras, medio	EN 622-3 MBH.LA1 ó 2 MBH.HLS1 ó 2 MBH.HLS1 ó 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	—	—	—	0,45	0,80
Tablero de fibras, de densidad media, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
		2	—	—	—	0,45	0,80

(4) Para la madera instalada con un contenido de humedad superior o cercano al punto de saturación de la fibra, y que es susceptible a secarse bajo carga, los valores de  $k_{def}$  dados en la tabla 3.2, deberían incrementarse en 1,0.

(5)P Los empalmes por unión dentada múltiple deben cumplir la Norma Europea EN 385.

### 3.3 Madera laminada encolada

(1)P Las piezas de madera laminada encolada deben cumplir la Norma Europea EN 14080.

NOTA – En la Norma Europea EN 1194 se proporcionan los valores de las propiedades de resistencia y rigidez para la madera laminada encolada asignada a clases de resistencia, véase el anexo D (informativo).

(2) Puede tenerse en cuenta el efecto del tamaño de la pieza en la resistencia.

(3) En piezas de madera laminada encolada de sección rectangular, el valor de referencia de la altura de la sección en flexión o la anchura en tracción es 600 mm. Para alturas en flexión o anchuras en tracción de piezas de madera laminada encolada inferiores a 600 mm, los valores característicos de  $f_{m,k}$  y  $f_{t,0,k}$  pueden incrementarse por el factor  $k_h$ , definido a continuación:

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{600}{h} \right)^{0,1} \right. \\ \left. 1,1 \right. \quad (3.2)$$

donde

$h$  es la altura de la sección de piezas flectadas o la anchura de las piezas traccionadas, en mm.

(4)P Las uniones entre piezas mediante dentado múltiple de gran tamaño que cumplan con las especificaciones de la Norma Europea Experimental ENV 387 no deben utilizarse en productos que se van a instalar con clase de servicio 3, cuando la dirección de la fibra cambia en la unión.

(5)P Debe tenerse en cuenta el efecto del tamaño de la pieza en la resistencia a la tracción perpendicular a la fibra.

**Tabla 3.2**  
**Valores de  $k_{def}$  para la madera y los productos derivados de la madera**

Material	Norma	Clase de servicio		
		1	2	3
Madera maciza	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Madera laminada encolada	EN 14080	0,60	0,80	2,00
Madera microlaminada, LVL	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,00
Tablero contrachapado	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	EN 300			
	OSB/2	2,25	—	—
	OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	—
Tablero de partículas	EN 312			
	Parte 4	2,25	—	—
	Parte 5	2,25	3,00	—
	Parte 6	1,50	—	—
	Parte 7	1,50	2,25	—
Tablero de fibras, duro	EN 622-2			
	HB.LA	2,25	—	—
	HB.HLA1, HB.HLA2	2,25	3,00	—
Tablero de fibras, medio	EN 622-3			
	MBH.LA1, MBH.LA2	3,00	—	—
	MBH.HLS1, MBH.HLS2	3,00	4,00	—
Tablero de fibras de densidad media, MDF	EN 622-5			
	MDF.LA	2,25	—	—
	MDF.HLS	2,25	3,00	—

### 3.4 Madera microlaminada (LVL)

(1)P Los elementos estructurales de madera microlaminada, LVL, deben cumplir la Norma Europea EN 14374.

(2)P En el caso de secciones rectangulares de madera microlaminada, LVL, con la disposición de la fibra de todas las chapas dispuesta esencialmente en la misma dirección, debe tenerse en cuenta el efecto del tamaño de la pieza en la resistencia a flexión y a tracción.

(3) El valor de referencia de la altura de la sección en flexión es 300 mm. Para alturas de la sección en flexión diferentes a 300 mm, el valor característico de  $f_{m,k}$  debería multiplicarse por el factor  $k_h$ , definido a continuación:

$$k_h = \min \left\{ \left( \frac{300}{h} \right)^s, 1, 2 \right\} \quad (3.3)$$

donde

$h$  es la altura de la sección de la pieza, en mm;

$s$  es el exponente del efecto del tamaño, véase el párrafo (5)P del apartado 3.4.

(4) El valor de referencia de la longitud en tracción es de 3 000 mm. Para el caso de longitudes en tracción diferentes a 3 000 mm, el valor característico de  $f_{t,0,k}$  debería multiplicarse por el factor  $k_\ell$  definido a continuación:

$$k_\ell = \min \left\{ \left( \frac{3\,000}{\ell} \right)^{s/2}, 1, 1 \right\} \quad (3.4)$$

donde

$\ell$  es la longitud, en mm.

(5)P El exponente del efecto del tamaño,  $s$ , para la madera microlaminada, LVL, debe tomarse como el declarado de acuerdo con la Norma Europea EN 14374.

(6)P Las uniones entre piezas mediante dentado múltiple de gran tamaño que cumplan con las especificaciones de la Norma Europea ENV 387 no deben utilizarse en productos que se van a instalar con clase de servicio 3, cuando la dirección de la fibra cambia en la unión.

(7)P Debe tenerse en cuenta el efecto del tamaño de la pieza en la resistencia a la tracción perpendicular a la fibra para piezas de madera microlaminada, LVL, con la dirección de la fibra de todas las chapas dispuesta esencialmente en la misma dirección.

### 3.5 Tableros derivados de la madera

(1)P Los tableros derivados de la madera deben cumplir la Norma Europea EN 13986 y la madera microlaminada, LVL, utilizada como tableros debe cumplir la Norma Europea EN 14279.

(2) El empleo de los tableros blandos según la Norma Europea EN 622-4 debería limitarse al arriostamiento frente al viento y deberían proyectarse mediante ensayos.

### 3.6 Adhesivos

- (1)P Los adhesivos para usos estructurales deben producir uniones con una resistencia y durabilidad tales que la integridad de la unión se mantenga en la clase de servicio asignada durante la vida de servicio prevista.
- (2) Los adhesivos que cumplan con las especificaciones del Tipo I definidas en la Norma Europea EN 301 pueden emplearse en cualquier clase de servicio.
- (3) Los adhesivos que cumplan con las especificaciones del Tipo II definidas en la Norma Europea EN 301 sólo deberían emplearse en las clases de servicio 1 ó 2 y no bajo exposición prolongada a temperaturas superiores a 50 °C.

### 3.7 Herrajes metálicos

- (1)P Los herrajes metálicos deben cumplir la Norma Europea EN 14592 y los conectores metálicos la Norma Europea EN 14545.

## CAPÍTULO 4 – DURABILIDAD

### 4.1 Resistencia a los organismos biológicos

- (1)P La madera y los productos derivados de la madera deben tener una durabilidad natural adecuada de acuerdo con la Norma Europea EN 350-2 para la clase de riesgo correspondiente (definida en las Normas Europeas EN 335-1, EN 335-2 y EN 335-3), o aplicarse un tratamiento protector seleccionado de acuerdo con las Normas Europeas EN 351-1 y EN 460.

NOTA 1 – El tratamiento protector puede afectar a las propiedades de resistencia y de rigidez.

NOTA 2 – Las reglas para la especificación de los tratamientos de protección se indican en las Normas Europeas EN 350-2 y EN 335.

### 4.2 Resistencia a la corrosión

- (1)P Los herrajes metálicos y otros elementos metálicos de las uniones deben, cuando sea necesario, ser resistentes a la corrosión por sí mismos, o estar protegidos contra la corrosión.
- (2) En la tabla 4.1 se incluyen ejemplos de protección mínima contra la corrosión o especificaciones de los materiales para las diferentes clases de servicio (véase el apartado 2.3.1.3).

**Tabla 4.1**  
**Ejemplos de especificaciones mínimas para la protección del material contra la corrosión**  
**para los herrajes (en relación con la Norma Internacional ISO 2081)**

Herraje	Clase de servicio <sup>b</sup>		
	1	2	3
Clavos y tirafondos con $d \leq 4$ mm	Ninguno	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Fe/Zn 25c <sup>a</sup>
Pernos, pasadores, clavos y tirafondos con $d > 4$ mm	Ninguno	Ninguno	Fe/Zn 25c <sup>a</sup>
Grapas	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Acero inoxidable
Placas dentadas y placas de acero de hasta 3 mm de espesor	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Acero inoxidable
Placas de acero desde 3 mm hasta 5 mm de espesor	Ninguno	Fe/Zn 12c <sup>a</sup>	Fe/Zn 25c <sup>a</sup>
Placas de acero con un espesor superior a 5 mm	Ninguno	Ninguno	Fe/Zn 25c <sup>a</sup>
<sup>a</sup> Si se emplea un galvanizado de zinc en caliente, el Fe/Zn 12c debería sustituirse por el Z275 y el Fe/Zn 25c por el Z350 de acuerdo con la Norma Europea EN 10147.			
<sup>b</sup> En el caso de unas condiciones especialmente corrosivas debería considerarse un recubrimiento más grueso de galvanizado en caliente o el acero inoxidable.			

## **CAPÍTULO 5 – BASES DEL ANÁLISIS ESTRUCTURAL**

### **5.1 Generalidades**

(1)P El cálculo debe realizarse utilizando modelos de cálculo adecuados (completados, si fuera necesario, con ensayos) que incluyan todas las variables relevantes. Los modelos deben ser suficientemente precisos para predecir el comportamiento estructural, acorde con la calidad de ejecución que presumiblemente se alcance con la mano de obra, y con la fiabilidad de la información en la que se basa el cálculo.

(2) El comportamiento global de la estructura debería evaluarse mediante el cálculo de los efectos de las acciones con un modelo lineal del material (comportamiento elástico).

(3) En estructuras capaces de redistribuir las fuerzas internas mediante conexiones de ductilidad adecuada, pueden utilizarse métodos elastoplásticos para la determinación de las fuerzas internas en las piezas.

(4)P El modelo de cálculo de las fuerzas internas en la estructura o en parte de ella debe tener en cuenta los efectos de las deformaciones de las uniones.

(5) En general, la influencia de las deformaciones de las uniones debería tenerse en cuenta a través de su rigidez (rotacional o translacional, por ejemplo) o a través de valores prescritos para el deslizamiento como una función del nivel de carga en la unión.

### **5.2 Piezas**

(1)P En el análisis estructural debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- falta de rectitud de las piezas;
- falta de homogeneidad del material.

NOTA – Las faltas de rectitud y de homogeneidad ya se tienen en cuenta de manera implícita en los métodos de cálculo definidos en esta norma europea.

(2)P En la verificación de la resistencia de la pieza deben tenerse en cuenta las reducciones del área de la sección transversal.

(3) Las reducciones del área de la sección transversal pueden despreciarse en los casos siguientes:

- clavos y tirafondos con un diámetro menor o igual a 6 mm, introducido sin pretaladro;
- agujeros en la zona comprimida de las piezas, si están rellenos con un material de mayor rigidez que la madera.

(4) Cuando se evalúa el área de la sección transversal neta en una unión con múltiples medios de fijación, todos los agujeros que se encuentren a una distancia menor o igual a la mitad de la separación mínima entre medios de fijación en dirección paralela a la fibra a partir de una sección transversal dada, se deberían considerar como si ocurrieran en la misma sección transversal.

### **5.3 Uniones**

(1)P La capacidad de carga de las uniones se debe verificar teniendo en cuenta las fuerzas y los momentos entre las piezas determinados mediante el análisis global de la estructura.

(2)P La deformación de las uniones debe ser compatible con la supuesta en el análisis global.

(3)P El análisis de una unión debe tener en cuenta el comportamiento de todos los elementos que constituyen la unión.

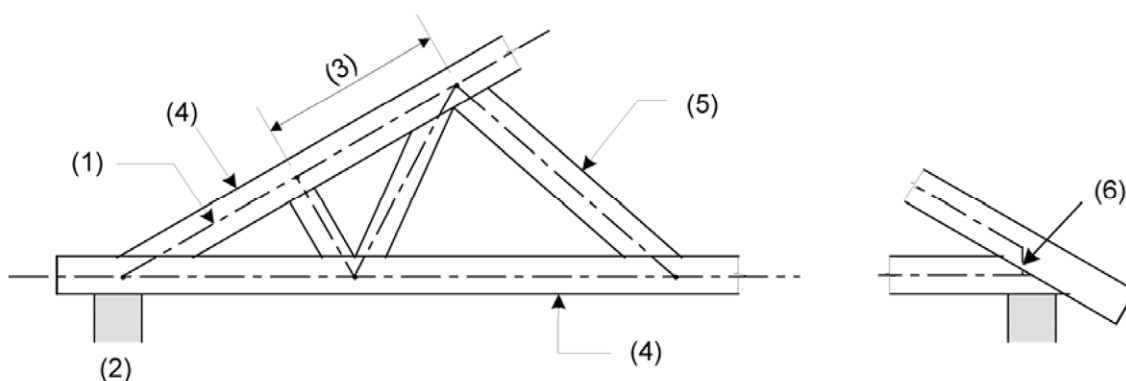
## 5.4 Tipos estructurales

### 5.4.1 Generalidades

- (1)P El análisis de la estructura debe realizarse utilizando modelos estáticos que obtengan un nivel aceptable de precisión sobre el comportamiento de la estructura y de los apoyos.
- (2) El análisis debería realizarse mediante modelos de entramados de acuerdo con el apartado 5.4.2 o mediante un análisis simplificado de acuerdo con el apartado 5.4.3 para cerchas con placas metálicas dentadas (placas-clavo).
- (3) En pórticos y arcos planos debería realizarse un análisis de segundo orden de acuerdo con el apartado 5.4.4.

### 5.4.2 Estructuras de celosía

(1)P Las estructuras de celosía deben analizarse teniendo en cuenta las deformaciones de las piezas y de las uniones, la influencia de las excentricidades en los apoyos y la rigidez de la estructura soportante, en la determinación de las fuerzas y momentos en las piezas, véase la figura 5.1 para las definiciones de las configuraciones de la estructura y de los elementos del modelo.



#### Leyenda

- (1) Líneas del modelo
- (2) Apoyo
- (3) Vano
- (4) Cordón exterior
- (5) Pieza interior
- (6) Elemento viga ficticio

**Fig. 5.1 – Ejemplos de modelos de análisis de celosía**

- (2)P En el análisis de una celosía, las líneas del modelo de todas las piezas deben caer dentro del perfil de las piezas. En las piezas principales, por ejemplo los cordones exteriores de una cercha, las líneas del modelo deben coincidir con los ejes de las piezas.
- (3)P En las piezas interiores si las líneas del modelo no coinciden con los ejes de las piezas, debe tenerse en cuenta la influencia de la excentricidad en la verificación de las resistencia de esas piezas.
- (4) Pueden utilizarse elementos ficticios de viga y elementos de muelle para representar en el modelo la excentricidad en las uniones o en los apoyos. La orientación de los elementos ficticios de tipo viga y la localización de los elementos de muelle debería coincidir lo máximo posible con la configuración real de la unión.
- (5) En un análisis elástico lineal de primer orden, puede despreciarse el efecto de las deformaciones iniciales y las deformaciones inducidas si se tienen en cuenta en la verificación de resistencia de la pieza.

(6) El análisis de celosía debería llevarse a cabo utilizando los valores apropiados de la rigidez de las piezas definidos en el apartado 2.2.2. Los elementos viga ficticios deberían suponerse con una rigidez correspondiente a la real de las uniones.

(7) Las uniones pueden suponerse rígidas al giro, si su deformación no tiene efectos significativos sobre la distribución de las fuerzas y momentos en las piezas. En otro caso, las uniones pueden considerarse generalmente como articuladas.

(8) El deslizamiento de traslación en las uniones puede despreciarse en la verificación de la resistencia a no ser que ello afecte significativamente a la distribución de las fuerzas y momentos internos.

(9) Las uniones por empalme utilizadas en las estructuras de celosía pueden modelarse como rígidas al giro si la rotación real bajo carga no tuviera un efecto significativo sobre las fuerzas en las piezas. Este requisito se cumple si se satisface una de las condiciones siguientes:

- La unión por empalme tiene una capacidad de carga de al menos 1,5 veces la correspondiente a la combinación de la fuerza y momento aplicados.
- La unión por empalme tiene una capacidad de carga de al menos la correspondiente a la combinación de la fuerza y momento aplicados, siempre que las piezas de madera no estén sometidas a tensiones de flexión superiores a 0,3 veces la resistencia a flexión de la pieza, y que el conjunto sea estable si todos los empalmes se comportaran como articulaciones.

#### **5.4.3 Análisis simplificado de cerchas con placas metálicas dentadas (placas-clavo)**

(1) Para que pueda realizarse un análisis simplificado de una cercha completamente triangulada deberían cumplirse las condiciones siguientes:

- no hay ángulos entrantes en el perfil externo;
- la longitud de apoyo está situada dentro de la longitud  $a_1$ , y la distancia  $a_2$  de la figura 5.2 no es mayor que el mayor valor entre  $a_1/3$  y 100 mm;
- la altura de la cercha es mayor que 0,15 veces la luz y 10 veces el canto máximo de las piezas externas.

(2) Los axiles de las piezas deberían calcularse suponiendo que todos los nudos son articulados.

(3) Los momentos flectores en las piezas de un sólo vano deberían determinarse suponiendo que sus extremos están articulados. Los momentos flectores en las piezas continuas sobre varios vanos deberían determinarse suponiendo que la pieza es una viga con un apoyo simple en cada nudo. El efecto del desplazamiento en los nudos y la rigidez parcial de las uniones debería tenerse en cuenta mediante una reducción de un 10% de los momentos en los apoyos intermedios de la pieza. Los momentos de los apoyos intermedios deberían emplearse para calcular los momentos de flexión en el vano.

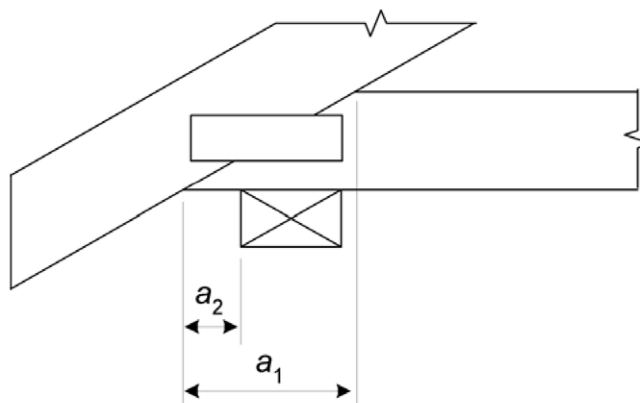


Fig. 5.2 – Geometría del apoyo

#### 5.4.4 Pórticos y arcos planos

(1)P Se aplican los requisitos del apartado 5.2. Deben tenerse en cuenta los efectos de los desplazamientos inducidos en las fuerzas y momentos.

(2) Los efectos de los desplazamientos inducidos en las fuerzas y momentos internos pueden tenerse en cuenta realizando un análisis lineal de segundo orden con las siguientes hipótesis:

- se debería suponer que las imperfecciones de la forma de la estructura corresponden a una deformación inicial que se deduce aplicando un ángulo de inclinación  $\phi$  a la estructura o partes relevantes de la misma, junto con una curvatura inicial de forma sinusoidal entre los nudos de la estructura que corresponde a una excentricidad máxima  $e$ .
- El valor de  $\phi$  en radianes debería tomarse como mínimo igual a:

$$\begin{aligned} \phi &= 0,005 && \text{para } h \leq 5 \text{ m} \\ \phi &= 0,005 \sqrt{5/h} && \text{para } h > 5 \text{ m} \end{aligned} \quad (5.1)$$

donde

$h$  es la altura de la estructura o la longitud de la pieza, en m.

- El valor de  $e$  debería tomarse como mínimo igual a:

$$e = 0,0025 \ell \quad (5.2)$$

En la figura 5.3 se incluyen ejemplos de las desviaciones iniciales supuestas en la geometría y la definición de  $\ell$ .

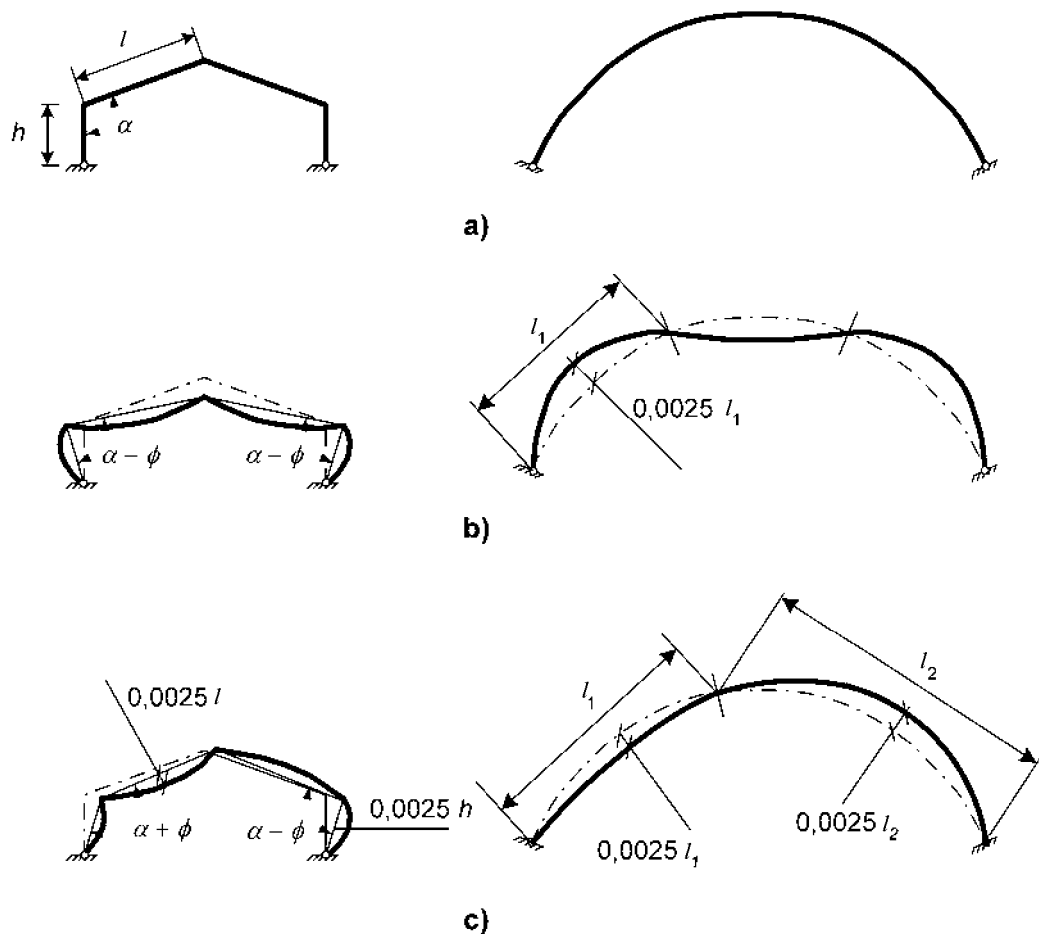


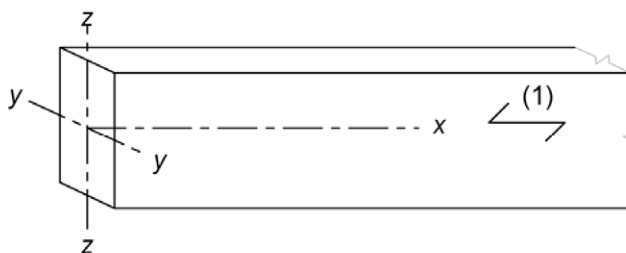
Fig. 5.3 – Ejemplos de desviaciones iniciales supuestas en la geometría para un pórtico (a), correspondiente al caso de carga simétrica (b) y carga no simétrica (c)

## CAPÍTULO 6 – ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

### 6.1 Cálculo de secciones sometidas a tensiones en una dirección principal

#### 6.1.1 Generalidades

(1) El apartado 6.1 se aplica a piezas de madera maciza de directriz recta, de madera laminada encolada o de productos estructurales derivados de la madera, de sección constante, en los que la dirección de la fibra es básicamente paralela a la longitud de la pieza. Se supone que la pieza está sometida únicamente a tensiones en la dirección de uno de sus ejes principales (véase la figura 6.1).



Leyenda

(1) Dirección de la fibra

Fig. 6.1– Ejes de la pieza

#### 6.1.2 Tracción paralela a la fibra

(1)P Se debe cumplir la condición siguiente:

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

donde

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

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

#### 6.1.3 Tracción perpendicular a la fibra

(1)P Debe tenerse en cuenta el efecto del tamaño de la pieza.

#### 6.1.4 Compresión paralela a la fibra

(1)P Se debe cumplir la condición siguiente:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (6.2)$$

donde

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

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

NOTA – En el apartado 6.3 se incluyen las reglas sobre la inestabilidad de las piezas.

### 6.1.5 Compresión perpendicular a la fibra

(1)P Debe cumplirse la condición siguiente:

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} f_{c,90,d} \quad (6.3)$$

donde

$\sigma_{c,90,d}$  es el valor de cálculo de la tensión de compresión en el área de contacto perpendicular a la fibra;

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

$k_{c,90}$  es un factor que tiene en cuenta la configuración de la carga, la posibilidad del fendado y el grado de deformación por compresión.

(2) El valor de  $k_{c,90}$  debería tomarse igual a 1,0, a no ser que se apliquen las disposiciones de las piezas que se recogen en los párrafos siguientes. En esos casos puede adoptarse el valor mayor de  $k_{c,90}$  especificado, con un valor límite de  $k_{c,90} = 4,0$ .

NOTA – Cuando se emplea un valor mayor de  $k_{c,90}$ , y el contacto se extiende sobre la anchura completa de la pieza  $b$ , la deformación resultante de la compresión en el estado límite último será aproximadamente igual al 10% de la altura de la sección de la pieza.

(3) En una viga que descansa sobre apoyos (véase la figura 6.2), el factor  $k_{c,90}$  debería calcularse mediante las expresiones siguientes:

– Cuando la distancia entre el borde del apoyo y el extremo de la viga es  $a, \leq h/3$ :

$$k_{c,90} = \left( 2,38 - \frac{\ell}{250} \right) \left( 1 + \frac{h}{12\ell} \right) \quad (6.4)$$

– En los apoyos internos:

$$k_{c,90} = \left( 2,38 - \frac{\ell}{250} \right) \left( 1 + \frac{h}{6\ell} \right) \quad (6.5)$$

donde

$\ell$  es la longitud de contacto, en mm;

$h$  es la altura de la sección de la pieza, en mm.

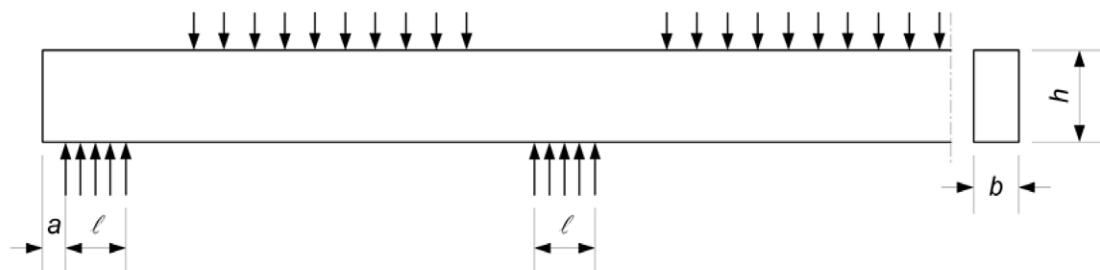


Fig. 6.2 – Viga sobre apoyos

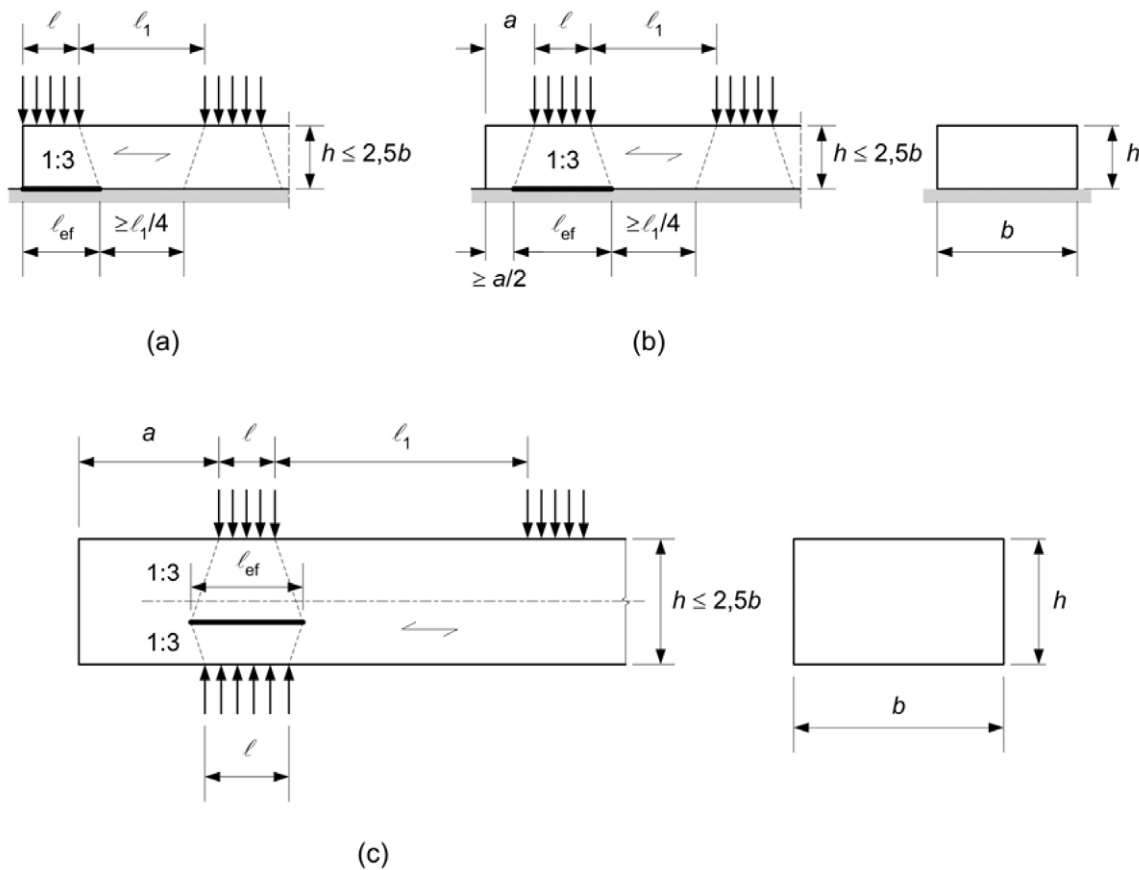
(4) En piezas con una altura de la sección  $h \leq 2,5b$  en la que se aplica una carga concentrada en una cara, sobre la anchura completa de la pieza  $b$ , y descansa directamente sobre un apoyo continuo o discontinuo en la cara opuesta, véase la figura 6.3, el factor  $k_{c,90}$  viene definido por la expresión siguiente:

$$k_{c,90} = \left( 2,38 - \frac{\ell}{250} \right) \left( \frac{\ell_{ef}}{\ell} \right)^{0,5} \quad (6.6)$$

donde

$\ell_{ef}$  es la longitud eficaz de distribución, en mm, véase el párrafo (5) a continuación;

$\ell$  es la longitud de contacto, véase la figura 6.3, en mm.



**Fig. 6.3 – Determinación de las longitudes eficaces para una pieza con una relación  $h/b \leq 2,5$ , (a) y (b) sobre apoyo continuo, (c) sobre apoyos aislados**

(5) La longitud eficaz de distribución  $\ell_{\text{ef}}$  debería determinarse considerando una línea de dispersión de la tensión con una inclinación con la vertical igual a 1:3 a través de la altura de la sección  $h$ , pero recortada a una distancia de  $a/2$  desde cualquier extremo, o una distancia de  $\ell_1/4$  desde un área adyacente comprimida, véanse las figuras 6.3 (a) y (b).

En los casos particulares de posición de las fuerzas indicados a continuación, la longitud eficaz viene dada por:

- Para cargas adyacentes al final de la pieza, véase la figura 6.3a

$$\ell_{\text{ef}} = \ell + \frac{h}{3} \quad (6.7)$$

- Cuando la distancia desde el borde de una carga concentrada hasta el final de la pieza  $a$ ,  $\geq \frac{2}{3}h$ , véase la figura 6.3b

$$\ell_{\text{ef}} = \ell + \frac{2h}{3} \quad (6.8)$$

donde

$h$  es el mayor valor de los dos siguientes: la altura de la sección de la pieza o 40 mm.

Para piezas sobre apoyos aislados, y siempre que  $a \geq h$  y  $\ell_1 \geq 2h$  véase la figura 6.3c, la longitud eficaz debería calcularse mediante la expresión siguiente:

$$\ell_{\text{ef}} = 0,5 \left( \ell + \ell_s + \frac{2h}{3} \right) \quad (6.9)$$

donde

$h$  es el mayor valor de los dos siguientes: la altura de la sección de la pieza o 40 mm.

(6) En el caso de piezas con una altura de la sección  $h > 2,5b$  cargada con una fuerza concentrada de compresión sobre dos caras opuestas, como se muestra en la figura 6.4b, o con una fuerza concentrada de compresión en una de las caras y un apoyo continuo en la otra, véase la figura 6.4a, el factor  $k_{\text{c},90}$  debería calcularse de acuerdo con la expresión (6.10), siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- la fuerza de compresión se aplica sobre toda la anchura de la pieza  $b$ ;
- la longitud de contacto  $\ell$  es menor que el mayor valor de los dos siguientes:  $h$  o 100 mm

$$k_{\text{c},90} = \frac{\ell_{\text{ef}}}{\ell} \quad (6.10)$$

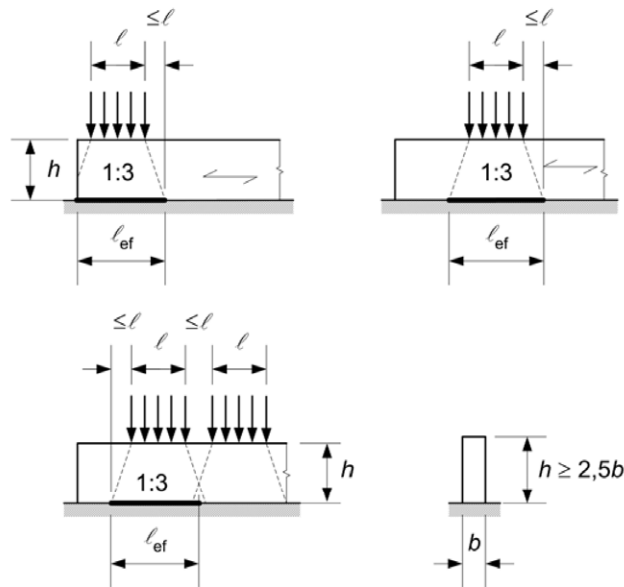
donde

$\ell$  es la longitud de contacto de acuerdo con la figura 6.4;

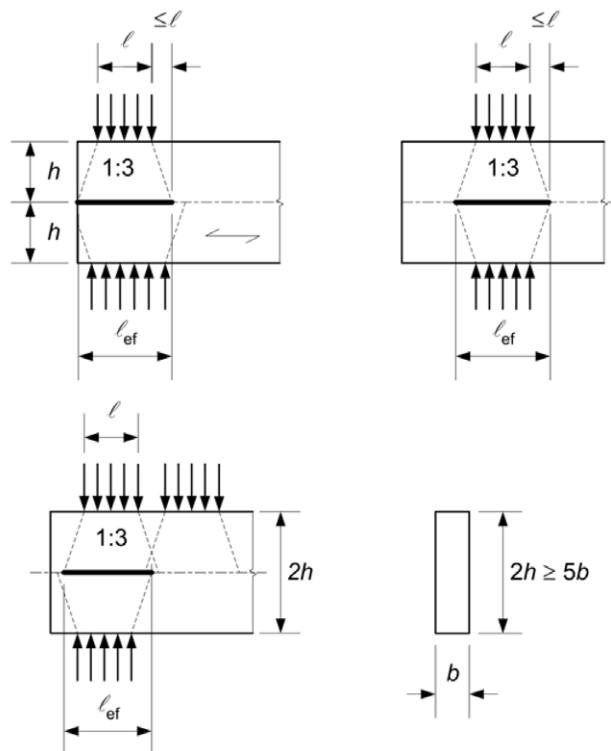
$\ell_{\text{ef}}$  es la longitud eficaz de distribución de acuerdo con la figura 6.4.

La longitud eficaz de distribución no debería extenderse más de una longitud  $\ell$  a partir de cualquier borde de la longitud de contacto.

(7) En el caso de piezas en las que la altura de la sección varía linealmente sobre el apoyo (por ejemplo en el caso del cordón inferior de una cercha en el apoyo articulado), debería tomarse como altura de la sección,  $h$ , la altura de la sección de la pieza situada en el eje del apoyo, y la longitud eficaz  $\ell_{ef}$  debería tomarse igual a la longitud de contacto  $\ell$ .



(a)



(b)

Fig. 6.4 – Determinación de las longitudes eficaces en piezas con una relación  $h/b > 2,5$  en (a) un apoyo continuo, (b) apoyos aislados

### 6.1.6 Flexión

(1)P Deben cumplirse las condiciones siguientes:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.11)$$

$$k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (6.12)$$

donde

$\sigma_{m,y,d}$  y  $\sigma_{m,z,d}$  son los valores de cálculo de las tensiones de flexión respecto a los ejes principales de la sección, como se indica en la figura 6.1;

$f_{m,y,d}$  y  $f_{m,z,d}$  son los valores de cálculo de las correspondientes resistencias a flexión.

NOTA – El factor  $k_m$  tiene su origen en la redistribución de las tensiones y en el efecto de la falta de homogeneidad del material en una sección transversal.

(2) El valor del factor  $k_m$  debería tomarse de la forma siguiente:

Para la madera maciza, madera laminada encolada y madera microlaminada (LVL):

- para secciones rectangulares:  $k_m = 0,7$
- para otros tipos de secciones:  $k_m = 1,0$

Para otros productos estructurales derivados de la madera, para todo tipo de sección:  $k_m = 1,0$

(3)P También debe realizarse una comprobación de la condición de inestabilidad (véase el apartado 6.3).

### 6.1.7 Cortante

(1)P Para el caso de cortante con una componente de la tensión paralela a la fibra, véase la figura 6.5(a), así como para el cortante con ambas componentes de la tensión perpendiculares a la fibra, véase la figura 6.5(b), debe cumplirse la condición siguiente:

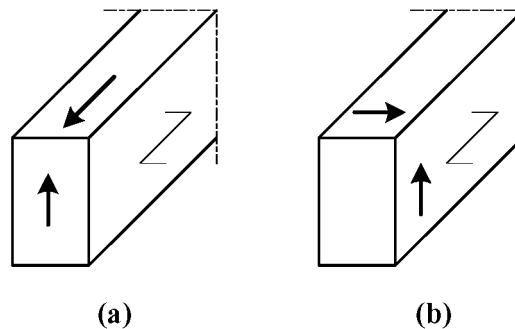
$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (6.13)$$

donde

$\tau_d$  es el valor de cálculo de la tensión de cortante;

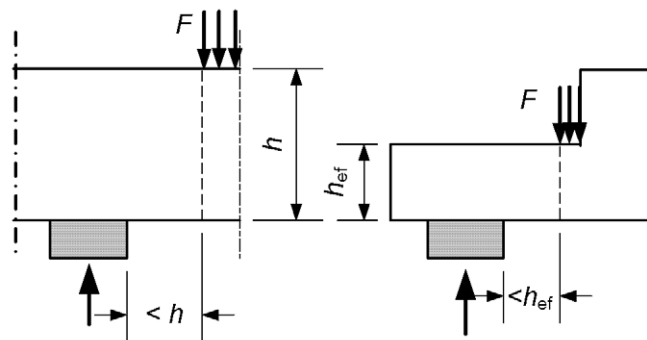
$f_{v,d}$  es el valor de cálculo de la resistencia a cortante para la condición existente.

NOTA – La resistencia a cortante por rodadura es aproximadamente igual a dos veces la resistencia a la tracción perpendicular a la fibra.



**Fig. 6.5 – (a) Pieza con una componente de la tensión de cortante paralela a la fibra (b) Pieza con ambas componentes de la tensión perpendiculares a la fibra (cortante de rodadura)**

(2) En los apoyos, la contribución al cortante total de una carga concentrada  $F$  que actúa sobre la cara superior de la viga y se encuentra dentro de una distancia  $h$  o  $h_{ef}$  desde el borde del apoyo puede despreciarse (véase la figura 6.6). En vigas con una entalladura en el apoyo, esta reducción se aplica únicamente cuando la entalladura está en la cara opuesta a la del apoyo.



**Fig. 6.6 – Condiciones en un apoyo, en las cuales la carga concentrada  $F$  puede despreciarse en el cálculo del cortante**

### 6.1.8 Torsión

(1)P Debe cumplirse la condición siguiente:

$$\tau_{\text{tor,d}} \leq k_{\text{shape}} f_{\text{v,d}} \quad (6.14)$$

con

$$k_{\text{shape}} = \begin{cases} 1,2 & \text{para una sección circular} \\ \min \left\{ 1 + 0,15 \frac{h}{b} \right. & \text{para una sección rectangular} \\ \left. 2,0 \right\} \end{cases} \quad (6.15)$$

donde

- $\tau_{\text{tor,d}}$  es el valor de cálculo de la tensión de torsión;
- $f_{\text{v,d}}$  es el valor de cálculo de la resistencia a cortante;
- $k_{\text{shape}}$  es un factor que depende de la forma de la sección transversal;
- $h$  es la dimensión mayor de la sección transversal;
- $b$  es la dimensión menor de la sección transversal.

## 6.2 Cálculo de secciones sometidas a una combinación de tensiones

### 6.2.1 Generalidades

(1)P El apartado 6.2 se aplica a piezas rectas de madera maciza, madera laminada encolada o productos estructurales derivados de la madera con una sección constante, cuya fibra se dispone básicamente paralela a la longitud de la pieza. Se supone que la pieza está sometida a tensiones originadas por la combinación de acciones, o a tensiones que actúan respecto a dos o tres de sus ejes principales.

### 6.2.2 Tensiones de compresión que forman un ángulo con respecto a la dirección de la fibra

(1)P Debe tenerse en cuenta la interacción de las tensiones de compresión en dos o más direcciones.

(2) Las tensiones de compresión con un ángulo  $\alpha$  respecto a la fibra (véase la figura 6.7), deberían cumplir la condición siguiente:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} f_{c,90,d}} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (6.16)$$

donde

$\sigma_{c,\alpha,d}$  es el valor de cálculo de la tensión de compresión con un ángulo  $\alpha$  respecto a la fibra;

$k_{c,90}$  es un factor definido en el apartado 6.1.5 que tiene en cuenta el efecto de la tensión perpendicular a la fibra.

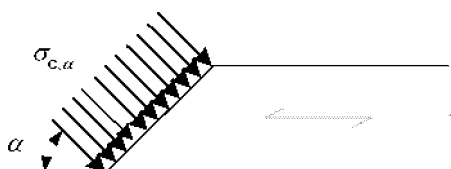


Fig. 6.7 – Tensiones de compresión que forman un ángulo respecto a la dirección de la fibra

### 6.2.3 Flexión y tracción combinadas

(1)P Deben cumplirse las condiciones siguientes:

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

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

(2) Se aplican los valores de  $k_m$  indicados en el apartado 6.1.6.

### 6.2.4 Flexión y compresión combinadas

(1)P Deben cumplirse las condiciones siguientes:

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

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

(2)P Se aplican los valores de  $k_m$  indicados en el apartado 6.1.6.

NOTA – En el apartado 6.3 se define un método para la comprobación de la condición de inestabilidad.

## 6.3 Estabilidad de las piezas

### 6.3.1 Generalidades

(1)P Deben tenerse en cuenta las tensiones de flexión debidas a la curvatura inicial, las excentricidades y los desplazamientos inducidos, además de aquellos debidos a cualquier carga lateral.

(2)P La estabilidad de las columnas y la estabilidad lateral torsional debe comprobarse utilizando las propiedades características, por ejemplo  $E_{0,05}$ .

(3) La estabilidad de las columnas sometidas a compresión o a la combinación de compresión y flexión debería comprobarse de acuerdo con el apartado 6.3.2.

(4) La estabilidad lateral torsional de las vigas sometidas a flexión o a la combinación de flexión y compresión debería comprobarse de acuerdo con el apartado 6.3.3.

### 6.3.2 Columnas sometidas a compresión o a la combinación de compresión y flexión

(1) Las esbelteces relativas deberían tomarse como:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.21)$$

y

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (6.22)$$

donde

$\lambda_y$  y  $\lambda_{el,y}$  son las esbelteces mecánicas correspondientes a la flexión respecto al eje y (deformación en la dirección z);

$\lambda_z$  y  $\lambda_{rel,z}$  son las esbelteces mecánicas correspondientes a la flexión respecto al eje z (deformación en la dirección y);

$E_{0,05}$  es el valor del quinto percentil del módulo de elasticidad paralelo a la fibra.

(2) Cuando ambas  $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$  y  $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ , las tensiones deberían cumplir las expresiones (6.19) y (6.20) del apartado 6.2.4.

(3) En todos los casos restantes, las tensiones, que se incrementarán debido a la deformación, deberían cumplir las condiciones siguientes:

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

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

donde los símbolos se definen a continuación:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (6.25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (6.26)$$

$$k_y = 0,5 \left( 1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2 \right) \quad (6.27)$$

$$k_z = 0,5 \left( 1 + \beta_c (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2 \right) \quad (6.28)$$

donde

$\beta_c$  es un factor para las piezas que cumplen los límites de rectitud definidos en el capítulo 10:

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{para madera maciza} \\ 0,1 & \text{para madera laminada encolada y madera microlaminada (LVL)} \end{cases} \quad (6.29)$$

$k_m$  tal como se define en el apartado 6.1.6.

### 6.3.3 Vigas sometidas a flexión o a una combinación de flexión y compresión

(1)P La estabilidad lateral torsional debe comprobarse tanto en el caso de la existencia de sólo un momento flector  $M_y$  aplicado respecto al eje fuerte  $y$ , como cuando existe una combinación de momento flector  $M_y$  y un esfuerzo axial  $N_c$ .

(2) La esbeltez relativa para flexión debería calcularse de acuerdo con la expresión siguiente:

$$\lambda_{\text{rel,m}} = \sqrt{\frac{f_{\text{m,k}}}{\sigma_{\text{m,crit}}}} \quad (6.30)$$

donde

$\sigma_{\text{m,crit}}$  es la tensión crítica de flexión calculada de acuerdo con la teoría clásica de la estabilidad, utilizando los valores de la rigidez correspondientes al quinto percentil.

La tensión crítica de flexión debería calcularse según la expresión siguiente:

$$\sigma_{\text{m,crit}} = \frac{M_{\text{y,crit}}}{W_{\text{y}}} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{\text{tor}}}}{\ell_{\text{ef}} W_{\text{y}}} \quad (6.31)$$

donde

$E_{0,05}$  es el valor del quinto percentil del módulo de elasticidad paralelo a la fibra;

$G_{0,05}$  es el valor del quinto percentil del módulo de cortante paralelo a la fibra;

$I_z$  es el momento de inercia respecto al eje débil  $z$ .

$I_{\text{tor}}$  es el módulo de torsión;

$\ell_{\text{ef}}$  es la longitud eficaz de la viga, que depende de las condiciones de apoyo y de la configuración de la carga, de acuerdo con la tabla 6.1;

$W_{\text{y}}$  es el módulo resistente respecto al eje fuerte  $y$ .

En madera de coníferas con sección transversal rectangular,  $\sigma_{\text{m,crit}}$  debería calcularse mediante la expresión siguiente:

$$\sigma_{\text{m,crit}} = \frac{0,78 b^2}{h \ell_{\text{ef}}} E_{0,05} \quad (6.32)$$

donde

$b$  es la anchura de la sección de la viga;

$h$  es la altura de la sección de la viga.

(3) En el caso de que sólo exista un momento flector  $M_y$  respecto al eje fuerte  $y$ , las tensiones deberían cumplir la condición siguiente:

$$\sigma_{\text{m,d}} \leq k_{\text{crit}} f_{\text{m,d}} \quad (6.33)$$

donde

$\sigma_{\text{m,d}}$  es el valor de cálculo de la tensión de flexión;

$f_{\text{m,d}}$  es el valor de cálculo de la resistencia a flexión;

$k_{\text{crit}}$  es un factor que tiene en cuenta la reducción de la resistencia a flexión debido al vuelco lateral.

**Tabla 6.1**  
**Longitud eficaz expresada como una relación con la luz**

Tipo de viga	Tipo de carga	$\ell_{ef}/\ell^a$
Simplemente apoyada	Momento constante	1,0
	Carga uniformemente distribuida	0,9
	Carga concentrada en el centro de la luz	0,8
Voladizo	Carga uniformemente distribuida	0,5
	Carga concentrada en el extremo del voladizo	0,8
<sup>a</sup> La relación entre la longitud eficaz $\ell_{ef}$ y la luz $\ell$ es válida para una viga con apoyos con restricción a la torsión y cargada en el centro de gravedad. Si la carga se aplica en el borde comprimido de la viga, $\ell_{ef}$ debería incrementarse en $2h$ y si la carga se aplica en el borde traccionado de la viga puede disminuirse en $0,5h$ .		

(4) En vigas con una desviación lateral inicial respecto a la forma recta dentro de los límites definidos en el capítulo 10,  $k_{crit}$  puede determinarse mediante la expresión (6.34)

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{para } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{para } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{para } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \quad (6.34)$$

(5) El factor  $k_{crit}$  puede tomarse igual a 1,0 en vigas en las que el desplazamiento lateral del borde comprimido está impedido en toda su longitud y el giro por torsión de los apoyos también está impedido.

(6) En el caso de una combinación de un momento flector  $M_y$  respecto al eje fuerte  $y$  y un esfuerzo axial  $N_c$ , las tensiones deberían cumplir la condición siguiente:

$$\left( \frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{c,z} f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (6.35)$$

donde

$\sigma_{m,d}$  es el valor de cálculo de la tensión de flexión;

$\sigma_{c,d}$  es el valor de cálculo de la tensión de compresión;

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

$k_{c,z}$  viene dado por la expresión (6.26).

## 6.4 Cálculo de secciones en piezas de sección variable o de forma curva

### 6.4.1 Generalidades

(1)P Debe tenerse en cuenta el efecto combinado del axil y del momento flector.

(2) Deberían comprobarse las partes pertinentes de los apartados 6.2 y 6.3.

(3) La tensión debida al esfuerzo axial puede calcularse mediante la siguiente expresión

$$\sigma_N = \frac{N}{A} \quad (6.36)$$

donde

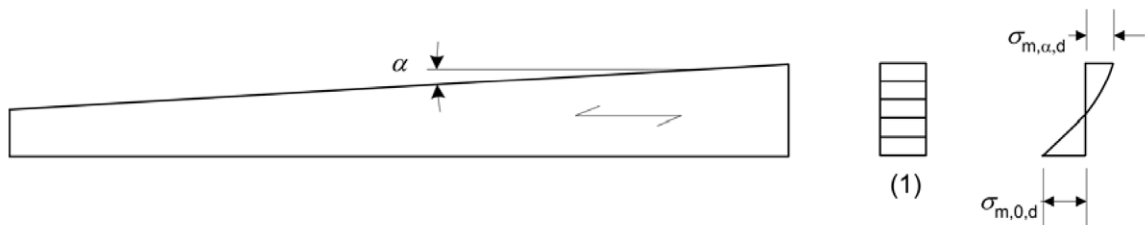
$\sigma_N$  es la tensión normal;

$N$  es el axial;

$A$  es el área de la sección transversal.

#### 6.4.2 Vigas de canto variable a un agua

(1)P Debe tenerse en cuenta el efecto del canto variable en las tensiones de flexión paralelas a la superficie.



#### Leyenda

(1) Sección transversal

**Fig. 6.8 – Viga de canto variable a un agua**

(2) Las tensiones de cálculo de flexión,  $\sigma_{m,\alpha,d}$  y  $\sigma_{m,0,d}$  (véase la figura 6.8) pueden calcularse mediante la expresión siguiente:

$$\sigma_{m,\alpha,d} = \sigma_{m,0,d} = \frac{6 M_d}{b h^2} \quad (6.37)$$

En la fibra extrema del borde inclinado, las tensiones deberían cumplir la condición siguiente:

$$\sigma_{m,\alpha,d} \leq k_{m,\alpha} f_{m,d} \quad (6.38)$$

donde

$\sigma_{m,\alpha,d}$  es el valor de cálculo de la tensión de flexión con un ángulo respecto a la dirección de la fibra;

$f_{m,d}$  es el valor de cálculo de la resistencia a flexión;

$k_{m,\alpha}$  debería calcularse mediante las expresiones siguientes:

Cuando el borde inclinado está sometido a tensiones de tracción:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{f_{m,d}}{0,75 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left( \frac{f_{m,d}}{f_{t,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}} \quad (6.39)$$

Cuando el borde inclinado está sometido a tensiones de compresión:

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{f_{m,d}}{1,5 f_{v,d}} \tan \alpha \right)^2 + \left( \frac{f_{m,d}}{f_{c,90,d}} \tan^2 \alpha \right)^2}} \quad (6.40)$$

### 6.4.3 Vigas a dos aguas, curvas y curvas a dos aguas

- (1) Este apartado se aplica únicamente a la madera laminada encolada y la madera microlaminada (LVL).
- (2) Los requisitos indicados en el apartado 6.4.2 se aplican a las partes de la viga con canto variable.
- (3) En la zona del vértice (véase la figura 6.9), las tensiones de flexión deberían cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{m,d} \leq k_r f_{m,d} \quad (6.41)$$

donde

$k_r$  tiene en cuenta la reducción de la resistencia debida a la flexión de las láminas durante la fabricación.

NOTA – En las vigas curvas y curvas a dos aguas la zona del vértice se extiende sobre la parte curva de la viga.

- (4) La tensión de flexión en el vértice debería calcularse mediante la expresión siguiente:

$$\sigma_{m,d} = k_\ell \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} \quad (6.42)$$

con:

$$k_\ell = k_1 + k_2 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^3 \quad (6.43)$$

$$k_1 = 1 + 1,4 \tan \alpha_{ap} + 5,4 \tan^2 \alpha_{ap} \quad (6.44)$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \tan \alpha_{ap} \quad (6.45)$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \tan \alpha_{ap} - 7,8 \tan^2 \alpha_{ap} \quad (6.46)$$

$$k_4 = 6 \tan^2 \alpha_{ap} \quad (6.47)$$

$$r = r_{in} + 0,5 h_{ap} \quad (6.48)$$

donde

$M_{ap,d}$  es el valor de cálculo del momento flector en el vértice;

$h_{ap}$  es la altura de la sección de la viga en el vértice, véase la figura 6.9;

$b$  es la anchura de la sección de la viga;

$r_{in}$  es el radio interior, véase la figura 6.9;

$\alpha_{ap}$  es el ángulo de la inclinación del borde en el medio de la zona del vértice, véase la figura 6.9.

(5) En vigas a dos aguas  $k_r = 1,0$ . En vigas curvas y curvas a dos aguas,  $k_r$  debería obtenerse de la siguiente expresión:

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{para } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,76 + 0,001 \frac{r_{in}}{t} & \text{para } \frac{r_{in}}{t} < 240 \end{cases} \quad (6.49)$$

donde

$r_{in}$  es el radio interior, véase la figura 6.9;

$t$  es el espesor de la lámina.

(6) En la zona del vértice la mayor tensión de tracción perpendicular a la fibra,  $\sigma_{t,90,d}$ , debería cumplir la siguiente condición:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d} \quad (6.50)$$

con

$$k_{vol} = \begin{cases} 1,0 & \text{para madera maciza} \\ \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} & \text{para madera laminada encolada y madera microlaminada (LVL) con} \\ & \text{todas las chapas paralelas al eje de la viga} \end{cases} \quad (6.51)$$

$$k_{dis} = \begin{cases} 1,4 & \text{para vigas a dos aguas y vigas curvas} \\ 1,7 & \text{para vigas curvas a dos aguas} \end{cases} \quad (6.52)$$

donde

$k_{dis}$  es un factor que tiene en cuenta el efecto de la distribución de las tensiones en la zona de vértice;

$k_{vol}$  es un factor de volumen;

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

$V_0$  es el volumen de referencia de 0,01m<sup>3</sup>;

$V$  es el volumen sometido a tensiones de la zona del vértice, en m<sup>3</sup>, (véase la figura 6.9), y no debería tomarse como un valor mayor que  $2V_b/3$ , donde  $V_b$  es el volumen total de la viga.

(7) En el caso de una combinación de tensión de tracción perpendicular a la fibra y cortante debe cumplirse la siguiente condición:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} k_{vol} f_{t,90,d}} \leq 1 \quad (6.53)$$

donde

$\tau_d$  es el valor de cálculo de la tensión de cortante;

$f_{v,d}$  es el valor de cálculo de la resistencia a cortante;

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

$k_{dis}$  y  $k_{vol}$  se definen en el punto (6).

(8) El valor mayor de la tensión de tracción perpendicular a la fibra debida al momento flector debería calcularse mediante la expresión siguiente:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} \quad (6.54)$$

o, de manera alternativa a la expresión (6.54), como

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \frac{6 M_{ap,d}}{b h_{ap}^2} - 0,6 \frac{p_d}{b} \quad (6.55)$$

donde

$p_d$  es la carga uniformemente distribuida que actúa sobre el borde superior de la viga en la zona del vértice;

$b$  es la anchura de la sección de la viga;

$M_{ap,d}$  es el valor de cálculo del momento flector en el vértice que provoca tensiones de tracción en el borde curvo interior;

con:

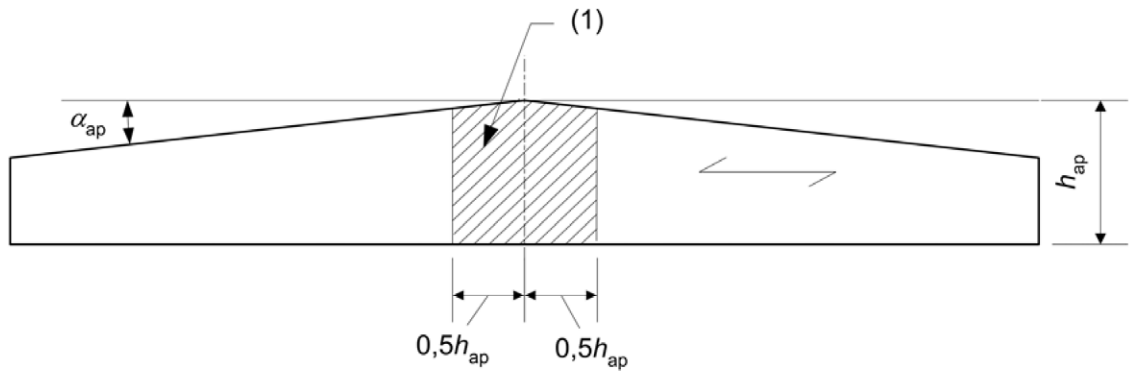
$$k_p = k_5 + k_6 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_7 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 \quad (6.56)$$

$$k_5 = 0,2 \tan \alpha_{ap} \quad (6.57)$$

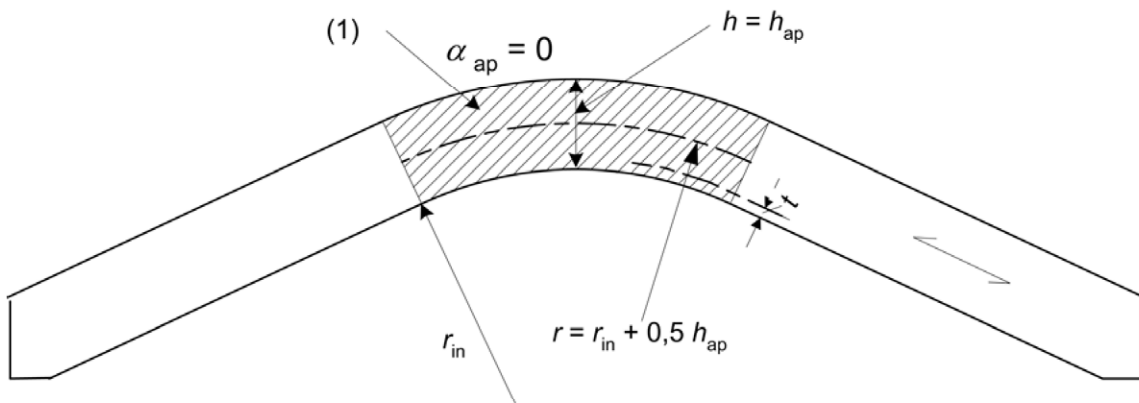
$$k_6 = 0,25 - 1,5 \tan \alpha_{ap} + 2,6 \tan^2 \alpha_{ap} \quad (6.58)$$

$$k_7 = 2,1 \tan \alpha_{ap} - 4 \tan^2 \alpha_{ap} \quad (6.59)$$

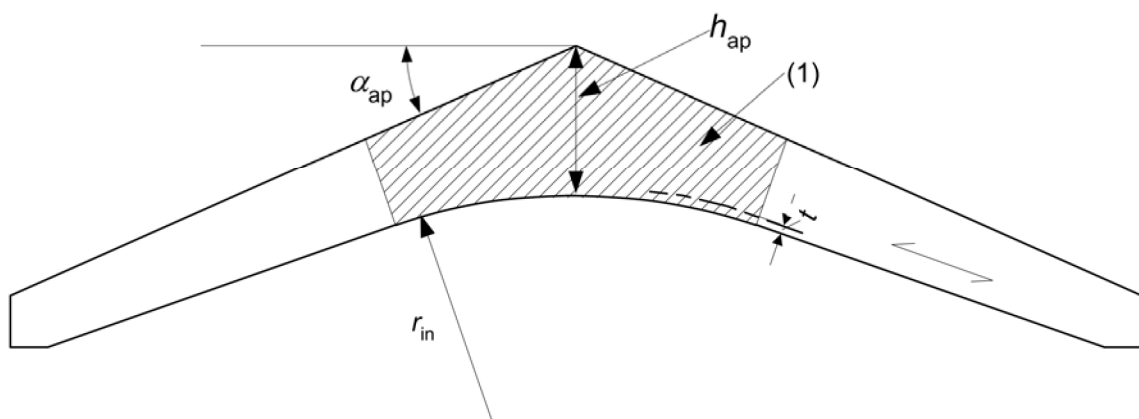
NOTA – La expresión recomendada es la (6.54). En el anexo nacional puede encontrarse información sobre las opciones para la elección entre las expresiones (6.54) y (6.55).



(a)



(b)



(c)

Leyenda:

(1) Zona del vértice

NOTA – En las vigas curvas y curvas a dos aguas la zona del vértice se extiende sobre las partes curvas de la viga.

**Fig. 6.9 – Vigas a dos aguas (a), curvas (b) y curvas a dos aguas (c) con la dirección de la fibra paralela al borde inferior de la viga**

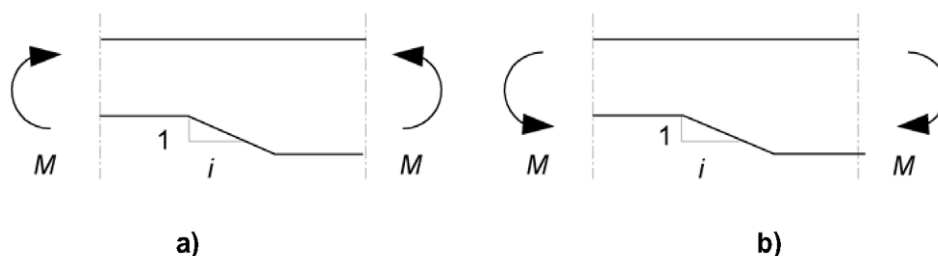
## 6.5 Piezas con entalladuras

### 6.5.1 Generalidades

(1)P Los efectos de concentración de tensiones en las entalladuras deben tenerse en cuenta en la comprobación de la resistencia de las piezas.

(2) El efecto de la concentración de tensiones puede despreciarse en los casos siguientes:

- tracción o compresión paralela a la fibra;
- flexión con tensiones de tracción en la entalladura si la inclinación del borde no es mayor que  $1:i = 1:10$ , esto es  $i \geq 10$ , véase la figura 6.10a;
- flexión con tensiones de compresión en la entalladura, véase la figura 6.10b.



**Fig. 6.10 – Flexión en la entalladura: a) con tensiones de tracción en la entalladura, b) con tensiones de compresión en la entalladura**

### 6.5.2 Vigas con una entalladura en el apoyo

(1) En vigas de sección rectangular cuya fibra se dispone básicamente paralela a la longitud de la pieza, las tensiones de cortante en los apoyos entallados deberían calcularse utilizando el canto eficaz (reducido)  $h_{ef}$  (véase la figura 6.11).

(2) Debería verificarse que se cumple

$$\tau_d = \frac{1,5V}{b h_{ef}} \leq k_v f_{v,d} \quad (6.60)$$

donde

$k_v$  es un factor de reducción definido a continuación:

- En vigas entalladas en el lado opuesto al del apoyo (véase la figura 6.11b)

$$k_v = 1,0 \quad (6.61)$$

- En vigas entalladas en el mismo lado del apoyo (véase la figura 6.11a)

$$k_v = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ k_n \left( 1 + \frac{1,1 i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right) \\ \frac{k_n \left( 1 + \frac{1,1 i^{1,5}}{\sqrt{h}} \right)}{\sqrt{h} \left( \sqrt{\alpha(1-\alpha)} + 0,8 \frac{x}{h} \sqrt{\frac{1}{\alpha} - \alpha^2} \right)} \end{array} \right. \quad (6.62)$$

donde

$i$  es la inclinación de la entalladura (véase la figura 6.11a);

$h$  es el canto de la viga, en mm;

$x$  es la distancia desde la línea de acción de la reacción en el apoyo al arranque de la entalladura, en mm;

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

$$k_n = \begin{cases} 4,5 & \text{para madera microlaminada (LVL)} \\ 5 & \text{para madera maciza} \\ 6,5 & \text{para madera laminada encolada} \end{cases} \quad (6.63)$$

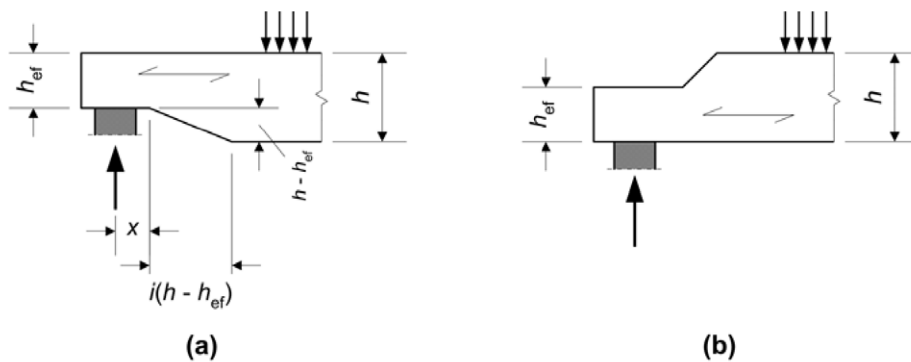


Fig. 6.11 – Vigas con entalladuras en los extremos

## 6.6 Sistema de carga compartida

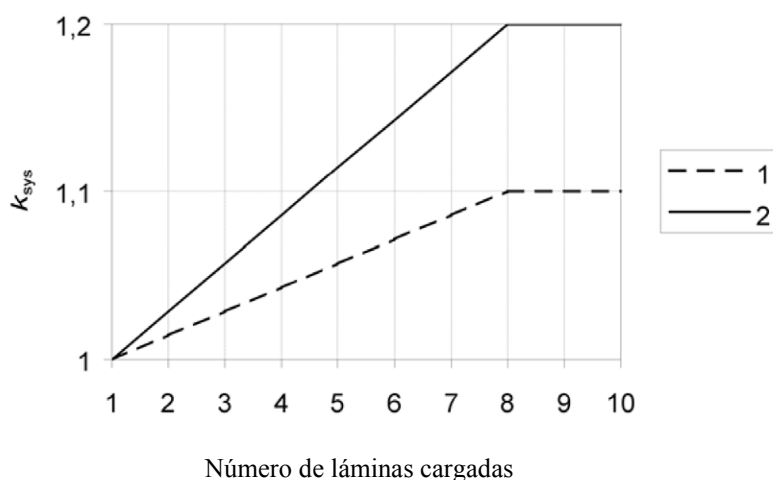
(1) Cuando varias piezas similares separadas a distancias iguales, componentes o sistemas estructurales se encuentran unidas lateralmente por un sistema continuo de distribución de la carga, las propiedades resistentes de las piezas pueden multiplicarse por un factor de carga compartida  $k_{sys}$ .

(2) Siempre que el sistema continuo de distribución de la carga sea capaz de transferir las cargas de una pieza a las piezas vecinas, el factor  $k_{sys}$  debería tomarse igual a 1,1.

(3) La comprobación de la resistencia del sistema de distribución de la carga debería llevarse a cabo suponiendo que las cargas son de corta duración.

NOTA – En cerchas de cubierta con una separación máxima entre ejes de 1,2 m, puede suponerse que los rastreles, correas o paneles pueden transferir la carga a las cerchas vecinas siempre que esas piezas de distribución de la carga sean continuas sobre, al menos, dos vanos, y que los relevos estén desfasados.

(4) En placas o losas de forjado de madera laminada deberían utilizarse los valores de  $k_{sys}$  definidos en la figura 6.12.



### Leyenda

1 Láminas clavadas o atornilladas

2 Láminas pretensadas o encoladas

**Fig. 6.12 – Factor de carga compartida  $k_{sys}$  para placas laminadas de madera maciza o de elementos de madera laminada encolada**

## CAPÍTULO 7 – ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

### 7.1 Deslizamiento de las uniones

(1) En uniones realizadas con medios de fijación de tipo pasador, el módulo de deslizamiento,  $K_{ser}$ , por plano de cortadura y por medio de fijación bajo la carga de servicio, debería tomarse de la tabla 7.1 con  $\rho_m$  en kg/m<sup>3</sup> y  $d$  o  $d_c$  en mm. Para la definición de  $d_c$ , véase la Norma Europea EN 13271.

NOTA – En la Norma Europea EN 26891 el símbolo utilizado es  $k_s$  en lugar de  $K_{ser}$ .

**Tabla 7.1**  
**Valores de  $K_{ser}$  para medios de fijación y conectores, en N/mm, en uniones madera-madera y tableros derivados de la madera-madera**

Tipo de herraje	$K_{ser}$
Pasadores Pernos con o sin holgura <sup>a</sup> Tirafondos Clavos (con pretaladro)	$\rho_m^{1,5} d/23$
Clavos (sin pretaladro)	$\rho_m^{1,5} d^{0,8}/30$
Grapas	$\rho_m^{1,5} d^{0,8}/80$
Conectores de anillo de tipo A de acuerdo con la Norma Europea EN 912 Conectores de placa de tipo B de acuerdo con la Norma Europea EN 912	$\rho_m d_c/2$
Conectores de placa dentada: Conectores de tipos C1 a C9 de acuerdo con la Norma Europea EN 912 Conectores de tipo C10 y C11 de acuerdo con la Norma Europea EN 912	$1,5 \rho_m d_c/4$ $\rho_m d_c/2$
<sup>a</sup> La holgura debería añadirse de forma separada a la deformación.	

(2) Si las densidades medias  $\rho_{m,1}$  y  $\rho_{m,2}$  de dos piezas derivadas de la madera unidas son diferentes, entonces el valor de  $\rho_m$  en las expresiones anteriores debería tomarse como

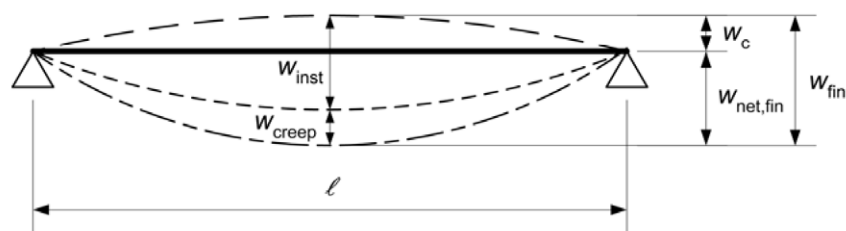
$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} \rho_{m,2}} \quad (7.1)$$

(3) Para uniones acero-madera u hormigón-madera,  $K_{ser}$  debería basarse en  $\rho_m$  determinada para la pieza de madera y puede multiplicarse por 2,0.

### 7.2 Valores límite para las deformaciones de las vigas

(1) En la figura 7.1 se muestran las componentes de la deformación resultantes de una combinación de acciones (véase el párrafo (5) del apartado 2.2.3, donde los símbolos se definen a continuación, véase el apartado 2.2.3:

- $w_c$  es la contraflecha (si existe);
- $w_{inst}$  es la deformación instantánea;
- $w_{creep}$  es la deformación por fluencia;
- $w_{fin}$  es la deformación final;
- $w_{net,fin}$  es la deformación neta final.



**Fig. 7.1 – Componentes de la deformación**

(2) La deformación neta respecto a la línea recta que une los apoyos,  $w_{net,fin}$ , debería calcularse mediante la siguiente expresión:

$$w_{net,fin} = w_{inst} + w_{creep} - w_c = w_{fin} - w_c \quad (7.2)$$

NOTA – El rango de los valores límites recomendados para las deformaciones de las vigas con una luz  $\ell$  viene dado en la tabla 7.2 dependiendo del nivel de deformación considerado aceptable. En el anexo nacional puede encontrarse información de la opción nacional.

**Tabla 7.2**  
**Ejemplos de valores límite para las deformaciones de las vigas**

	$w_{inst}$	$w_{net,fin}$	$w_{fin}$
Vigas sobre dos apoyos	$\ell/300$ a $\ell/500$	$\ell/250$ a $\ell/350$	$\ell/150$ a $\ell/300$
Voladizos	$\ell/150$ a $\ell/250$	$\ell/125$ a $\ell/175$	$\ell/75$ a $\ell/150$

## 7.3 Vibraciones

### 7.3.1 Generalidades

(1)P Debe garantizarse que las acciones que pueden ser razonablemente previstas en una pieza, componente o estructura, no causan vibraciones que puedan mermar la funcionalidad de la estructura o causar una falta de confort aceptable a los usuarios.

(2) El nivel de vibración debería estimarse mediante mediciones o mediante cálculo teniendo en cuenta la rigidez prevista de la pieza, componente o estructura y el coeficiente de amortiguamiento modal.

(3) En el caso de forjados, a no ser que otros valores sean probados como más adecuados, debería suponerse un coeficiente de  $\zeta = 0,01$  (es decir, 1%).

### 7.3.2 Vibraciones provocadas por maquinaria

(1)P Las vibraciones provocadas por maquinaria rotatoria y otros equipos deben limitarse para las combinaciones desfavorables de carga permanente y cargas variables que puedan esperarse.

(2) En el caso de forjados, deberían considerarse como niveles aceptables para vibraciones continuas los indicados en la figura 5a del apéndice A de la Norma Internacional ISO 2631-2 con un factor multiplicador igual a 1,0.

### 7.3.3 Forjados con uso residencial

(1) En el caso de forjados con uso residencial con una frecuencia fundamental menor que 8 Hz ( $f_1 \leq 8$  Hz) debería realizarse un estudio especial.

(2) En el caso de forjados con uso residencial con una frecuencia fundamental mayor que 8 Hz ( $f_1 > 8$  Hz) deberían cumplirse los siguientes requisitos:

$$\frac{w}{F} \leq a \quad \text{mm/kN} \quad (7.3)$$

y

$$v \leq b^{(f_1 \zeta - 1)} \quad \text{m/(Ns}^2) \quad (7.4)$$

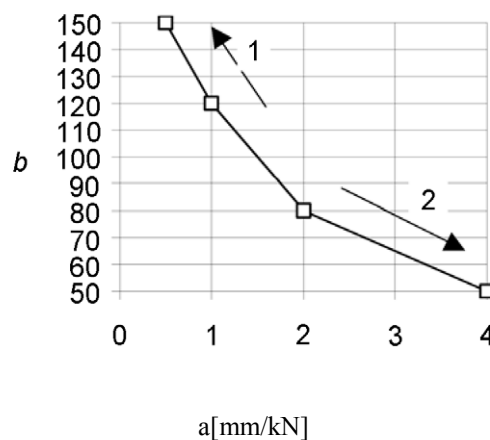
donde

$w$  es el desplazamiento vertical máximo instantáneo causado por una fuerza estática concentrada  $F$  aplicada en cualquier punto del forjado, teniendo en cuenta la distribución de la carga;

$v$  es la respuesta de la velocidad frente a un impulso unitario, es decir, el valor máximo inicial de la velocidad vertical de vibración del forjado (en m/s) provocado por un impulso unitario ideal (1 Ns) aplicado en el punto del forjado en el que se obtenga la máxima respuesta. Pueden despreciarse las componentes por encima de los 40 Hz;

$\zeta$  es el coeficiente de amortiguamiento modal.

NOTA – El rango de los valores límite recomendados de  $a$  y  $b$  y la relación recomendada entre  $a$  y  $b$  viene dada en la figura 7.2. En el anexo nacional puede encontrarse información sobre la opción nacional.



**Leyenda**

- 1 Mejor comportamiento
- 2 Peor comportamiento

**Fig. 7.2 – Rango recomendado de los valores  $a$  y  $b$  y de la relación entre ellos**

(3) Los cálculos según el párrafo (2) del apartado 7.3.3 deberían realizarse bajo la hipótesis de que el forjado se encuentra descargado, es decir, sólo bajo la masa correspondiente al peso propio del forjado y a otras acciones permanentes.

(4) En el caso de forjados de planta rectangular con unas dimensiones  $\ell \times b$ , simplemente apoyado a lo largo de los cuatro bordes, y con vigas de madera con una luz  $\ell$ , la frecuencia fundamental  $f_1$  puede calcularse aproximadamente mediante la siguiente expresión:

$$f_1 = \frac{\pi}{2\ell^2} \sqrt{\frac{(EI)_\ell}{m}} \quad (7.5)$$

donde

$m$  es la masa por unidad de superficie, en  $\text{kg/m}^2$ ;

$\ell$  es la luz del forjado, en m;

$(EI)_\ell$  es la rigidez a flexión de placa equivalente del forjado respecto a un eje perpendicular a la dirección de las vigas, en  $\text{Nm}^2/\text{m}$ .

(5) En el caso de un forjado de planta rectangular con dimensiones  $b \times \ell$ , simplemente apoyado a lo largo de los cuatro bordes, el valor de  $v$  puede, como una aproximación, calcularse mediante la siguiente expresión:

$$v = \frac{4(0,4 + 0,6 n_{40})}{mb\ell + 200} \quad (7.6)$$

donde

$v$  es la respuesta de la velocidad frente a un impulso unitario, en  $\text{m}/(\text{Ns}^2)$ ;

$n_{40}$  es el número de modos de primer orden con frecuencias naturales de hasta 40 Hz;

$b$  es la anchura del forjado, en m;

$m$  es la masa, en  $\text{kg/m}^2$ ;

$\ell$  es la luz del forjado, en m.

El valor de  $n_{40}$  puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$n_{40} = \left\{ \left[ \left( \frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right] \left( \frac{b}{\ell} \right)^4 \frac{(EI)_\ell}{(EI)_b} \right\}^{0,25} \quad (7.7)$$

donde  $(EI)_b$  es la rigidez a flexión de placa equivalente, en  $\text{Nm}^2/\text{m}$ , del forjado respecto a un eje paralelo a las vigas, donde  $(EI)_b < (EI)_\ell$ .

## CAPÍTULO 8 – UNIONES CON MEDIOS DE FIJACIÓN METÁLICOS

### 8.1 Generalidades

#### 8.1.1 Requisitos de los medios de fijación

(1)P A no ser que en este capítulo se incluyan reglas específicas, el valor característico de la capacidad de carga, y la rigidez de las uniones debe determinarse mediante ensayos de acuerdo con las Normas Europeas EN 1075, EN 1380, EN 1381, EN 26891 y EN 28970. Si las normas correspondientes describen ensayos de tracción y de compresión, los ensayos para la determinación del valor característico de la capacidad de carga deben realizarse en tracción.

#### 8.1.2 Uniones con múltiples medios de fijación

(1)P La disposición y tamaño de los medios de fijación en una unión, y las separaciones entre medios de fijación, distancias a los bordes y a la testa, deben elegirse de tal manera que se alcancen la resistencia y rigidez esperadas.

(2)P Debe tenerse en cuenta que la capacidad de carga de una unión con múltiples medios de fijación, que consiste en medios de fijación del mismo tipo y dimensión, puede ser menor que la suma de las capacidades de carga de cada medio de fijación.

(3) Cuando una unión comprende diferentes tipos de medios de fijación, o cuando la rigidez de las uniones en los respectivos planos de corte de una unión de múltiple cortadura es diferente, debería comprobarse su compatibilidad.

(4) En una fila de medios de fijación paralela a la dirección de la fibra, el valor característico eficaz de la capacidad de carga paralela a la fila,  $F_{v,ef,Rk}$ , debería calcularse mediante la siguiente expresión:

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk} \quad (8.1)$$

donde

$F_{v,ef,Rk}$  es el valor característico eficaz de la capacidad de carga de una fila de medios de fijación paralelos a la fibra;

$n_{ef}$  es el número eficaz de medios de fijación alineados paralelamente a la fibra;

$F_{v,Rk}$  es el valor característico de la capacidad de carga de cada medio de fijación en dirección paralela a la fibra.

NOTA — Los valores de  $n_{ef}$  para filas paralelas a la fibra se dan en el párrafo (8) del apartado 8.3.1.1 y el párrafo (4) del apartado 8.5.1.1.

(5) En el caso de que la fuerza actúe con un ángulo respecto a la dirección de la fila, debería comprobarse que la componente de la fuerza paralela a la fila es menor o igual que la capacidad de carga calculada de acuerdo con la expresión (8.1).

#### 8.1.3 Uniones con múltiples planos de cortadura

(1) En uniones con múltiples planos de cortadura, la resistencia de cada plano de cortadura debería determinarse suponiendo que cada plano de cortadura forma parte de una serie de uniones de tres piezas.

(2) Para combinar la resistencia de los planos individuales de cortadura en una unión con múltiples planos de cortadura, el modo crítico de fallo de los medios de fijación en los respectivos planos de cortadura debería ser compatible con cada uno de los otros, y no debería consistir en una combinación de los modos de fallo (a), (b), (g) y (h) de la figura 8.2 o de los modos (e), (f) y (j/l) de la figura 8.3, con los otros modos de fallo.

#### 8.1.4 Uniones con fuerzas que forman un ángulo con la dirección de la fibra

(1)P Cuando una fuerza en una unión actúa con un ángulo respecto a la fibra (véase la figura 8.1), debe tenerse en cuenta la posibilidad de hienda causada por la componente de la fuerza de tracción perpendicular a la fibra,  $F_{Ed} \sin \alpha$ .

(2)P Para tener en cuenta la posibilidad de hienda causada por la componente de la fuerza, de tracción perpendicular a la fibra  $F_{Ed}$  sen  $\alpha$ , debe cumplirse la siguiente condición:

$$F_{v,Ed} \leq F_{90,Rd} \quad (8.2)$$

con

$$F_{v,Ed} = \max. \begin{cases} F_{v,Ed,1} \\ F_{v,Ed,2} \end{cases} \quad (8.3)$$

donde

$F_{90,Rd}$  es el valor de cálculo de la capacidad de carga a la hienda, calculado a partir del valor característico de la capacidad de carga a la hienda,  $F_{90,Rk}$ , de acuerdo con el apartado 2.4.3;

$F_{v,Ed,1}$ ,  $F_{v,Ed,2}$  son los valores de cálculo de los cortantes a ambos lados de la unión (véase la figura 8.1).

(3) Para madera de coníferas, el valor característico de la capacidad de carga a la hienda para la disposición mostrada en la figura 8.1, se debería calcular mediante la siguiente expresión:

$$F_{90,Rk} = 14 b w \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} \quad (8.4)$$

donde

$$w = \begin{cases} \max. \left\{ \left( \frac{w_{pl}}{100} \right)^{0,35} \right. & \text{para placas metálicas dentadas} \\ 1 & \text{para otros tipos de herrajes} \end{cases} \quad (8.5)$$

y:

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

$w$  es un factor de modificación;

$h_e$  es la distancia desde el borde cargado al centro del medio de fijación más lejano o al borde de la placa metálica dentada, en mm;

$h$  es la altura de la pieza de madera, en mm;

$b$  es el espesor de la pieza, en mm;

$w_{pl}$  es la anchura de la placa metálica dentada en dirección paralela a la fibra, en mm.

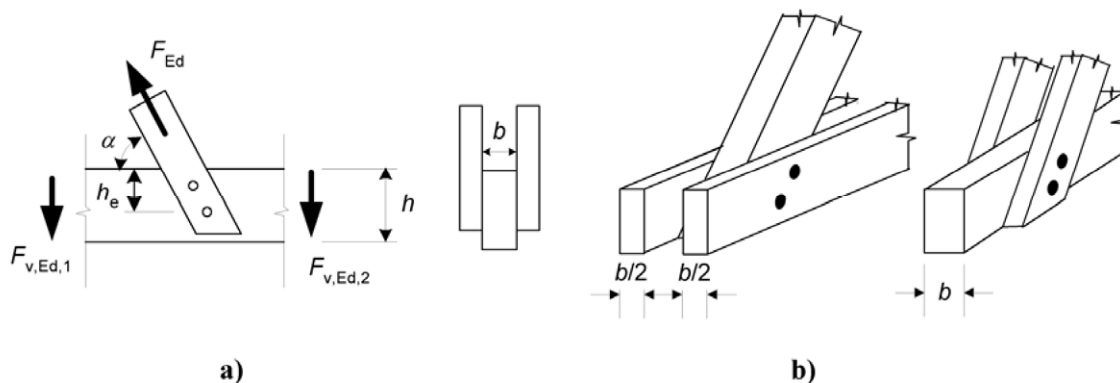


Fig. 8.1 – Fuerza inclinada transmitida en una unión

### 8.1.5 Uniones con fuerzas alternas

(1)P El valor característico de la capacidad de carga de una unión debe reducirse si la unión está sometida a sollicitaciones alternas internas debidas a acciones de duración larga o media.

(2) El efecto en la resistencia de una unión bajo acciones de larga o media duración, que alternan entre una sollicitación de tracción  $F_{t,Ed}$  y una sollicitación de compresión  $F_{c,Ed}$ , debería tenerse en cuenta dimensionando la unión para  $(F_{t,Ed} + 0,5F_{c,Ed})$  y  $(F_{c,Ed} + 0,5F_{t,Ed})$ .

## 8.2 Capacidad de carga lateral de medios de fijación de tipo pasador

### 8.2.1 Generalidades

(1)P Para la determinación del valor característico de la capacidad de carga de uniones con medios de fijación de tipo pasador, deben considerarse las contribuciones de la plastificación del medio de fijación, la resistencia al aplastamiento de la madera, y la resistencia al arranque del medio de fijación.

### 8.2.2 Uniones madera-madera y tablero-madera

(1) El valor característico de la capacidad de carga para los clavos, grapas, pernos, pasadores y tirafondos por plano de cortante y por medio de fijación, debería tomarse con el valor mínimo de los obtenidos en las siguientes expresiones:

– Para medios de fijación en cortadura simple:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{ll} f_{h,1,k} t_1 d & (a) \\ f_{h,2,k} t_2 d & (b) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (f) \end{array} \right. \quad (8.6)$$

Para medios de fijación en cortadura doble:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (g) \\ 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (h) \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (j) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases} \quad (8.7)$$

con

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (8.8)$$

donde

- $F_{v,Rk}$  es el valor característico de la capacidad de carga por plano de cortadura y por medio de fijación;
- $t_i$  es el espesor de la madera o del tablero o la profundidad de penetración, siendo  $i$  igual a 1 ó 2, véanse también los apartados 8.3 a 8.7;
- $f_{h,i,k}$  es el valor característico de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera  $i$ ;
- $d$  es el diámetro del medio de fijación;
- $M_{y,Rk}$  es el valor característico del momento plástico del medio de fijación;
- $\beta$  es la relación entre las resistencias al aplastamiento de las piezas;
- $F_{ax,Rk}$  es el valor característico de la capacidad de carga al arranque del medio de fijación, véase el párrafo (2).

NOTA – La plastificación de las uniones puede garantizarse cuando se utilizan medios de fijación relativamente esbeltos. En este caso, los modos de fallo (f) y (k) son determinantes.

(2) En las expresiones (8.6) y (8.7), el primer término del lado derecho es la capacidad de carga de acuerdo con la teoría de plastificación de Johansen, mientras que el segundo término  $F_{ax,Rk}/4$  es la contribución del efecto sogá. La contribución a la capacidad de carga debida al efecto sogá debería limitarse a los siguientes porcentajes de la parte de Johansen:

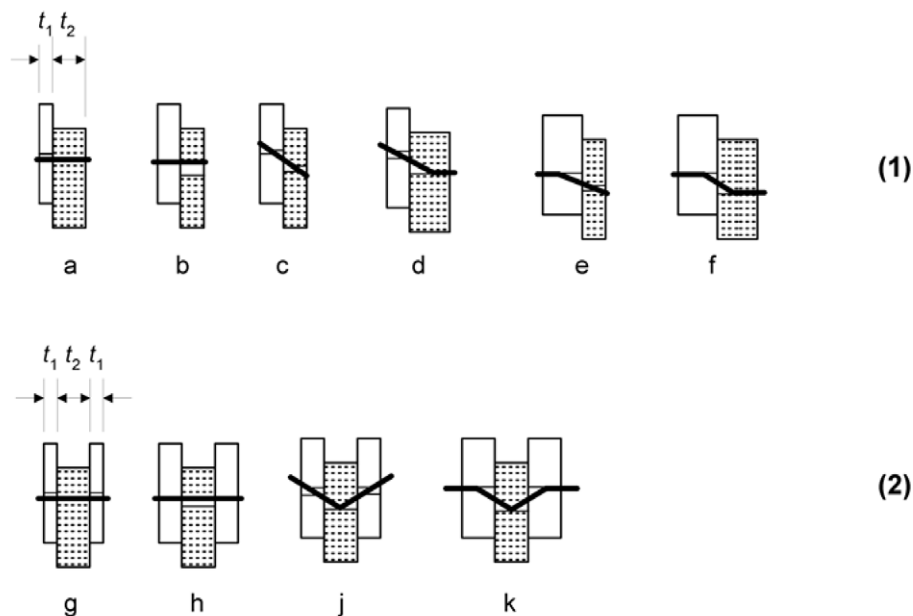
– Clavos de sección circular	15%
– Clavos de sección cuadrada y ranurados	25%
– Otros tipos de clavos	50%
– Tirafondos	100%
– Pernos	25%
– Pasadores	0%

Si no se conoce  $F_{ax,Rk}$ , la contribución del efecto sogá debería tomarse como cero.

En medios de fijación a cortadura simple, el valor característico de la capacidad de carga al arranque,  $F_{ax,Rk}$ , se toma como la menor de las capacidades de ambas piezas. Los diferentes modos de fallo se muestran en la figura 8.2. Para la capacidad de arranque de los pernos,  $F_{ax,Rk}$ , puede tenerse en cuenta la resistencia aportada por las arandelas, véase el párrafo (2) del apartado 8.5.2.

(3) Si no se dan reglas de cálculo más adelante, el valor característico de la resistencia al aplastamiento,  $f_{h,k}$ , debería determinarse de acuerdo con las Normas Europeas EN 383 y EN 14358.

(4) Si no se dan reglas de cálculo más adelante, el valor característico del momento plástico  $M_{y,Rk}$  debería determinarse de acuerdo con las Normas Europeas EN 409 y EN 14358.



#### Leyenda

(1) Cortadura simple

(2) Cortadura doble

NOTA — Las letras corresponden a las referencias de las expresiones (8.6) y (8.7).

**Fig. 8.2 – Modos de fallo para uniones con madera y tablero**

### 8.2.3 Uniones de acero-madera

(1) El valor característico de la capacidad de carga de una unión acero-madera depende del espesor de las placas de acero. Las placas con espesor menor o igual a  $0,5d$  se clasifican como placas delgadas, y las placas con espesor mayor o igual a  $d$ , con una tolerancia de los diámetros de los agujeros menor que  $0,1d$ , se clasifican como placas gruesas. El valor característico de la capacidad de carga de las uniones con placas de acero de espesor intermedio entre las delgadas y las gruesas debería calcularse mediante una interpolación lineal entre los valores límites de la placa delgada y la gruesa.

(2)P Debe comprobarse la resistencia de la placa de acero.

(3) El valor característico de la capacidad de carga para los clavos, pernos, pasadores y tirafondos, por plano de cortadura y por medio de fijación, debería tomarse igual al valor mínimo de los obtenidos en las siguientes expresiones:

– Para placa delgada en cortadura simple:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,4 f_{h,k} t_1 d & (a) \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (b) \end{cases} \quad (8.9)$$

– Para placa gruesa en cortadura simple:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (c) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (d) \\ f_{h,k} t_1 d & (e) \end{cases} \quad (8.10)$$

– Para placa de acero de cualquier espesor como pieza central de una unión a cortadura doble:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (f) \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (h) \end{cases} \quad (8.11)$$

– Para placas de acero delgadas como piezas exteriores de una unión a cortadura doble:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (j) \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases} \quad (8.12)$$

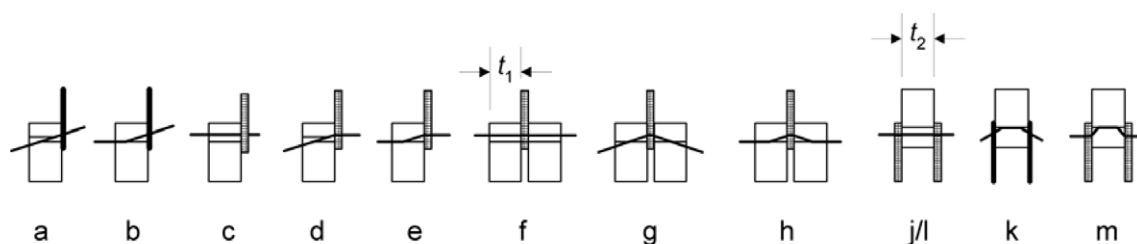
– Para placas de acero gruesas como piezas exteriores en una unión a cortadura doble:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (l) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (m) \end{cases} \quad (8.13)$$

donde

$F_{v,Rk}$	es el valor característico de la capacidad de carga por plano de cortadura y por medio de fijación;
$f_{h,k}$	es el valor característico de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera;
$t_1$	es el valor menor entre el espesor de la pieza lateral de madera y la profundidad de penetración;
$t_2$	es el espesor de la pieza central de madera;
$d$	es el diámetro del medio de fijación;
$M_{y,Rk}$	es el valor característico del momento plástico del medio de fijación;
$F_{ax,Rk}$	es el valor característico de la capacidad de arranque del medio de fijación.

NOTA 1 – Los diferentes modos de fallo se muestran en la figura 8.3.



**Fig. 8.3 – Modos de fallo para uniones de acero-madera**

(4) Se aplican las limitaciones del efecto sogá en  $F_{ax,Rk}$  indicadas en el párrafo (2) del apartado 8.2.2.

(5)P Debe tenerse en cuenta que la capacidad de carga de las uniones de acero-madera con una testa cargada puede quedar reducida por un fallo perimetral del grupo de medios de fijación.

NOTA – En el anexo A (informativo) se incluye un método para la determinación de la resistencia del grupo de medios de fijación.

### 8.3 Uniones clavadas

#### 8.3.1 Clavos con carga lateral

##### 8.3.1.1 Generalidades

(1) Los símbolos utilizados para los groesos en uniones de cortadura simple y doble (véase la figura 8.4) se definen a continuación:

$t_1$  es:

el espesor de la pieza situada en la cabeza en una unión de cortadura simple;

el valor menor entre el espesor de la pieza de cabeza y la penetración en la pieza de punta en una unión de cortadura doble;

$t_2$  es:

la penetración en la pieza de punta en uniones de cortadura simple;

el espesor de la pieza central en uniones de cortadura doble.

(2) Se debería realizar un pretaladro en la madera cuando:

- el valor característico de la densidad de la madera es mayor que 500 kg/m<sup>3</sup>;
- el diámetro  $d$  del clavo es mayor que 8 mm.

(3) En los clavos de sección cuadrada o ranurada, se debería tomar como diámetro del clavo  $d$  la dimensión del lado de la sección.

(4) En clavos lisos fabricados a partir de alambre con una resistencia mínima a tracción de 600 N/mm<sup>2</sup>, deberían utilizarse los siguientes valores característicos para el momento plástico:

$$M_{y,Rk} = \begin{cases} 0,3 f_u d^{2,6} & \text{para clavos de sección circular} \\ 0,45 f_u d^{2,6} & \text{para clavos de sección cuadrada y ranurados} \end{cases} \quad (8.14)$$

donde

$M_{y,Rk}$  es el valor característico del momento plástico, en Nmm;

$d$  es el diámetro del clavo definido según la Norma Europea EN 14592, en mm;

$f_u$  es la resistencia a tracción del alambre, en N/mm<sup>2</sup>.

(5) En clavos con diámetros de hasta 8 mm, se aplican los siguientes valores característicos de la resistencia al aplastamiento en madera y madera microlaminada (LVL):

– Sin pretaladros:

$$f_{h,k} = 0,082 \rho_k d^{-0,3} \quad \text{N/mm}^2 \quad (8.15)$$

– Con pretaladros:

$$f_{h,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad \text{N/mm}^2 \quad (8.16)$$

donde

$\rho_k$  es el valor característico de la densidad de la madera, en kg/m<sup>3</sup>;

$d$  es el diámetro del clavo, en mm.

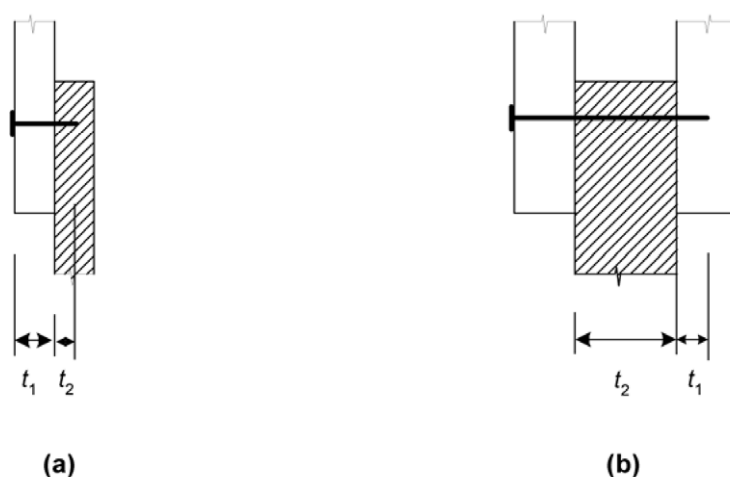
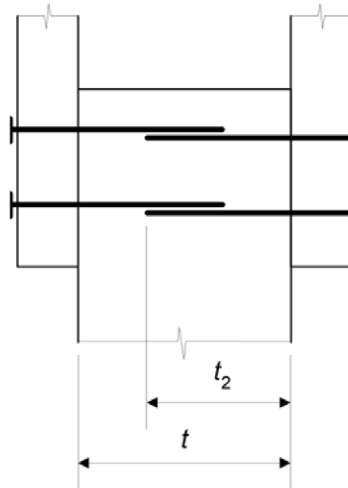


Fig. 8.4 – Definición de  $t_1$  y  $t_2$  (a) unión de cortadura simple, (b) unión de cortadura doble

(6) Para los clavos con diámetros superiores a 8 mm, se aplica el valor característico de la resistencia al aplastamiento de los pernos definido en el apartado 8.5.1.

(7) En uniones con tres piezas, los clavos pueden solaparse en la pieza central siempre que  $(t - t_2)$  sea mayor que  $4d$  (véase la figura 8.5).



**Fig. 8.5 – Clavos solapados**

(8) Para una fila de  $n$  clavos dispuestos paralelamente a la dirección de la fibra, excepto en el caso en que los clavos de esa fila estén distribuidos al tresbolillo con una separación perpendicular a la fibra de al menos  $1d$  (véase la figura 8.6), la capacidad de carga paralela a la fibra (véase el párrafo (4) del apartado 8.1.2) debería calcularse utilizando el número eficaz de medios de fijación  $n_{ef}$ , donde

$$n_{ef} = n^{k_{ef}} \quad (8.17)$$

donde

$n_{ef}$  es el número eficaz de clavos en la fila;

$n$  es el número de clavos en una fila;

$k_{ef}$  se define en la tabla 8.1.

**Tabla 8.1**  
**Valores de  $k_{ef}$**

Separación <sup>a</sup>	$k_{ef}$	
	Sin pretaladro	Con pretaladro
$a_1 \geq 14d$	1,0	1,0
$a_1 = 10d$	0,85	0,85
$a_1 = 7d$	0,7	0,7
$a_1 = 4d$	—	0,5
<sup>a</sup> Para separaciones intermedias, se permite la interpolación lineal de $k_{ef}$		



**Leyenda**

1 Clavo

2 Dirección de la fibra

**Fig. 8.6 – Clavos en una fila paralela a la fibra distribuidos al tresbolillo con una separación perpendicular a la fibra igual a  $d$**

(9) Al menos debería haber dos clavos en una unión.

(10) En el apartado 10.4.2 se incluyen los requisitos para los detalles constructivos de las uniones clavadas.

### 8.3.1.2 Uniones clavadas madera-madera

(1) En los clavos lisos la longitud de penetración en la pieza de punta debería ser como mínimo igual a  $8d$ .

(2) En otros tipos de clavos que no sean lisos, como se definen en la Norma Europea EN 14592, la longitud de penetración en la pieza de punta debería ser de al menos  $6d$ .

(3) Los clavos colocados en la testa no deberían considerarse con capacidad de transmitir cargas laterales.

(4) Como alternativa a lo establecido en el párrafo (3) del apartado 8.3.1.2, para los clavos en la testa se aplican las reglas siguientes:

- Pueden utilizarse clavos lisos en estructuras secundarias. Los valores de cálculo de la capacidad de carga deberían tomarse igual a  $1/3$  de los valores para los clavos colocados perpendiculares a la dirección de la fibra.
- Los otros tipos de clavos que no sean lisos, como se definen en la Norma Europea EN 14592, pueden utilizarse en estructuras que no sean secundarias. Los valores de cálculo de la capacidad de carga deberían tomarse igual a  $1/3$  de los valores correspondientes a los clavos lisos de diámetro equivalente colocados perpendiculares a la fibra, siempre que:
  - Los clavos estén cargados lateralmente únicamente.
  - Al menos existan tres clavos por unión.
  - La penetración en la pieza de punta sea de al menos  $10d$ .
  - La unión no esté expuesta a las condiciones de la clase de servicio 3.
  - Se cumplan las separaciones y distancias a los bordes prescritas en la tabla 8.2.

NOTA 1 – Un ejemplo de una estructura secundaria es una pieza clavada a las testas de los pares como remate.

NOTA 2 – En el párrafo (3) del apartado 8.3.1.2 se recoge la regla de aplicación recomendada. En el anexo nacional se puede especificar la opción nacional.

(5) Las separaciones y distancias a los bordes y a la testa mínimas se especifican en la tabla 8.2, donde (véase la figura 8.7):

$a_1$  es la separación entre los clavos de una fila, medida en dirección paralela a la fibra;

$a_2$  es la separación entre las filas de clavos, medida en dirección perpendicular a la fibra;

$a_{3,c}$  es la distancia entre el clavo y la testa no cargada;

$a_{3,t}$  es la distancia entre el clavo y la testa cargada;

$a_{4,c}$  es la distancia entre el clavo y el borde no cargado;

$a_{4,t}$  es la distancia entre el clavo y el borde cargado;

$\alpha$  es el ángulo entre la dirección de la fuerza y la dirección de la fibra.

**Tabla 8.2**  
**Separaciones y distancias mínimas a los bordes y a la testa para los clavos**

Separación o distancia (véase la figura 8.7)	Ángulo $\alpha$	Separación o distancia mínimas a la testa o al borde		
		Sin pretaladro		Con pretaladro
		$\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$	$420 \text{ kg/m}^3 < \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3$	
Separación $a_1$ (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+5  \cos \alpha ) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+7  \cos \alpha ) d$	$(7+8  \cos \alpha ) d$	$(4+  \cos \alpha ) d$
Separación $a_2$ (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$(3+  \sin \alpha ) d$
Distancia $a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(10+ 5 \cos \alpha) d$	$(15+ 5 \cos \alpha) d$	$(7+ 5 \cos \alpha) d$
Distancia $a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$10d$	$15d$	$7d$
Distancia $a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(5+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(5+ 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(7+2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(7+ 5 \sin \alpha) d$	$d < 5 \text{ mm:}$ $(3+ 2 \sin \alpha) d$ $d \geq 5 \text{ mm:}$ $(3+ 4 \sin \alpha) d$
Distancia $a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$5d$	$7d$	$3d$

(6) La madera debería pretaladrarse cuando el espesor de las piezas de madera sea menor que

$$t = \max. \begin{cases} 7d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{400} \end{cases} \quad (8.18)$$

donde

$t$  es el espesor mínimo de la pieza de madera que no requiere pretaladrado, en mm;

$\rho_k$  es el valor característico de la densidad, en kg/m<sup>3</sup>;

$d$  es el diámetro del clavo, en mm.

(7) La madera de especies especialmente sensibles a la hienda deberían pretaladrarse cuando el espesor de las piezas de madera sea menor que

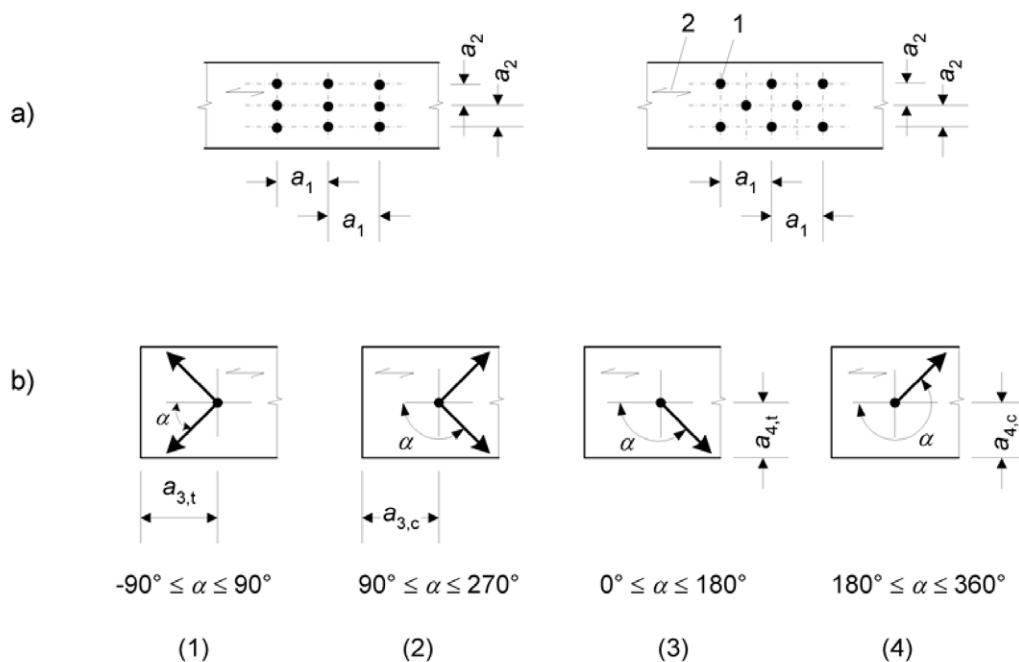
$$t = \max. \begin{cases} 14d \\ (13d - 30) \frac{\rho_k}{200} \end{cases} \quad (8.19)$$

La expresión (8.19) puede sustituirse por la expresión (8.18) para distancias a los bordes dadas por:

$$a_4 \geq 10 d \quad \text{para } \rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$$

$$a_4 \geq 14 d \quad \text{para } 420 \text{ kg/m}^3 \leq \rho_k \leq 500 \text{ kg/m}^3.$$

NOTA – Ejemplos de especies sensibles a la hienda son el abeto (*Abies alba*), Pino oregón (*Pseudotsuga menziesii*) y el falso abeto (*Picea abies*). Es recomendable aplicar lo indicado en el párrafo (7) del apartado 8.3.1.2 para las especies de abeto (*abies alba*) y pino oregón (*pseudotsuga menziesii*). En el anexo nacional puede especificarse la opción nacional.



#### Leyenda

- (1) Testa cargada
- (2) Testa no cargada
- (3) Borde cargado
- (4) Borde no cargado
- 1 Medio de fijación
- 2 Dirección de la fibra

**Fig. 8.7 – Separaciones y distancias a la testa y a los bordes (a) Separación paralela a la fibra en una fila y perpendicular a la fibra entre filas, (b) Distancias al borde y a la testa**

#### 8.3.1.3 Uniones clavadas tablero-madera

(1) Las separaciones mínimas entre clavos para toda unión clavada tablero-madera son las definidas en la tabla 8.2, multiplicadas por un factor de 0,85. Las distancias a la testa/borde para los clavos permanecen sin modificación a no ser que se establezca más adelante.

(2) Las distancias mínimas al borde y a la testa en piezas de tablero contrachapado deberían tomarse como  $3d$  para un borde no cargado (o testa) y  $(3 + 4 \sin \alpha)d$  para un borde cargado (o testa), donde  $\alpha$  es el ángulo entre la dirección de la carga y el borde cargado (o testa).

(3) En clavos con un diámetro de la cabeza de al menos  $2d$ , el valor característico de la resistencia al aplastamiento se obtiene de las expresiones siguientes:

– para tableros contrachapados:

$$f_{h,k} = 0,11 \rho_k d^{-0,3} \quad (8.20)$$

donde

- $f_{h,k}$  es el valor característico de la resistencia al aplastamiento, en  $\text{N/mm}^2$ ;
- $\rho_k$  es el valor característico de la densidad del tablero contrachapado, en  $\text{kg/m}^3$ ;
- $d$  es el diámetro del clavo, en mm;

- para tableros de fibras duros de acuerdo con la Norma Europea EN 622-2:

$$f_{h,k} = 30 d^{-0,3} t^{0,6} \quad (8.21)$$

donde

$f_{h,k}$  es el valor característico de la resistencia al aplastamiento, en N/mm<sup>2</sup>;

$d$  es el diámetro del clavo, en mm;

$t$  es el espesor del tablero, en mm.

- para tableros de partículas y de virutas orientadas (OSB):

$$f_{h,k} = 65 d^{-0,7} t^{0,1} \quad (8.22)$$

donde

$f_{h,k}$  es el valor característico de la resistencia al aplastamiento, en N/mm<sup>2</sup>;

$d$  es el diámetro del clavo, en mm;

$t$  es el espesor del tablero, en mm.

### 8.3.1.4 Uniones clavadas acero-madera

(1) En relación a las distancias mínimas a los bordes y a la testa se aplica lo indicado en la tabla 8.2. Las separaciones mínimas entre clavos son las definidas en la tabla 8.2, multiplicadas por un factor de 0,7.

### 8.3.2 Clavos con carga axial

(1)P Los clavos lisos no se deben utilizar para resistir cargas de duración permanente o larga.

(2) En los clavos corrugados, únicamente se debería considerar capaz de transmitir carga axial a la parte corrugada.

(3) Los clavos en la testa deberían considerarse incapaces de transmitir carga axial.

(4) El valor característico de la capacidad de arranque de los clavos,  $F_{ax,Rk}$ , para un clavado perpendicular a la fibra (véase la figura 8.8 (a) y para clavos oblicuos (véase la figura 8.8 (b)), debería tomarse como el valor menor de los obtenidos con las expresiones siguientes:

- para clavos diferentes a los clavos lisos, como se definen en la Norma Europea EN 14592:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} & (a) \\ f_{head,k} d^2 & (b) \end{cases} \quad (8.23)$$

- para clavos lisos:

$$F_{ax,Rk} = \begin{cases} f_{ax,k} d t_{pen} & (a) \\ f_{ax,k} d t + f_{head,k} d^2 & (b) \end{cases} \quad (8.24)$$

donde

$f_{ax,k}$  es el valor característico de la resistencia al arranque en la pieza de punta;

$f_{head,k}$  es el valor característico de la resistencia al punzonamiento de la cabeza del clavo;

$d$  es el diámetro del clavo de acuerdo con el apartado 8.3.1.1;

- $t_{\text{pen}}$  es la longitud de penetración en la pieza de punta o la longitud de la parte corrugada en la pieza de punta;  
 $t$  es el espesor de la pieza de cabeza;  
 $d_h$  es el diámetro de la cabeza del clavo.

(5) El valor característico de las resistencias  $f_{\text{ax},k}$  y  $f_{\text{head},k}$  debería determinarse mediante ensayos de acuerdo con las Normas Europeas EN 1382, EN 1383 y EN 14358 salvo que se especifique a continuación.

(6) En clavos lisos con una penetración en la pieza de punta de al menos  $12d$ , los valores característicos de las resistencias al arranque y al punzonamiento de la cabeza deberían obtenerse mediante las expresiones siguientes:

$$f_{\text{ax},k} = 20 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (8.25)$$

$$f_{\text{head},k} = 70 \times 10^{-6} \rho_k^2 \quad (8.26)$$

donde

$\rho_k$  es el valor característico de la densidad de la madera, en  $\text{kg/m}^3$ ;

(7) En clavos lisos, la penetración en la pieza de punta,  $t_{\text{pen}}$ , debería ser al menos  $8d$ . En clavos con una penetración en la pieza de punta inferior a  $12d$ , la capacidad de arranque debería multiplicarse por  $(t_{\text{pen}}/4d - 2)$ . En clavos corrugados, la penetración en la pieza de punta debería ser al menos  $6d$ . En clavos con una penetración en la pieza de punta inferior a  $8d$ , la capacidad de arranque debería multiplicarse por  $(t_{\text{pen}}/2d - 3)$ .

(8) En el caso de madera estructural que se instale en o cerca del punto de saturación de las fibras, y que probablemente vaya a secarse bajo carga, los valores de  $f_{\text{ax},k}$  y  $f_{\text{head},k}$  deberían multiplicarse por  $2/3$ .

(9) Las separaciones, las distancias a la testa y al borde para clavos con carga lateral son de aplicación a los clavos de carga axial.

(10) En los clavos oblicuos, la distancia al borde cargado debería ser al menos  $10d$  (véase la figura 8.8 (b)). Al menos, debería haber dos clavos oblicuos en una unión.

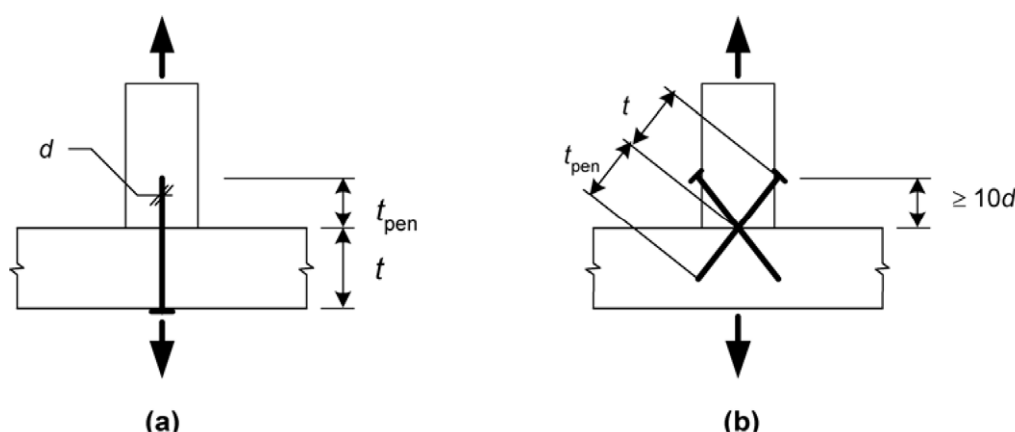


Fig. 8.8 – (a) Clavado perpendicular a la fibra y (b) clavado oblicuo

### 8.3.3 Clavos sometidos a una combinación de carga lateral y axial

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

– En clavos lisos:

$$\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad (8.27)$$

– En clavos que no sean lisos, como se definen en la Norma Europea EN 14592:

$$\left( \frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \quad (8.28)$$

donde

$F_{ax,Rd}$  y  $F_{v,Rd}$  son los valores de cálculo de las capacidades de carga de la unión cargada con la carga axial o la carga lateral respectivamente.

### 8.4 Uniones grapadas

(1) Las reglas definidas en el apartado 8.3, excepto las establecidas en los párrafos (5) y (6) del apartado 8.3.1.1 y en el párrafo (7) del apartado 8.3.1.2, son aplicables a grapas redondas o próximas a redondas o a grapas rectangulares con patas con puntas biseladas o simétricas y agudas.

(2) En grapas con secciones transversales rectangulares, el diámetro  $d$  debería tomarse igual a la raíz cuadrada del producto de sus dos dimensiones.

(3) La anchura  $b$  de la corona de la grapa debería ser al menos  $6d$ , y la longitud de penetración en la pieza de punta,  $t_2$ , debería ser al menos  $14d$ , véase la figura 8.9.

(4) En una unión debería haber al menos dos grapas.

(5) El valor de cálculo de la capacidad de carga lateral por grapa y por plano de cortadura debería considerarse equivalente al de dos clavos con el diámetro de la grapa, siempre que el ángulo entre la corona y la dirección de la fibra de la madera bajo la corona sea mayor que  $30^\circ$ , véase la figura 8.10. Si el ángulo entre la corona y la dirección de la fibra bajo la corona es menor o igual que  $30^\circ$ , el valor de cálculo de la capacidad de carga lateral debería multiplicarse por un factor igual a 0,7.

(6) Para las grapas fabricadas a partir de un alambre con una resistencia mínima a tracción de  $800 \text{ N/mm}^2$ , debería utilizarse el siguiente valor característico del momento plástico por cada pata:

$$M_{y,Rk} = 240 d^{2,6} \quad (8.29)$$

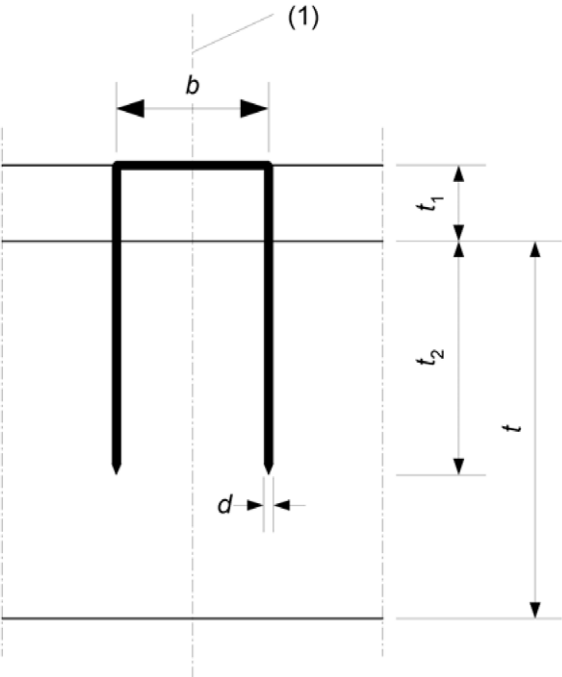
donde

$M_{y,Rk}$  es el valor característico del momento plástico, en Nmm;

$d$  es el diámetro de la pata de la grapa, en mm.

(7) En una fila de  $n$  grapas paralelas a la fibra, la capacidad de carga en esa dirección debería calcularse utilizando el número eficaz de medios de fijación,  $n_{ef}$ , de acuerdo con el párrafo (8) del apartado 8.3.1.1.

(8) Los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas se dan en la tabla 8.3, y se ilustran en la figura 8.10, donde  $\theta$  es el ángulo entre la corona de la grapa y la dirección de la fibra.



Leyenda  
(1) Centro de la grapa

Fig. 8.9 – Dimensiones de la grapa

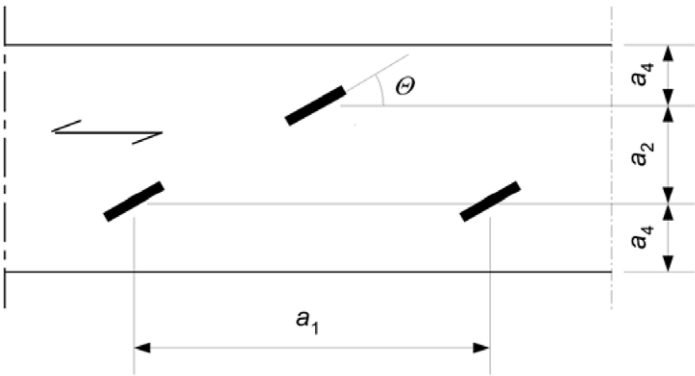


Fig. 8.10 – Definición de las separaciones en las grapas

**Tabla 8.3**  
**Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas en las grapas**

Separaciones y distancias al borde/testa (véase la figura 8.7)	Ángulo	Separación o distancia mínima al borde/testa
$a_1$ (paralela a la fibra) para $\theta \geq 30^\circ$ para $\theta < 30^\circ$	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(10 + 5 \left  \cos \alpha \right ) d$ $(15 + 5 \left  \cos \alpha \right ) d$
$a_2$ (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$15 d$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$(15 + 5 \left  \cos \alpha \right ) d$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$15 d$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(15 + 5 \left  \sin \alpha \right ) d$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$10 d$

## 8.5 Uniones con pernos

### 8.5.1 Pernos con carga lateral

#### 8.5.1.1 Generalidades y uniones con pernos entre madera y madera

(1) En pernos debería utilizarse el siguiente valor característico para el momento plástico:

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} \quad (8.30)$$

donde

$M_{y,Rk}$  es el valor característico del momento plástico, en Nmm;

$f_{u,k}$  es el valor característico de la resistencia a tracción, en N/mm<sup>2</sup>;

$d$  es el diámetro del perno, en mm.

(2) En pernos con diámetros de hasta 30 mm, debería utilizarse el siguiente valor característico de la resistencia al aplastamiento en madera y madera microlaminada (LVL), con un ángulo  $\alpha$  respecto a la dirección de la fibra:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.31)$$

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad (8.32)$$

donde

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{para coníferas} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{para madera microlaminada (LVL)} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{para frondosas} \end{cases} \quad (8.33)$$

y

$f_{h,0,k}$  es el valor característico de la resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra, en N/mm<sup>2</sup>;

$\rho_k$  es el valor característico de la densidad de la madera, en kg/m<sup>3</sup>;

$\alpha$  es el ángulo formado entre la dirección de la carga y la fibra;

$d$  es el diámetro del perno, en mm.

(3) Los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas deberían tomarse de la tabla 8.4, con los símbolos ilustrados en la figura 8.7.

**Tabla 8.4**  
**Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas para los pernos**

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

(4) En una fila de  $n$  pernos paralela a la dirección de la fibra, la capacidad de carga paralela a la fibra, véase el párrafo (4) del apartado 8.1.2, debería calcularse utilizando el número eficaz de pernos,  $n_{\text{ef}}$ , donde:

$$n_{\text{ef}} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right. \quad (8.34)$$

donde

$a_1$  es la separación entre pernos en la dirección de la fibra;

$d$  es el diámetro del perno;

$n$  es el número de pernos en la fila.

Para cargas perpendiculares a la fibra, el número eficaz de medios de fijación debería tomarse según la siguiente expresión:

$$n_{\text{ef}} = n \quad (8.35)$$

Para ángulos  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  entre la carga y la dirección de la fibra,  $n_{\text{ef}}$  puede determinarse mediante una interpolación lineal entre las expresiones (8.34) y (8.35).

(5) Los requisitos para las dimensiones mínimas de la arandela y su espesor en relación al diámetro del perno se dan en el apartado 10.4.3.

#### 8.5.1.2 Uniones con pernos entre tablero y madera

(1) Para el tablero contrachapado, debería utilizarse el siguiente valor de la resistencia al aplastamiento, en  $\text{N/mm}^2$ , para cualquier ángulo con la dirección de la fibra:

$$f_{h,k} = 0,11 (1 - 0,01 d) \rho_k \quad (8.36)$$

donde

$\rho_k$  es el valor característico de la densidad del tablero contrachapado, en  $\text{kg/m}^3$ ;

$d$  es el diámetro del perno, en mm.

(2) Para tableros de partículas y tableros de virutas orientadas (OSB), debería utilizarse el siguiente valor de la resistencia al aplastamiento, en  $\text{N/mm}^2$ , para cualquier ángulo con la dirección de la fibra:

$$f_{h,k} = 50 d^{-0,6} t^{0,2} \quad (8.37)$$

donde

$d$  es el diámetro del perno, en mm;

$t$  es el espesor del tablero, en mm.

### 8.5.1.3 Uniones con pernos entre acero y madera

(1) Se aplican las reglas dadas en el apartado 8.2.3.

### 8.5.2 Pernos con carga axial

(1) La capacidad de carga axial y la capacidad de arranque de un perno debería tomarse igual al valor menor de los siguientes:

- la capacidad de tracción del perno;
- la capacidad de carga de anclaje de la arandela o (para uniones acero-madera) la placa metálica.

(2) La capacidad de carga de anclaje de una arandela debería calcularse suponiendo un valor característico de la resistencia a compresión en el área de contacto igual a  $3,0f_{c,90,k}$ .

(3) La capacidad de carga de anclaje por perno de una placa metálica no debería exceder la de una arandela circular con un diámetro elegido como el valor mínimo de los dos siguientes:

- $12t$ , donde  $t$  es el espesor de la placa;
- $4d$ , donde  $d$  es el diámetro del perno.

### 8.6 Uniones con pasadores

(1) Se aplican las reglas dadas en el apartado 8.5.1, excepto el párrafo (3) del apartado 8.5.1.1.

(2) El diámetro del pasador debería ser mayor que 6 mm y menor que 30 mm.

(3) Los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas se dan en la tabla 8.5, con los símbolos representados en la figura 8.7.

**Tabla 8.5**  
**Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas para pasadores**

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

(4) Los requisitos para las tolerancias del agujero de los pasadores se dan en el apartado 10.4.4.

## 8.7 Uniones con tirafondos

### 8.7.1 Tirafondos con carga lateral

(1)P El efecto de la parte roscada del tirafondo debe tenerse en cuenta en la determinación de la capacidad de carga, utilizando un diámetro eficaz  $d_{ef}$ .

(2) En tirafondos de caña lisa, en los que el diámetro exterior de la rosca es igual al diámetro de la caña, se aplican las reglas indicadas en el apartado 8.2, siempre que:

- El diámetro eficaz  $d_{ef}$  se tome igual al diámetro de la caña lisa.
- La caña lisa penetre en la pieza que contiene la punta del tirafondo no menos de  $4d$ .

(3) Cuando las condiciones definidas en el párrafo (2) no se cumplen, la capacidad de carga del tirafondo debería calcularse utilizando un diámetro eficaz  $d_{ef}$  igual a 1,1 veces el diámetro interior de la parte roscada.

(4) En los tirafondos de caña lisa con un diámetro  $d > 6$  mm, se aplican las reglas definidas en el apartado 8.5.1.

(5) En los tirafondos de caña lisa con un diámetro menor o igual a 6 mm, se aplican las reglas definidas en el apartado 8.3.1.

(6) Los requisitos para los detalles constructivos y el control de las uniones con tirafondos se recogen en el apartado 10.4.5.

### 8.7.2 Tirafondos con carga axial

(1) Cuando se determina la capacidad de carga de uniones con tirafondos con carga axial deberían verificarse los siguientes modos de fallo:

- la capacidad de carga al arranque de la parte roscada del tirafondo;
- en tirafondos utilizados en combinación con placas de acero, la capacidad de arranque de la cabeza del tirafondo debería ser mayor que la resistencia a tracción del tirafondo;
- la resistencia al punzonamiento de la cabeza del tirafondo;
- la resistencia a tracción del tirafondo;
- en tirafondos utilizados junto con placas de acero, el fallo a lo largo de la circunferencia de un grupo de tirafondos (cortante en bloque o cortante por desgarro).

(2) Los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes para los tirafondos con carga axial deberían tomarse de la tabla 8.6.

**Tabla 8.6**  
**Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes para tirafondos con carga axial**

Tirafondos introducidos	Separación mínima	Distancia mínima al borde
Con ángulo recto respecto a la fibra	$4d$	$4d$
En la testa	$4d$	$2,5d$

(3) La longitud mínima de penetración de la parte roscada en la pieza de punta debería ser  $6d$ .

(4) El valor característico de la capacidad de arranque de las uniones con tirafondos con carga axial debería tomarse como:

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} (\pi d l_{ef})^{0,8} f_{ax,\alpha,k} \quad (8.38)$$

donde

$F_{ax,\alpha,Rk}$  es el valor característico de la capacidad de carga al arranque de la unión con un ángulo  $\alpha$  respecto a la fibra;

$n_{ef}$  es el número eficaz de tirafondos;

$d$  es el diámetro exterior medido en la parte roscada;

$l_{ef}$  es la longitud de penetración en la pieza de punta de la parte roscada menos un diámetro del tirafondo;

$f_{ax,\alpha,k}$  es el valor característico de la resistencia al arranque con un ángulo  $\alpha$  respecto a la fibra.

(5) El valor característico de la resistencia al arranque con un ángulo  $\alpha$  respecto a la fibra debería tomarse igual a:

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cos^2 \alpha} \quad (8.39)$$

con

$$f_{ax,k} = 3,6 \times 10^{-3} \rho_k^{1,5} \quad (8.40)$$

donde

$f_{ax,\alpha,k}$  es el valor característico de la resistencia al arranque con un ángulo  $\alpha$  respecto a la fibra;

$f_{ax,k}$  es el valor característico de la resistencia al arranque perpendicular a la fibra;

$\rho_k$  es el valor característico de la densidad, en  $\text{kg/m}^3$ .

NOTA – Los modos de fallo en el acero o en la madera próxima al tirafondo son frágiles, es decir, con una deformación última pequeña, y por tanto tienen una posibilidad limitada para la redistribución de tensiones.

(6)P La capacidad de punzonamiento de la cabeza debe determinarse mediante ensayos, de acuerdo con la Norma Europea EN 1383.

(7) En una unión con un grupo de tirafondos cargados con una componente de la fuerza paralela a la caña, el número eficaz de tirafondos viene definido por la siguiente expresión:

$$n_{ef} = n^{0,9} \quad (8.41)$$

donde

$n_{ef}$  es el número eficaz de tirafondos;

$n$  es el número de tirafondos que actúan en conjunto en una unión.

### 8.7.3 Tirafondos cargados con una combinación de carga lateral y axial

(1) En uniones con tirafondos sometidos a una combinación de carga axial y carga lateral, debería cumplirse la condición (8.28).

## 8.8 Uniones con placas metálicas dentadas (placas-clavo)

### 8.8.1 Generalidades

(1)P Las uniones con placas metálicas dentadas deben estar compuestas de placas metálicas dentadas del mismo tipo, tamaño y orientación, situadas a cada lado de las piezas de madera.

(2) Las reglas siguientes se aplican únicamente a las placas clavo metálicas con dos direcciones ortogonales.

### 8.8.2 Geometría de la placa

(1) Los símbolos utilizados para definir la geometría de una unión con placas metálicas dentadas se indican en la figura 8.11 y se definen a continuación:

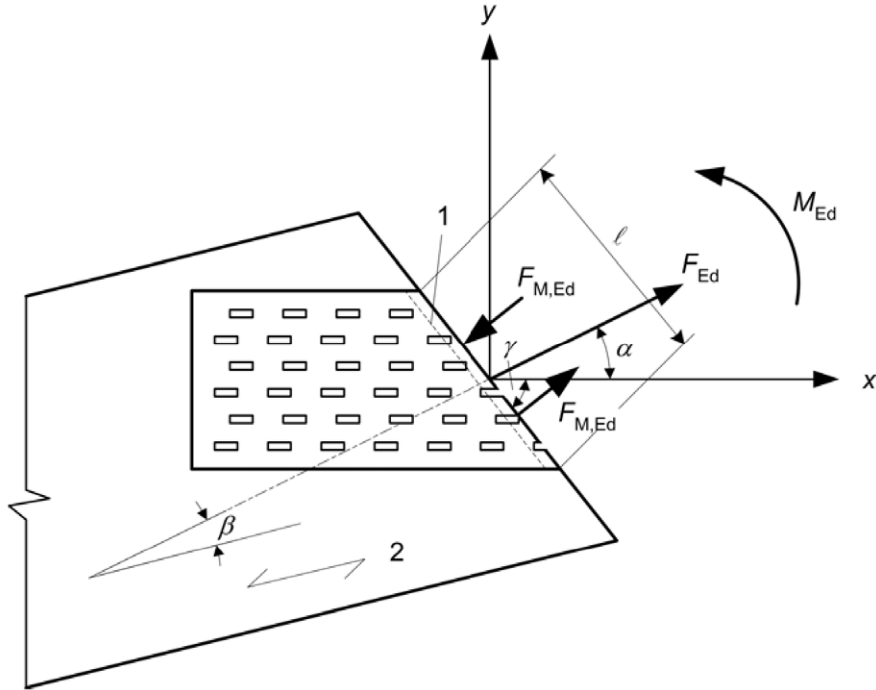
dirección x	dirección principal de la placa;
dirección y	perpendicular a la dirección principal de la placa;
$\alpha$	ángulo entre la dirección x y la fuerza (tracción: $0^\circ \leq \gamma < 90^\circ$ , compresión: $90^\circ \leq \gamma < 180^\circ$ );
$\beta$	ángulo entre la dirección de la fibra y la fuerza;
$\gamma$	ángulo entre la dirección x y la línea de la unión;
$A_{ef}$	área de la superficie total de contacto entre la placa y la madera, reducida en 5 mm en los bordes de la madera y en una distancia en la dirección de la fibra a partir de la testa de la madera igual a 6 veces el espesor nominal del herraje;
$l$	dimensión de la placa medida a lo largo de la línea de la unión.

### 8.8.3 Propiedades resistentes de la placa

(1)P Deben conocerse los valores característicos de la placa para las siguientes propiedades, determinados de acuerdo con la Norma Europea EN 14545 a partir de ensayos realizados de acuerdo con la Norma Europea EN 1075:

$f_{a,0,0}$	la capacidad de anclaje por unidad de área para $\alpha = 0^\circ$ y $\beta = 0^\circ$ ;
$f_{a,90,90}$	la capacidad de anclaje por unidad de área para $\alpha = 90^\circ$ y $\beta = 90^\circ$ ;
$f_{t,0}$	la capacidad de tracción por unidad de anchura de la placa para $\alpha = 0^\circ$ ;
$f_{c,0}$	la capacidad de compresión por unidad de anchura de la placa para $\alpha = 0^\circ$ ;
$f_{v,0}$	la capacidad de cortante por unidad de anchura de la placa en la dirección x;
$f_{t,90}$	la capacidad de tracción por unidad de anchura de la placa para $\alpha = 90^\circ$ ;
$f_{c,90}$	la capacidad de compresión por unidad de anchura de la placa para $\alpha = 90^\circ$ ;
$f_{v,90}$	la capacidad de cortante por unidad de anchura de la placa en la dirección y;
$k_1, k_2, \alpha_0$	constantes.

(2)P Con el fin de calcular las capacidades de cálculo de tracción, compresión y cortante de la placa, el valor de  $k_{mod}$  debe tomarse igual a 1,0.



**Leyenda**

- 1 Borde del área eficaz
- 2 Dirección de la fibra

**Fig. 8.11 – Geometría de una unión con placas metálicas dentadas cargadas con una fuerza  $F_{Ed}$  y un momento  $M_{Ed}$**

#### 8.8.4 Resistencias de anclaje de la placa

(1) El valor característico de la resistencia de anclaje por placa  $f_{a,\alpha,\beta,k}$  debería obtenerse por ensayos o por cálculo a partir de las expresiones siguientes:

$$f_{a,\alpha,\beta,k} = \max. \begin{cases} f_{a,\alpha,0,k} - (f_{a,\alpha,0,k} - f_{a,90,90,k}) \frac{\beta}{45^\circ} \\ f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \sin(\max.(\alpha, \beta)) \end{cases} \quad \text{para } \beta \leq 45^\circ, \text{ o} \quad (8.42)$$

$$f_{a,\alpha,\beta,k} = f_{a,0,0,k} - (f_{a,0,0,k} - f_{a,90,90,k}) \sin(\max.(\alpha, \beta)) \quad \text{para } 45^\circ < \beta \leq 90^\circ \quad (8.43)$$

(2) El valor característico de la resistencia de anclaje por placa paralela a la fibra debería obtenerse de la siguiente expresión:

$$f_{a,\alpha,0,k} = \begin{cases} f_{a,0,0,k} + k_1 \alpha & \text{si } \alpha \leq \alpha_0 \\ f_{a,0,0,k} + k_1 \alpha_0 + k_2 (\alpha - \alpha_0) & \text{si } \alpha_0 < \alpha \leq 90^\circ \end{cases} \quad (8.44)$$

Las constantes  $k_1$ ,  $k_2$  y  $\alpha_0$  deberían determinarse a partir de ensayos de anclaje de acuerdo con la Norma Europea EN 1075 y obtenidos de acuerdo con el procedimiento indicado en la Norma Europea EN 14545, para el tipo de placa concreto.

### 8.8.5 Comprobación de la resistencia de la unión

#### 8.8.5.1 Capacidad de anclaje de la placa

(1) El valor de cálculo de la tensión de anclaje,  $\tau_{F,d}$ , en una placa metálica dentada simple debida a una fuerza  $F_{Ed}$ , y el valor de cálculo de la tensión de anclaje,  $\tau_{M,d}$ , debida a un momento  $M_{Ed}$ , deberían tomarse como:

$$\tau_{F,d} = \frac{F_{A,Ed}}{A_{ef}} \quad (8.45)$$

$$\tau_{M,d} = \frac{M_{A,Ed}}{W_p} \quad (8.46)$$

con:

$$W_p = \int_{A_{ef}} r dA \quad (8.47)$$

donde

$F_{A,Ed}$  es el valor de cálculo de la fuerza que actúa sobre una placa simple en el centroide del área eficaz (es decir, la mitad de la fuerza total en la pieza de madera);

$M_{A,Ed}$  es el valor de cálculo del momento que actúa sobre una placa simple en el centroide del área eficaz;

$dA$  es el elemento diferencial del área de la placa metálica dentada;

$r$  es la distancia desde el centro de gravedad de la placa al elemento diferencial del área  $dA$ ;

$A_{ef}$  es el área eficaz de la placa.

(2) Como alternativa a la expresión (8.47),  $W_p$  se puede aproximar de forma conservadora mediante la siguiente expresión:

$$W_p = \frac{A_{ef} d}{4} \quad (8.48)$$

con:

$$d = \sqrt{\left(\frac{A_{ef}}{h_{ef}}\right)^2 + h_{ef}^2} \quad (8.49)$$

donde

$h_{ef}$  es la altura máxima del área eficaz de anclaje perpendicular al lado más largo.

(3) La presión de contacto entre las piezas de madera puede tenerse en cuenta para reducir el valor de  $F_{Ed}$  en compresión siempre que la holgura entre las piezas tenga un valor medio que no sea superior a 1,5 mm, y con un máximo de 3 mm. En tales casos la unión debería calcularse para un valor mínimo de fuerza de compresión igual a  $F_{A,Ed}/2$ .

(4) La presión de contacto entre las piezas de madera en los empalmes de los cordones en compresión puede tenerse en cuenta calculando la placa simple para un valor de cálculo de la fuerza,  $F_{A,Ed}$ , y un valor de cálculo del momento,  $M_{A,Ed}$ , de acuerdo con las expresiones siguientes:

$$F_{A,Ed} = \sqrt{\left(\frac{F_{Ed} \cos \beta}{2} - \frac{3|M_{Ed}|}{2h}\right)^2 + (F_{Ed} \sin \beta)^2} \quad (8.50)$$

$$M_{A,Ed} = \frac{M_{Ed}}{2} \quad (8.51)$$

donde

$F_{Ed}$  es el valor de cálculo del axil en el cordón actuando sobre una placa simple (compresión o nulo);

$M_{Ed}$  es el valor de cálculo del momento en el cordón actuando sobre una placa simple;

$h$  es la altura de la sección del cordón.

(5) Debería cumplirse la siguiente condición:

$$\left(\frac{\tau_{F,d}}{f_{a,\alpha,\beta,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{M,d}}{f_{a,0,0,d}}\right)^2 \leq 1 \quad (8.52)$$

### 8.8.5.2 Capacidad de la placa

(1) Para cada interfase de la unión, las fuerzas en las dos direcciones principales deberían obtenerse de las siguientes expresiones:

$$F_{x,Ed} = F_{Ed} \cos \alpha \pm 2F_{M,Ed} \sin \gamma \quad (8.53)$$

$$F_{y,Ed} = F_{Ed} \sin \alpha \pm 2F_{M,Ed} \cos \gamma \quad (8.54)$$

donde

$F_{Ed}$  es el valor de cálculo de la fuerza en una placa simple (es decir, la mitad de la fuerza total en la pieza de madera);

$F_{M,Ed}$  es el valor de cálculo de la fuerza, consecuencia del momento en una placa simple ( $F_{M,Ed} = 2 M_{Ed}/\ell$ ).

(2) Debería cumplirse la siguiente condición:

$$\left(\frac{F_{x,Ed}}{F_{x,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{y,Ed}}{F_{y,Rd}}\right)^2 \leq 1 \quad (8.55)$$

donde

$F_{x,Ed}$  y  $F_{y,Ed}$  son los valores de cálculo de las fuerzas que actúan en las direcciones  $x$  e  $y$ ,

$F_{x,Rd}$  y  $F_{y,Rd}$  son los valores de cálculo correspondientes de las capacidades de carga de la placa. Se determinan a partir del máximo de los valores característicos de las capacidades en secciones paralelas o perpendiculares a los ejes principales, basándose en las siguientes expresiones para los valores característicos de las capacidades de las placas en esas direcciones

$$F_{x,Rk} = \max. \begin{cases} |f_{n,0,k} \ell \sin(\gamma - \gamma_0 \sin(2\gamma))| \\ |f_{v,0,k} \ell \cos \gamma| \end{cases} \quad (8.56)$$

$$F_{y,Rk} = \max. \begin{cases} |f_{n,90,k} \ell \cos \gamma| \\ k f_{v,90,k} \ell \sin \gamma \end{cases} \quad (8.57)$$

con

$$f_{N,0,k} = \begin{cases} f_{t,0,k} & \text{para } F_{x,Ed} > 0 \\ f_{c,0,k} & \text{para } F_{x,Ed} \leq 0 \end{cases} \quad (8.58)$$

$$f_{n,90,k} = \begin{cases} f_{t,90,k} & \text{para } F_{y,Ed} > 0 \\ f_{c,90,k} & \text{para } F_{y,Ed} \leq 0 \end{cases} \quad (8.59)$$

$$k = \begin{cases} 1 + k_v \sin(2\gamma) & \text{para } F_{x,Ed} > 0 \\ 1 & \text{para } F_{x,Ed} \leq 0 \end{cases} \quad (8.60)$$

Donde  $\gamma_0$  y  $k_v$  son constantes determinados mediante ensayos de cortante de acuerdo con la Norma Europea EN 1075 y obtenidos de acuerdo con el procedimiento definido en la Norma Europea EN 14545 para el tipo concreto de placa.

(3) Si la placa cubre más de dos líneas de unión en la pieza, las fuerzas en cada parte recta de la línea de unión deberían determinarse de manera que se cumpla el equilibrio y que se cumpla la expresión (8.55) en cada parte recta de la línea de unión. Deberían tenerse en cuenta todas las secciones críticas.

## 8.9 Conectores de anillo y de placa

(1) En las uniones realizadas con conectores de anillo de tipo A o conectores de placa de tipo B de acuerdo con las Normas Europeas EN 912 y EN 14545, y con un diámetro no mayor que 200 mm, el valor característico de la capacidad de carga paralela a la fibra,  $F_{v,0,Rk}$  por conector y por plano de cortadura debería calcularse mediante la siguiente expresión:

$$F_{v,0,Rk} = \min \begin{cases} k_1 k_2 k_3 k_4 (35 d_c^{1.5}) & \text{(a)} \\ k_1 k_3 h_e (31,5 d_c) & \text{(b)} \end{cases} \quad (8.61)$$

donde

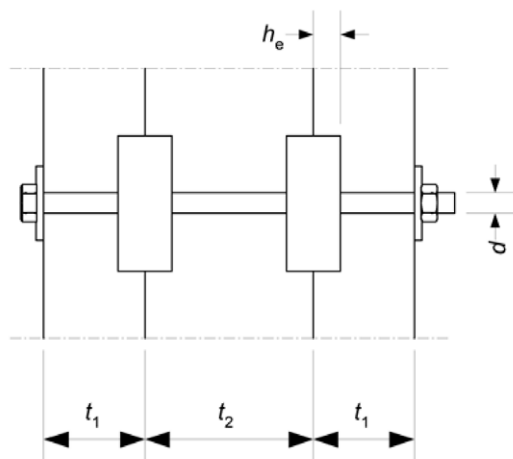
$F_{v,0,Rk}$  es el valor característico de la capacidad de carga paralela a la fibra, en N;

$d_c$  es el diámetro del conector, en mm;

$h_e$  es la profundidad de inserción, en mm;

$k_i$  son factores de modificación, con  $i = 1$  a 4, definidos más adelante.

(2) El espesor mínimo de las piezas de madera exteriores debería ser igual a  $2,25h_e$ , y el de la pieza interior debería ser igual a  $3,75h_e$ , donde  $h_e$  es la profundidad de inserción, véase la figura 8.12.



**Fig. 8.12 – Dimensiones para las uniones con conectores de anillo y de placa**

(3) El factor  $k_1$  debería tomarse de la expresión siguiente:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. \quad (8.62)$$

(4) El factor  $k_2$  se aplica al caso de testa cargada ( $-30^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ ) y debería tomarse de la expresión siguiente:

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} k_a \\ \frac{a_{3,t}}{2d_c} \end{array} \right. \quad (8.63)$$

donde

$$k_a = \begin{cases} 1,25 & \text{para uniones con un conector por plano de cortadura} \\ 1,0 & \text{para uniones con más de un conector por plano de cortadura} \end{cases} \quad (8.64)$$

$a_{3,t}$  se muestra en la tabla 8.7.

Para otros valores de  $\alpha$ ,  $k_2 = 1,0$ .

(5) El factor  $k_3$  debería tomarse igual a:

$$k_3 = \min \begin{cases} 1,75 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{cases} \quad (8.65)$$

donde  $\rho_k$  es el valor característico de la densidad de la madera, en  $\text{kg/m}^3$ .

(6) El factor  $k_4$ , que depende de los materiales conectados, debería tomarse igual a:

$$k_4 = \begin{cases} 1,0 & \text{para uniones madera-madera} \\ 1,1 & \text{para uniones acero-madera} \end{cases} \quad (8.66)$$

(7) En uniones con más de un conector por plano de cortadura cargados en una situación de testa no cargada ( $150^\circ \leq \alpha \leq 210^\circ$ ), la condición (a) en la expresión (8.61) debería despreciarse.

(8) Para una fuerza con un ángulo  $\alpha$  respecto a la dirección de la fibra, el valor característico de la capacidad de carga,  $F_{\alpha, \text{Rk}}$ , por conector y por plano de cortadura, debería calcularse utilizando la siguiente expresión:

$$F_{\alpha, \text{Rk}} = \frac{F_{\text{v},0, \text{Rk}}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (8.67)$$

con:

$$k_{90} = 1,3 + 0,001 d_c \quad (8.68)$$

donde

$F_{\text{v},0, \text{Rk}}$  es el valor característico de la capacidad de carga del conector para una fuerza paralela a la fibra de acuerdo con la expresión (8.61);

$d_c$  es el diámetro del conector, en mm.

(9) En la tabla 8.7 se definen los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas, con los símbolos representados en la figura 8.7.

**Tabla 8.7**  
**Valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes**  
**y a las testas para conectores de anillo y de placa**

Separaciones y distancias al borde/testa (véase la figura 8.7)	Ángulo con respecto a la fibra	Separaciones y distancias mínimas al borde/testa
$a_1$ (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,8 \mid \cos \alpha \mid) d_c$
$a_2$ (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 d_c$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$1,5 d_c$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,4 + 1,6 \mid \sin \alpha \mid) d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2 d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,4 + 1,6 \mid \sin \alpha \mid) d_c$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \mid \sin \alpha \mid) d_c$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 d_c$

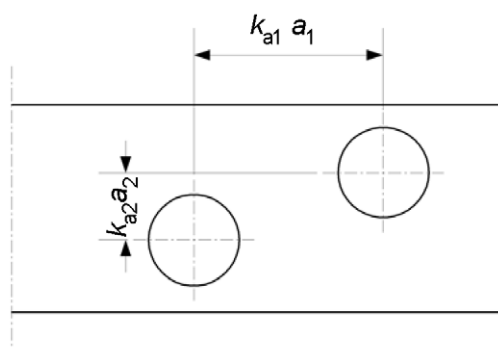
(10) Cuando los conectores se disponen desfasados al tresbolillo (véase la figura 8.13), las separaciones mínimas paralelas y perpendiculares a la fibra deberían cumplir con la siguiente condición:

$$(k_{a1})^2 + (k_{a2})^2 \geq 1 \quad \text{con} \quad \begin{cases} 0 \leq k_{a1} \leq 1 \\ 0 \leq k_{a2} \leq 1 \end{cases} \quad (8.69)$$

donde

$k_{a1}$  es un factor de reducción para la distancia mínima  $a_1$  paralela a la fibra;

$k_{a2}$  es un factor de reducción para la distancia mínima  $a_2$  perpendicular a la fibra.



**Fig. 8.13 – Distancias reducidas para los conectores**

(11) La separación paralela a la fibra,  $k_{a1} a_1$  puede además reducirse multiplicándola por un factor  $k_{s,red}$ , con  $0,5 \leq k_{s,red} \leq 1,0$ , siempre que la capacidad de carga se multiplique por un factor

$$k_{R,red} = 0,2 + 0,8 k_{s,red} \quad (8.70)$$

(12) Para una fila de conectores paralelos a la fibra, la capacidad de carga en esa dirección debería calcularse utilizando el número eficaz de conectores,  $n_{ef}$ , donde:

$$n_{ef} = 2 + \left(1 - \frac{n}{20}\right)(n - 2) \quad (8.71)$$

donde

$n_{ef}$  es el número eficaz de conectores;

$n$  es el número de conectores en una línea paralela a la fibra.

(13) Los conectores deberían considerarse situados paralelos a la fibra cuando  $k_{a2} a_2 < 0,5 k_{a1} a_1$ .

## 8.10 Conectores de placa dentada

(1) El valor característico de la capacidad de carga de las uniones realizadas mediante conectores de placa dentada debería tomarse como la suma del valor característico de la capacidad de carga de los conectores por sí mismos y de los pernos de conexión de acuerdo con el apartado 8.5.

(2) El valor característico de la capacidad de carga  $F_{v,Rk}$  por conector de placa dentada para los conectores de tipo C de acuerdo con las Normas Europeas EN 912 (de simple cara: tipos C2, C4, C7, C9, C11; de doble cara: tipos C1, C3, C5, C6, C8, C10) y EN 14545, debería tomarse igual a:

$$F_{v,Rk} = \begin{cases} 18 k_1 k_2 k_3 d_c^{1,5} & \text{para los tipos de simple cara} \\ 25 k_1 k_2 k_3 d_c^{1,5} & \text{para los tipos de doble cara} \end{cases} \quad (8.72)$$

donde

$F_{v,Rk}$  es el valor característico de la capacidad de carga por conector de placa dentada, en N;

$k_i$  son los factores de modificación, con  $i = 1$  a 3, definidos más adelante.

$d_c$  es:

- el diámetro del conector de placa dentada, para los tipos C1, C2, C6, C7, C10 y C11, en mm;
- la longitud del lado del conector de placa dentada, para los tipos C5, C8 y C9, en mm;
- la raíz cuadrada del producto de las dos longitudes de los lados, para los tipos C3 y C4, en mm.

(3) Se aplica el párrafo (2) del apartado 8.9.

(4) El factor  $k_1$  debería tomarse igual a:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. \quad (8.73)$$

donde

$t_1$  es el espesor de la pieza lateral;

$t_2$  es el espesor de la pieza central;

$h_e$  es la penetración de los dientes, en mm.

(5) El factor  $k_2$  debería tomarse igual a:

- Para los tipos C1 a C9:

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{1,5 d_c} \end{array} \right. \quad (8.74)$$

con

$$a_{3,t} = \max. \begin{cases} 1,1 d_c \\ 7 d \\ 80 \text{ mm} \end{cases} \quad (8.75)$$

donde

$d$  es el diámetro del perno, en mm;

$d_c$  según lo definido anteriormente en el párrafo (2).

– Para los tipos C10 y C11:

$$k_2 = \min \begin{cases} 1 \\ \frac{a_{3,t}}{2,0 d_c} \end{cases} \quad (8.76)$$

con

$$a_{3,t} = \max. \begin{cases} 1,5 d_c \\ 7 d \\ 80 \text{ mm} \end{cases} \quad (8.77)$$

donde

$d$  es el diámetro del perno en mm;

$d_c$  según lo definido anteriormente en el párrafo (2).

(6) El factor  $k_3$  debería tomarse igual a:

$$k = \min \begin{cases} 1,5 \\ \frac{\rho}{350} \end{cases} \quad (8.78)$$

donde  $\rho_k$  es el valor característico de la densidad de la madera, en kg/m<sup>3</sup>.

(7) Para los conectores de placa dentada de tipos C1 a C9, los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas deberían tomarse de la tabla 8.8, con los símbolos representados en la figura 8.7.

(8) Para los conectores de placa dentada de tipos C10 y C11, los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas deberían tomarse de la tabla 8.9, con los símbolos representados en la figura 8.7.

(9) Cuando los conectores de tipos C1, C2, C6 y C7 de forma circular están colocados con un desfase al tresbolillo, se aplica el párrafo (10) del apartado 8.9.

(10) Para los pernos utilizados con conectores de placa dentada, se aplica el apartado 10.4.3.

**Tabla 8.8**  
**Valores mínimos de las separaciones y distancias a los bordes y a las testas**  
**para conectores de placa dentada de tipos C1 a C9**

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

**Tabla 8.9**  
**Valores mínimos de las separaciones y distancias a los bordes y a las testas**  
**para conectores de placa dentada de tipos C10 y C11**

Separaciones y distancias al borde/testa (véase la figura 8.7)	Ángulo con respecto a la fibra	Separaciones y distancias mínimas al borde/testa
$a_1$ (paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1,2 + 0,8 \mid \cos \alpha \mid) d_c$
$a_2$ (perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1,2 d_c$
$a_{3,t}$ (testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$2,0 d_c$
$a_{3,c}$ (testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0,4 + 1,6 \mid \sin \alpha \mid) d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1,2 d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0,4 + 1,6 \mid \sin \alpha \mid) d_c$
$a_{4,t}$ (borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0,6 + 0,2 \mid \sin \alpha \mid) d_c$
$a_{4,c}$ (borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0,6 d_c$

## CAPÍTULO 9 – COMPONENTES Y SISTEMAS

### 9.1 Componentes

#### 9.1.1 Vigas con alma delgada encolada

(1) Si se admite una variación lineal de la deformación sobre la altura de la viga, las tensiones normales en las alas de productos derivados de la madera deberían cumplir con las siguientes condiciones:

$$\sigma_{f,c,max,d} \leq f_{m,d} \quad (9.1)$$

$$\sigma_{f,t,max,d} \leq f_{m,d} \quad (9.2)$$

$$\sigma_{f,c,d} \leq k_c f_{c,0,d} \quad (9.3)$$

$$\sigma_{f,t,d} \leq f_{t,0,d} \quad (9.4)$$

donde

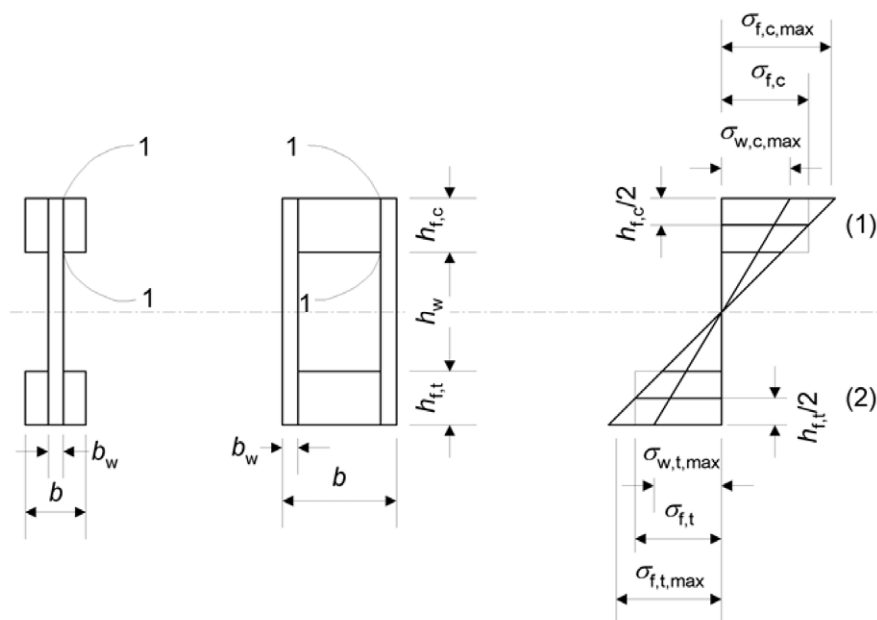
$\sigma_{f,c,max,d}$  es el valor de cálculo de la tensión de compresión en la fibra extrema del ala;

$\sigma_{f,t,max,d}$  es el valor de cálculo de la tensión de tracción en la fibra extrema del ala;

$\sigma_{f,c,d}$  es el valor de cálculo medio de la tensión de compresión en el ala;

$\sigma_{f,t,d}$  es el valor de cálculo medio de la tensión de tracción en el ala;

$k_c$  es un factor que tiene en cuenta el efecto de la inestabilidad lateral.



Leyenda

(1) Compresión

(2) Tracción

Fig. 9.1 – Vigas de alma delgada

(3) El factor  $k_c$  puede determinarse (conservadoramente, especialmente para vigas en cajón) de acuerdo con el apartado 6.3.2 con

$$\lambda_z = \sqrt{12} \left( \frac{\ell_c}{b} \right) \quad (9.5)$$

donde

$\ell_c$  es la distancia entre las secciones en las que está impedido el desplazamiento lateral del ala comprimida;

$b$  se define en la figura 9.1.

Si se realiza un estudio especial con respecto a la estabilidad lateral de la viga como conjunto, puede tomarse  $k_c = 1,0$ .

(4) Las tensiones normales en el alma deberían cumplir las siguientes condiciones:

$$\sigma_{w,c,d} \leq f_{c,w,d} \quad (9.6)$$

$$\sigma_{w,t,d} \leq f_{t,w,d} \quad (9.7)$$

donde

$\sigma_{w,c,d}$  y  $\sigma_{w,t,d}$  son los valores de cálculo de las tensiones de compresión y de tracción en el alma;

$f_{c,w,d}$  y  $f_{t,w,d}$  son los valores de cálculo de las resistencias de compresión y de tracción por flexión en el alma.

(5) A no ser que se den otros valores, la resistencia de cálculo para la flexión en el plano del alma debería tomarse igual a la resistencia de cálculo a tracción o a compresión.

(6)P Debe comprobarse que cualquier empalme encolado tiene la resistencia suficiente.

(7) Si no se realiza un análisis de pandeo más detallado debería comprobarse lo siguiente:

$$h_w \leq 70 b_w \quad (9.8)$$

y

$$F_{v,w,Ed} \leq \begin{cases} b_w h_w \left( 1 + \frac{0,5(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right) f_{v,0,d} & \text{para } h_w \leq 35 b_w \\ 35 b_w^2 \left( 1 + \frac{0,5(h_{f,t} + h_{f,c})}{h_w} \right) f_{v,0,d} & \text{para } 35 b_w \leq h_w \leq 70 b_w \end{cases} \quad (9.9)$$

donde

$F_{v,w,Ed}$  es el valor de cálculo del esfuerzo cortante que actúa en cada alma;

$h_w$  es la distancia libre entre alas;

$h_{f,c}$  es la altura de la sección del ala comprimida;

$h_{f,t}$  es la altura de la sección del ala traccionada;

$b_w$  es la anchura de cada alma;

$f_{v,0,d}$  es el valor de cálculo de la resistencia a cortante por cizalladura a través del espesor del tablero.

(8) En almas de tableros derivados de la madera, para las secciones 1-1 de la figura 9.1, se debería verificar que:

$$\tau_{\text{mean,d}} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{para } h_f \leq 4 b_{\text{ef}} \\ f_{v,90,d} \left( \frac{4b_{\text{ef}}}{h_f} \right)^{0,8} & \text{para } h_f > 4 b_{\text{ef}} \end{cases} \quad (9.10)$$

donde

$\tau_{\text{mean,d}}$  es el valor de cálculo de la tensión tangencial en las secciones 1-1, suponiendo una distribución uniforme de las tensiones;

$f_{v,90,d}$  es el valor de cálculo de la resistencia a cortante en el plano (rodadura) del alma;

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

$$b_{\text{ef}} = \begin{cases} b_w & \text{para vigas en cajón} \\ b_w / 2 & \text{para vigas con sección en doble T} \end{cases} \quad (9.11)$$

### 9.1.2 Vigas con alas delgadas encoladas

(1) En este apartado se admite una variación lineal de la deformación a lo largo de la altura de la viga.

(2)P En la comprobación de la resistencia de las vigas con alas delgadas encoladas, debe tenerse en cuenta la distribución no uniforme de las tensiones en las alas debido al retraso por cortante y a la abolladura.

(3) Si no se realiza un cálculo más detallado, el sistema debería considerarse como un conjunto de vigas en doble T o vigas en U (véase la figura 9.2) con una anchura eficaz de ala  $b_{\text{ef}}$ , definida de la manera siguiente:

– Para vigas en doble T

$$b_{\text{ef}} = b_{c,\text{ef}} + b_w \quad (\text{o } b_{t,\text{ef}} + b_w) \quad (9.12)$$

– Para vigas en U

$$b_{\text{ef}} = 0,5b_{c,\text{ef}} + b_w \quad (\text{o } 0,5b_{t,\text{ef}} + b_w) \quad (9.13)$$

Los valores de  $b_{c,\text{ef}}$  y  $b_{t,\text{ef}}$  no deberían ser mayores que el valor máximo calculado para el retraso del cortante de la tabla 9.1. Además, el valor de  $b_{c,\text{ef}}$  no debería ser mayor que el valor máximo calculado para la abolladura de la tabla 9.1.

(4) Los valores máximos de la anchura eficaz del ala debido a los efectos del retraso del cortante y de la abolladura deberían tomarse de la tabla 9.1, donde  $\ell$  es la luz de la viga.

**Tabla 9.1**  
**Anchura eficaz máxima del ala debido a los efectos del retraso del cortante y de la abolladura**

Material del ala	Retraso del cortante	Abolladura
Tablero contrachapado, con la dirección de la fibra en las chapas de las caras:		
– Paralelas a las almas	0,1 $\ell$	20 $h_f$
– Perpendiculares a las almas	0,1 $\ell$	25 $h_f$
Tablero de virutas orientadas	0,15 $\ell$	25 $h_f$
Tablero de partículas o de fibras con orientación aleatoria de las fibras	0,2 $\ell$	30 $h_f$

(5) Si no se realiza un estudio detallado del pandeo, la anchura del ala sin arriostrar no debería ser mayor que dos veces la anchura eficaz del ala debida a la abolladura de la tabla 9.1.

(6) En almas de tableros derivados de la madera, para las fibras 1-1 de una sección en doble T de la figura 9.2, debería comprobarse que se cumple la siguiente condición:

$$\tau_{\text{mean,d}} \leq \begin{cases} f_{v,90,d} & \text{para } b_w \leq 8h_f \\ f_{v,90,d} \left( \frac{8h_f}{b_w} \right)^{0,8} & \text{para } b_w > 8h_f \end{cases} \quad (9.14)$$

donde

$\tau_{\text{mean,d}}$  es el valor de cálculo de la tensión tangencial en las fibras 1-1, suponiendo una distribución uniforme de las tensiones;

$f_{v,90,d}$  es el valor de cálculo de la resistencia a cortante en el plano (rodadura) del ala.

Para la fibra 1-1 de una sección en U, debería comprobarse la misma expresión, pero sustituyendo  $8h_f$  por  $4h_f$ .

(7) La tensión normal en las alas, basada en la anchura eficaz del ala pertinente, debería cumplir las siguientes condiciones:

$$\sigma_{f,c,d} \leq f_{f,c,d} \quad (9.15)$$

$$\sigma_{f,t,d} \leq f_{f,t,d} \quad (9.16)$$

donde

$\sigma_{f,c,d}$  es el valor de cálculo medio de la tensión de compresión en el ala;

$\sigma_{f,t,d}$  es el valor de cálculo medio de la tensión de tracción en el ala;

$f_{f,c,d}$  es el valor de cálculo de la resistencia a compresión del ala;

$f_{f,t,d}$  es el valor de cálculo de la resistencia a tracción del ala.

(8)P Debe comprobarse que cualquier empalme encolado tiene la resistencia suficiente.

(9) La tensión normal en las almas de productos derivados de la madera debería cumplir las condiciones (9.6) a (9.7) definidas en el apartado 9.1.1.

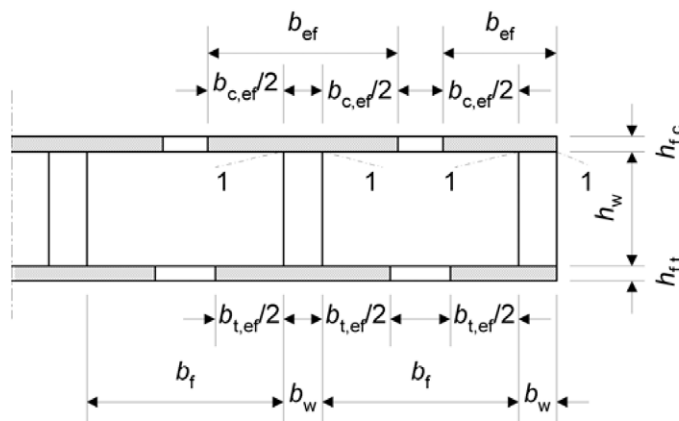


Fig. 9.2 – Viga de alas delgadas

### 9.1.3 Vigas con uniones mecánicas

- (1)P Si la sección transversal de una pieza estructural está compuesta por varias partes conectadas mediante medios de fijación mecánicos, debe considerarse la influencia del deslizamiento que se produce en las juntas.
- (2) Los cálculos deberían realizarse suponiendo una relación lineal entre fuerza y deslizamiento.
- (3) Si la separación entre los medios de fijación varía en la dirección longitudinal de acuerdo con la ley de esfuerzos cortantes entre  $s_{\min.}$  y  $s_{\max.}$  ( $\leq 4s_{\min.}$ ), puede utilizarse una separación eficaz  $s_{ef}$  definida a continuación:

$$s_{ef} = 0,75 s_{\min.} + 0,25 s_{\max.} \quad (9.17)$$

NOTA – En el anexo B (informativo) se incluye un método para el cálculo de la capacidad de carga de vigas con uniones mecánicas.

### 9.1.4 Columnas con uniones mecánicas y encoladas

- (1)P En la comprobación de la resistencia deben tenerse en cuenta las deformaciones debidas al deslizamiento de las uniones, las debidas al cortante y a la flexión en los separadores, presillas, cordones y alas, y a los axiles en las columnas de celosía.

NOTA – En el anexo C (informativo) se incluye un método para el cálculo de la capacidad de carga de las columnas con sección en doble T o en cajón, con cordones múltiples y de celosía.

## 9.2 Sistemas

### 9.2.1 Cerchas

- (1) En las cerchas que se encuentran cargadas predominantemente en los nudos, debería limitarse a 0,9 la suma de las relaciones de tensiones combinadas de flexión y compresión (índice de agotamiento) definidas en las expresiones (6.19) y (6.20).
- (2) En piezas comprimidas, la longitud eficaz de la columna para la comprobación de la resistencia en el plano de la estructura debería, por lo general, tomarse como la distancia entre dos puntos adyacentes de inflexión de la deformada.

(3) En cerchas completamente trianguladas, la longitud eficaz de la columna para piezas comprimidas debería tomarse como la longitud del vano, véase la figura 5.1, si:

- las piezas son de un solo vano, sin enlaces rígidos en los extremos;
- las piezas son continuas sobre dos o más vanos y no se encuentran cargadas lateralmente.

(4) Cuando se realiza un análisis simplificado de una cercha completamente triangulada con placas metálicas dentadas de acuerdo con el apartado 5.4.3, pueden tomarse como longitudes eficaces de las columnas las siguientes (véase la figura 9.3).

- En piezas continuas sin momentos significativos en los extremos y cuando la tensión de flexión debida a la carga transversal es de al menos el 40% de la tensión de compresión:
  - en un vano extremo: 0,8 veces la longitud del vano;
  - en un vano interior: 0,6 la longitud del vano;
  - en un nudo: 0,6 veces la longitud del vano adyacente más largo.
- En piezas continuas con momentos significativos en los extremos cuando la tensión de flexión debida a la carga transversal es de al menos el 40% de la tensión de compresión:
  - en el extremo de la viga con momento: 0,0 (es decir, no hay efecto de pandeo como columna);
  - en el penúltimo vano: 1,0 vez la longitud del vano;
  - restantes vanos y nudos: como se ha descrito anteriormente para vigas continuas sin momentos significativos en los extremos.
- En todos los casos restantes 1,0 vez la longitud del vano.

Para la comprobación de la resistencia de las piezas comprimidas y de las uniones, los axiles calculados deberían incrementarse en un 10%.

(5) Cuando se realiza un análisis simplificado de cerchas cargadas en los nudos, las relaciones entre tensiones en tracción y en compresión (índices de agotamiento), así como la capacidad de la unión, deberían limitarse al 70%.

(6)P Debe realizarse una comprobación de la estabilidad lateral (pandeo fuera del plano) de las piezas de la cercha.

(7)P Las uniones deben ser capaces de transmitir las fuerzas que puedan ocurrir durante el manejo y montaje.

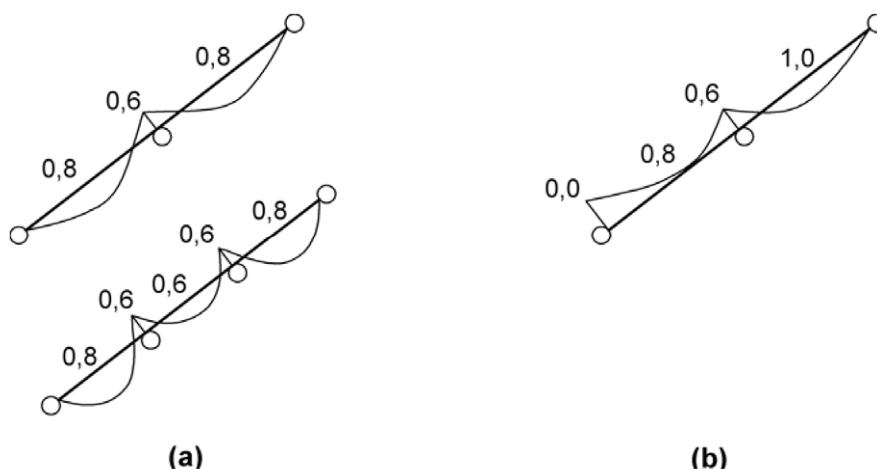
(8) Toda unión debería ser capaz de transmitir una fuerza  $F_{r,d}$  que actúa en cualquier dirección dentro del plano de la cercha.  $F_{r,d}$  debería suponerse de corta duración, actuando sobre madera en clase de servicio 2, con el siguiente valor:

$$F_{r,d} = 1,0 + 0,1L \quad (9.18)$$

donde

$F_{r,d}$  es la fuerza, en kN;

$L$  es la longitud total envolvente de la cercha, en m.



**Fig. 9.3 – Diagramas de momentos flectores y longitudes eficaces en compresión (a) Momentos no significativos en los extremos (b) Momentos significativos en los extremos**

### 9.2.2 Cerchas con uniones con placas metálicas dentadas (placas-clavo)

- (1)P Las cerchas con placas metálicas dentadas deben cumplir los requisitos de la Norma Europea EN 14250.
- (2) Se aplican los requisitos de los apartados 5.4.1 y 9.2.1.
- (3) En cerchas completamente trianguladas donde una pequeña carga concentrada (por ejemplo, el peso de una persona) tiene una componente perpendicular a la pieza de un valor  $< 1,5 \text{ kN}$ , y cuando  $\sigma_{c,d} < 0,4 f_{c,d}$  y  $\sigma_{t,d} < 0,4 f_{t,d}$ , los requisitos de los apartados 6.2.3 y 6.2.4 pueden sustituirse por:

$$\sigma_{m,d} \leq 0,75 f_{m,d} \quad (9.19)$$

- (4) El solape mínimo de la placa metálica dentada sobre cualquier pieza de madera, debería ser como mínimo igual al mayor de los valores siguientes: 40 mm o un tercio de la altura de la pieza de madera.
- (5) Las placas metálicas dentadas utilizadas en empalmes de cordones deberían cubrir al menos los 2/3 de la altura requerida de la sección de la pieza.

### 9.2.3 Diafragmas de cubierta y de forjado

#### 9.2.3.1 Generalidades

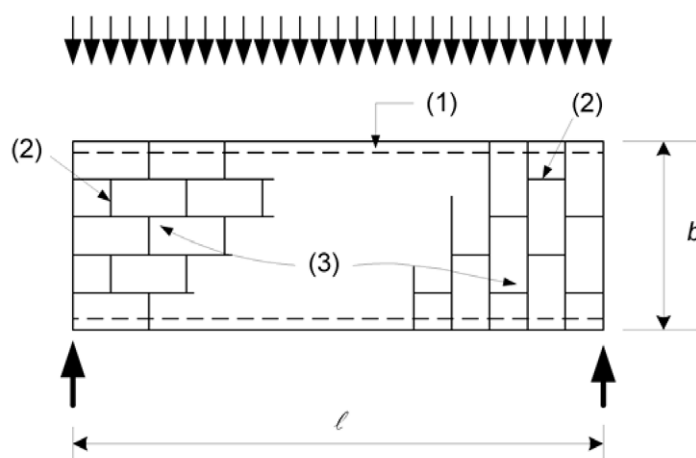
- (1) Este apartado trata de los diafragmas simplemente apoyados, tales como forjados o cubiertas, formados por láminas de materiales derivados de la madera unidos con fijaciones mecánicas a un entramado de madera.
- (2) La capacidad de carga de los medios de fijación en los bordes de las láminas puede incrementarse por un factor de 1,2 respecto a los valores dados en el capítulo 8.

#### 9.2.3.2 Análisis simplificado de los diafragmas de cubierta y de forjado

- (1) En diafragmas con carga uniformemente distribuida (véase la figura 9.4) debería utilizarse el método de análisis simplificado descrito en este apartado siempre que:

– la luz  $\ell$  esté comprendida entre  $2b$  y  $6b$ , donde  $b$  es la anchura del diafragma;

- la condición crítica última de cálculo es el fallo en los medios de fijación (y no en los tableros);
  - los tableros se colocan de acuerdo con las reglas constructivas definidas en el apartado 10.8.1.
- (2) Si no se realiza un análisis más detallado, las vigas de borde deberían calcularse para resistir el momento flector máximo del diafragma.
- (3) Debería admitirse que el cortante se distribuye uniformemente a lo largo de la anchura del diafragma.
- (4) Cuando las láminas se disponen desfasadas al tresbolillo, (véase la figura 9.4), la separación entre clavos a lo largo de los bordes discontinuos del tablero, puede incrementarse por un factor de 1,5 (hasta un máximo de 150 mm) sin reducción de la capacidad de carga.



#### Leyenda

- (1) Viga de borde
- (2) Bordes discontinuos
- (3) Disposición de los tableros

**Fig. 9.4 – Carga sobre el diafragma y disposición de los tableros al tresbolillo**

### 9.2.4 Diafragmas de muros

#### 9.2.4.1 Generalidades

- (1)P Los diafragmas de muros deben calcularse para resistir las acciones horizontales y verticales aplicadas sobre ellos.
- (2)P El muro debe estar adecuadamente anclado para evitar su vuelco y deslizamiento.
- (3)P Los diafragmas de muros con la misión de aportar resistencia al descuadre deben rigidizarse en su plano mediante tableros, diagonales o uniones resistentes a los momentos.
- (4)P La resistencia al descuadre de un muro debe determinarse mediante ensayo de acuerdo con la Norma Europea EN 594, o por cálculo, utilizando métodos analíticos o modelos de cálculo adecuados.
- (5)P El cálculo de los diafragmas de muros debe tener en cuenta el material con el que está construido y la organización geométrica del muro.
- (6)P Debe evaluarse la respuesta del diafragma del muro a las acciones con el fin de garantizar que la construcción se mantiene dentro de los límites adecuados de utilización.

(7) Para los diafragmas de muros se incluyen dos métodos alternativos simplificados de cálculo en los apartados 9.2.4.2 y 9.2.4.3.

NOTA – El procedimiento recomendado es el método A definido en el apartado 9.2.4.2. En el anexo nacional puede recogerse la opción nacional.

#### 9.2.4.2 Análisis simplificado de diafragmas de muros – Método A

(1) El método simplificado definido en este apartado sólo debería aplicarse a los diafragmas de muros con un tirante de anclaje en su extremo, es decir, la pieza vertical en el extremo está directamente conectada a la construcción inferior.

(2) El valor de cálculo de la capacidad de carga  $F_{v,Rd}$  (la resistencia de cálculo al descuadre) bajo una fuerza  $F_{v,Ed}$  aplicada sobre la parte superior del panel en voladizo afianzado contra el levantamiento (mediante acciones verticales o mediante un anclaje) debería determinarse utilizando el siguiente método simplificado de análisis para muros contruidos con uno o más paneles, donde cada panel de muro consiste en una lámina fijada a una de las caras del entramado de madera, siempre que:

- la separación de los medios de fijación sea constante a lo largo del perímetro de cada lámina;
- la anchura de cada lámina sea al menos igual a  $h/4$ .

(3) Para un muro formado por varios paneles de muro, el valor de cálculo de la capacidad de carga al descuadre debería calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (9.20)$$

donde  $F_{i,v,Rd}$  es el valor de cálculo de la capacidad de carga al descuadre del panel de muro de acuerdo con los párrafos (3) y (5) del apartado 9.2.4.2.

(4) El valor de cálculo de la capacidad de carga al descuadre de cada panel de muro,  $F_{i,v,Rd}$ , contra una fuerza  $F_{i,v,Ed}$ , según la figura 9.5, debería calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i c_i}{s} \quad (9.21)$$

donde

$F_{f,Rd}$  es el valor de cálculo de la capacidad de carga lateral de un elemento de fijación individual;

$b_i$  es la anchura del panel de muro;

$s$  es la separación entre medios de fijación.

y

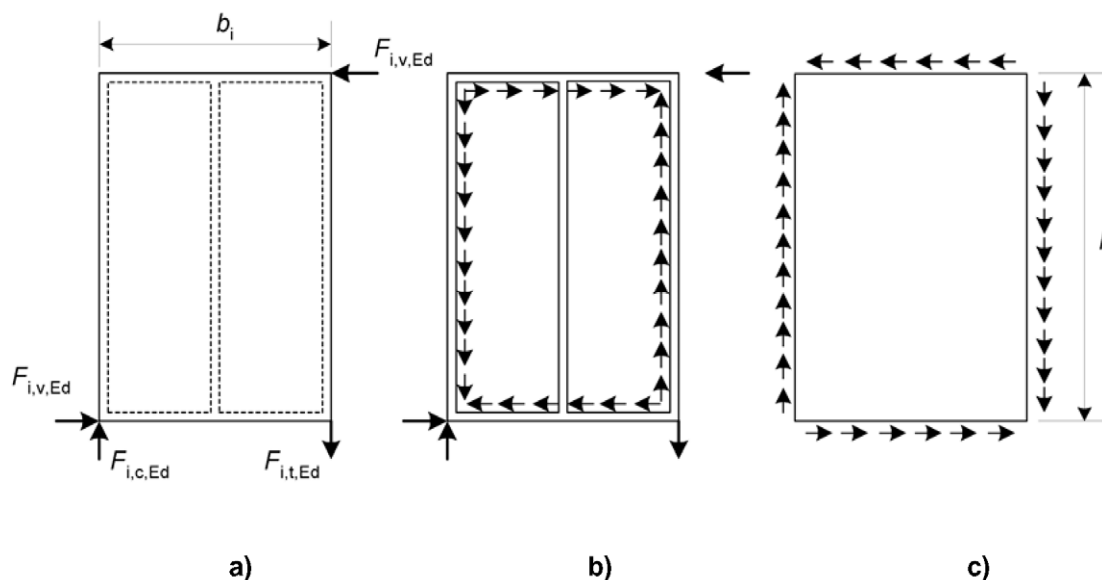
$$c_i = \begin{cases} 1 & \text{para } b_i \geq b_0 \\ \frac{b_i}{b_0} & \text{para } b_i < b_0 \end{cases} \quad (9.22)$$

donde

$$b_0 = h/2$$

$h$  es la altura del muro.

(5) Para los medios de fijación a lo largo de los bordes de una lámina individual, el valor de cálculo de la capacidad de carga lateral debería incrementarse por un factor igual a 1,2 con respecto a los valores correspondientes dados en el capítulo 8. Para la determinación de la separación entre medios de fijación de acuerdo con los requisitos del capítulo 8, los bordes deberían suponerse no cargados.



**Fig. 9.5 – Fuerzas que actúan sobre:**

- a) panel de muro;**
- b) entramado;**
- c) lámina**

(6) Los paneles de muro que contengan huecos de puertas o ventanas no deberían considerarse a efectos de la contribución a la capacidad de carga frente al descuadre.

(7) En los paneles de muro con láminas en ambas caras se aplican las reglas siguientes:

- si las láminas y los medios de fijación son del mismo tipo y dimensiones, la capacidad total de carga frente al descuadre del muro debería tomarse igual a la suma de las capacidades de carga al descuadre de ambas caras;
- si se utilizan tipos diferentes de láminas, se puede considerar el 75% de la capacidad de carga al descuadre de la cara más débil, a no ser que se demuestre que es válido otro valor, siempre que los medios de fijación utilizados tengan un módulo de deslizamiento similar. En otros casos, no debería considerarse más del 50%.

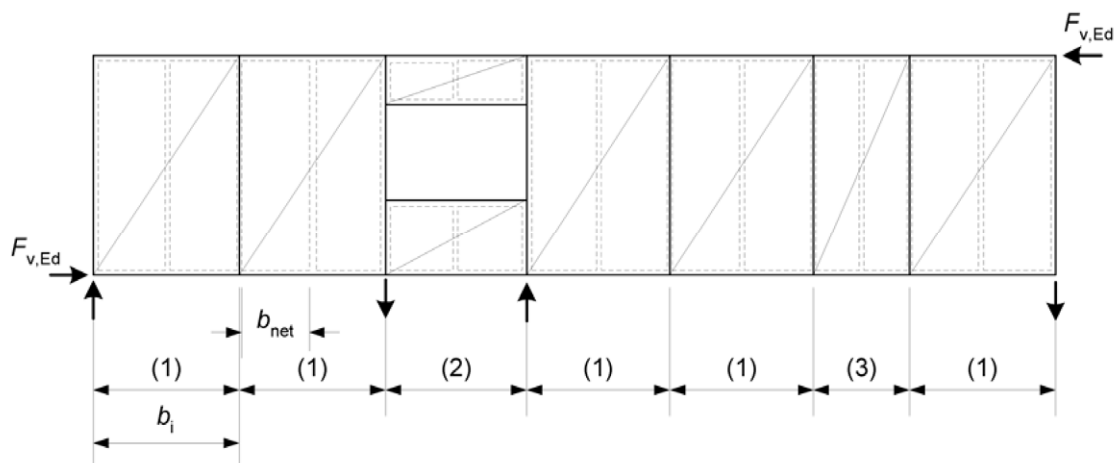
(8) Las fuerzas externas  $F_{i,c,Ed}$  y  $F_{i,t,Ed}$  de acuerdo con la figura 9.5 deberían determinarse según la siguiente expresión:

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i} \quad (9.23)$$

donde  $h$  es la altura del muro.

(9) Estas fuerzas pueden transmitirse bien a las láminas del panel de muro adyacente o bien a la construcción situada encima o debajo. Cuando se transmiten fuerzas de tracción a la construcción situada debajo, debería anclarse el panel con medios de fijación rígidos. Debería comprobarse el pandeo de los pies montantes del muro de acuerdo con el apartado 6.3.2. Cuando las testas de las piezas verticales apoyan en las piezas horizontales del entramado, debería comprobarse la tensión de compresión perpendicular a la fibra de acuerdo con el apartado 6.1.5.

(10) Las fuerzas externas aplicadas en los paneles de muros que contienen huecos de puertas o de ventanas y en los paneles de muro de anchura más pequeña, véase la figura 9.6, pueden transmitirse, de manera similar, a la construcción situada encima o debajo.



#### Leyenda

- (1) Panel de muro (anchura normal)
- (2) Panel de muro con ventana
- (3) Panel de muro (anchura más pequeña)

**Fig. 9.6 – Ejemplo de un conjunto de paneles de muro que contienen un panel de muro con hueco de ventana y un panel de muro de anchura más pequeña**

(11) Puede despreciarse el pandeo de la lámina siempre que  $\frac{b_{net}}{t} \leq 100$

donde

$b_{net}$  es la luz libre entre montantes;

$t$  es el espesor de la lámina.

(12) Para considerar el montante central como un apoyo para la lámina, la separación entre los medios de fijación en el montante central no debería ser mayor que dos veces la separación de los medios de fijación a lo largo de los bordes de la lámina.

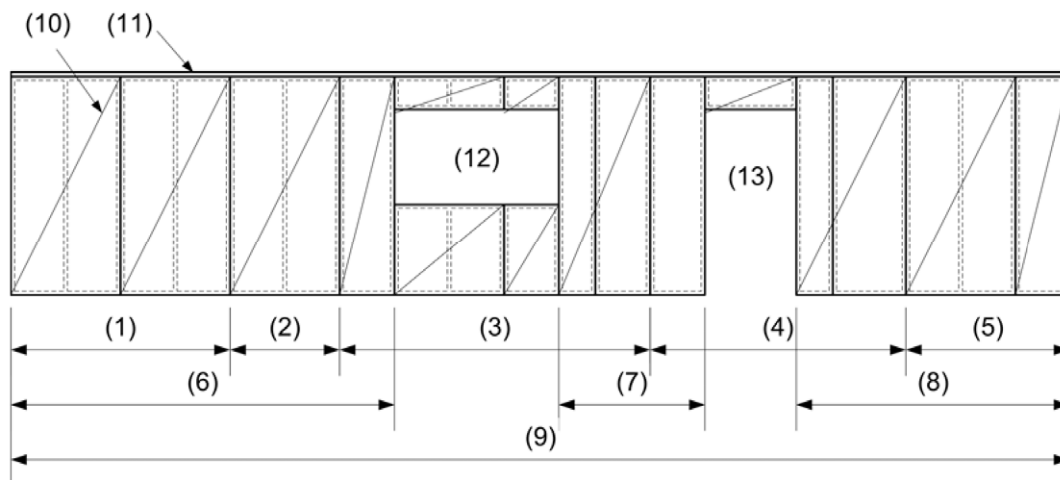
(13) Cuando cada panel consiste en un elemento prefabricado de muro, debería comprobarse la transmisión del cortante entre los elementos de muro separados.

(14) En las áreas de contacto entre los montantes verticales y las piezas de madera horizontales, debería comprobarse la tensión de compresión perpendicular a la fibra en las piezas de madera.

#### 9.2.4.3 Análisis simplificado de diafragmas de muros – Método B

##### 9.2.4.3.1 Construcción de muros y paneles para cumplir los requisitos del análisis simplificado

(1) El conjunto de un sistema de muros (véase la figura 9.7) está formado por uno o más muros en los que cada uno de ellos está formado por uno o más paneles, fabricados con láminas de productos derivados de la madera, tales como los descritos en el apartado 3.5, fijados a un entramado de madera.



#### Leyenda

(1) Panel de muro 1	(2) Panel de muro 2
(3) Panel de muro 3	(4) Panel de muro 4
(5) Panel de muro 5	(6) Muro 1
(7) Muro 2	(8) Muro 3
(9) Sistema de muros	(10) Lámina
(11) Cabecero	(12) Ventana
(13) Puerta	

**Fig. 9.7 – Ejemplo de un sistema de muros formado por varios paneles de muros**

(2) Para que un panel contribuya a la resistencia en el plano (descuadre) de un muro, la anchura del panel debería ser como mínimo igual a la altura del panel dividida por 4. La fijación de las láminas al entramado de madera debería ser mediante clavos o tirafondos, y los elementos de fijación deberían disponerse con una separación constante alrededor del perímetro de la lámina. Los elementos de fijación dentro del perímetro de la lámina no deberían separarse a más del doble de la separación en el perímetro.

(3) Cuando exista un hueco en un panel, las longitudes del panel a cada lado del hueco deberían considerarse como paneles independientes.

(4) Cuando los paneles se combinan para formar un muro:

- la parte superior de los paneles individuales debería quedar unida mediante una pieza o un sistema a través de las juntas de los paneles;
- debería determinarse la resistencia requerida para la componente vertical entre dos paneles, pero como mínimo debería tener una resistencia de cálculo de 2,5 kN/m;
- los paneles que queden unidos para formar un muro, deberían ser capaces de resistir el vuelco y el deslizamiento mediante un anclaje a la estructura de soporte o por las acciones permanentes aplicadas en el muro o también, por una combinación de ambos efectos.

#### 9.2.4.3.2 Procedimiento de cálculo

(1) El valor de cálculo de la resistencia a cortante en el plano (descuadre)  $F_{v,Rd}$  contra una fuerza  $F_{v,Ed}$  aplicada en la cabeza de un muro en voladizo que se encuentra afianzado contra el levantamiento y el deslizamiento mediante acciones verticales y/o anclajes, debería determinarse utilizando el método simplificado siguiente para la construcción de muros definida en el apartado 9.2.4.3.1.

(2) Para un conjunto de muro constituido por varios muros, el valor de cálculo de la resistencia al descuadre del conjunto  $F_{v,Rd}$  debería calcularse mediante la siguiente expresión:

$$F_{v,Rd} = \sum F_{i,v,Rd} \quad (9.24)$$

donde

$F_{i,v,Rd}$  es el valor de cálculo de la resistencia al descuadre de un muro de acuerdo con el párrafo (3) que sigue a continuación.

(3) El valor de cálculo de la resistencia al descuadre de un muro  $i$ ,  $F_{i,v,Rd}$ , debería calcularse mediante la siguiente expresión:

$$F_{i,v,Rd} = \frac{F_{f,Rd} b_i}{s_0} k_d k_{i,q} k_s k_n \quad (9.25)$$

donde

$F_{f,Rd}$  es el valor de cálculo de la capacidad de carga lateral de un elemento individual de fijación;

$b_i$  es la longitud del muro, en m;

$s_0$  es la separación básica de los elementos de fijación, véase el párrafo (4) a continuación;

$k_d$  es el factor de tamaño del panel, véase el párrafo (4) a continuación;

$k_{i,q}$  es el factor de carga uniformemente distribuida para el muro  $i$ , véase el párrafo (4) a continuación;

$k_s$  es el factor de separación entre elementos de fijación, véase el párrafo (4) a continuación;

$k_n$  es el factor del material que constituye la lámina de cerramiento, véase el párrafo (4) a continuación.

(4) Los valores de  $s_0$ ,  $k_d$ ,  $k_{i,q}$ ,  $k_s$  y  $k_n$  deberían calcularse mediante las siguientes expresiones:

$$s_0 = \frac{9\,700\,d}{\rho_k} \quad (9.26)$$

donde

$d$  es el diámetro del elemento de fijación, en mm;

$\rho_k$  es el valor característico de la densidad de la madera del entramado;

$$k_d = \begin{cases} \frac{b_i}{h} & \text{para } \frac{b_i}{h} \leq 1,0 \\ \left(\frac{b_i}{h}\right)^{0,4} & \text{para } \frac{b_i}{h} > 1,0 \text{ y } b_i \leq 4,8 \text{ m} \\ \left(\frac{4,8}{h}\right)^{0,4} & \text{para } \frac{b_i}{h} > 1,0 \text{ y } b_i > 4,8 \text{ m} \end{cases} \quad (9.27)$$

(a)

(b)

(c)

donde  $h$  es la altura del muro, en m;

$$k_{i,q} = 1 + \left( 0,083 q_i - 0,0008 q_i^2 \right) \left( \frac{2,4}{b_1} \right)^{0,4} \quad (9.28)$$

donde  $q_i$  es la carga vertical uniformemente distribuida equivalente que actúa sobre el muro, en kN/m, con  $q_i \geq 0$ , véase el párrafo (5) a continuación;

$$k_s = \frac{1}{0,86 \frac{s}{s_0} + 0,57} \quad (9.29)$$

donde  $s$  es la separación de los elementos de fijación alrededor del perímetro de las láminas;

$$k_n = \begin{cases} 1,0 & \text{para lámina de cerramiento en una cara} & (a) \\ \frac{F_{i,v,Rd,max} + 0,5 F_{i,v,Rd,min}}{F_{i,v,Rd,max}} & \text{para lámina de cerramiento en ambas caras} & (b) \end{cases} \quad (9.30)$$

donde

$F_{i,v,Rd,max}$  es el valor de cálculo de la resistencia al descuadre de la lámina más resistente;

$F_{i,v,Rd,min}$  es el valor de cálculo de la resistencia al descuadre de la lámina menos resistente.

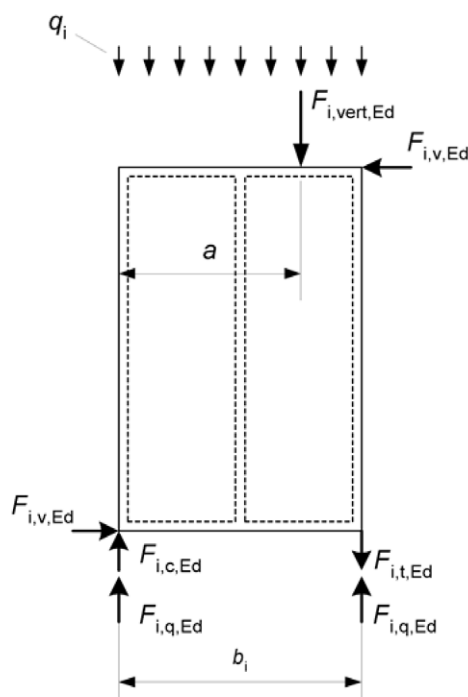
(5) La carga vertical equivalente,  $q_i$ , utilizada para el cálculo de  $k_{i,q}$  debería determinarse utilizando únicamente las acciones permanentes y cualquier efecto neto del viento, junto con las acciones equivalentes originadas por fuerzas concentradas, incluyendo las fuerzas de anclajes, que actúen sobre el panel. Con el fin de calcular  $k_{i,q}$ , las fuerzas concentradas verticales deberían convertirse en una carga equivalente uniformemente distribuida suponiendo que el muro se comporta como un sólido rígido, por ejemplo, para la carga  $F_{i,vert,Ed}$  que actúa sobre el muro, como se muestra en la figura 9.8.

$$q_i = \frac{2 a F_{i,vert,Ed}}{b_1^2} \quad (9.31)$$

donde

$a$  es la distancia horizontal desde la fuerza  $F$  a la esquina a sotavento del muro;

$b$  es la longitud del muro.



**Fig. 9.8 – Determinación de la acción vertical equivalente  $q_i$  y reacciones debidas a las acciones verticales y horizontales**

(6) Las fuerzas externas  $F_{i,c,Ed}$  y  $F_{i,t,Ed}$  (véase la figura 9.8) consecuencia de la acción horizontal  $F_{i,v,Ed}$  en el muro  $i$ , deberían determinarse según la siguiente expresión:

$$F_{i,c,Ed} = F_{i,t,Ed} = \frac{F_{i,v,Ed} h}{b_i} \quad (9.32)$$

donde  $h$  es la altura del muro.

Estas fuerzas externas pueden transmitirse al panel adyacente a través de la conexión vertical entre paneles o la construcción por encima o debajo del muro. Cuando se transmiten fuerzas de tracción a la construcción de debajo, el panel debería anclarse con elementos de fijación rígidos. Las piezas verticales sometidas a fuerzas de compresión deberían comprobarse a pandeo de acuerdo con el apartado 6.3.2. Cuando las testas de las piezas verticales descansan sobre las piezas horizontales del entramado, debería comprobarse la compresión perpendicular a la fibra de acuerdo con el apartado 6.1.5.

(7) El pandeo de las láminas bajo la acción del cortante  $F_{v,Ed}$  puede despreciarse siempre que se cumpla

$$\frac{b_{net}}{t} \leq 100 \quad (9.33)$$

donde

$b_{net}$  es la distancia libre entre piezas verticales del entramado de madera;

$t$  es el espesor de la lámina de cerramiento.

## 9.2.5 Arriostramiento

### 9.2.5.1 Generalidades

- (1)P Las estructuras que no sean adecuadamente rígidas por otros medios, deben arriostrarse para prevenir la inestabilidad o la deformación excesiva.
- (2)P Deben tenerse en cuenta las tensiones provocadas por las imperfecciones geométricas y estructurales, así como las originadas por deformaciones inducidas (incluyendo la contribución de cualquier deslizamiento).
- (3)P Las fuerzas de arriostramiento deben determinarse en el supuesto de la combinación más desfavorable de las imperfecciones estructurales y las deformaciones inducidas.

### 9.2.5.2 Piezas simples en compresión

- (1) Para piezas simples comprimidas, que requieren apoyos laterales a intervalos  $a$  (véase la figura 9.9), la desviación inicial respecto a la línea recta que une los apoyos debería estar por debajo de  $a/500$  para piezas de madera laminada encolada o microlaminada (LVL), y por debajo de  $a/300$  para otras piezas.
- (2) Cada apoyo intermedio debería tener un coeficiente de rigidez con un valor mínimo igual a  $C$ .

$$C = k_s \frac{N_d}{a} \quad (9.34)$$

donde

$k_s$  es un factor de modificación;

$N_d$  es el valor de cálculo medio del axil de compresión en la pieza;

$a$  es la longitud del vano (véase la figura 9.9).

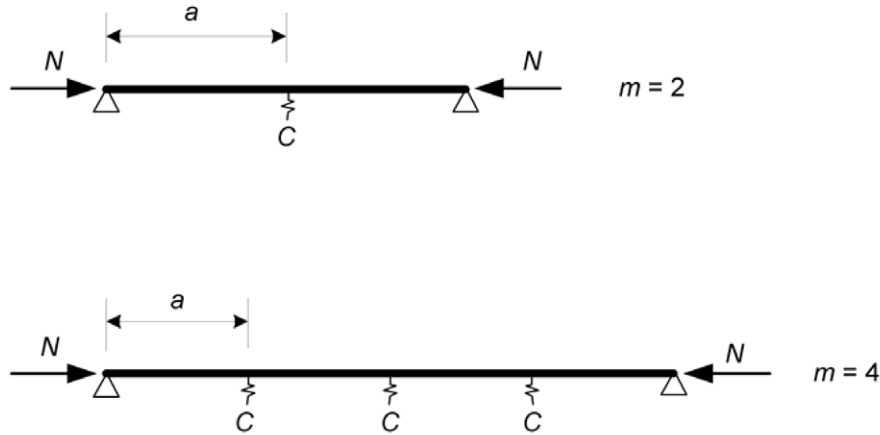
NOTA – Para  $k_s$ , véase la nota en el párrafo (1) del apartado 9.2.5.3.

- (3) El valor de cálculo de la fuerza estabilizadora  $F_d$  en cada apoyo debería calcularse según la siguiente expresión:

$$F_d = \begin{cases} \frac{N_d}{k_{f,1}} & \text{para madera maciza} \\ \frac{N_d}{k_{f,2}} & \text{para madera laminada encolada y madera microlaminada (LVL)} \end{cases} \quad (9.35)$$

donde  $k_{f,1}$  y  $k_{f,2}$  son factores de modificación.

NOTA – Para  $k_{f,1}$  y  $k_{f,2}$ , véase la nota en el párrafo (1) del apartado 9.2.5.3.



**Fig. 9.9 – Ejemplos de piezas simples comprimidas arriostradas mediante apoyos laterales**

(4) El valor de cálculo de la fuerza estabilizadora  $F_d$  para el borde comprimido de una viga de sección rectangular debería determinarse de acuerdo con el párrafo (3) del apartado 9.2.5.2.

donde

$$N_d = (1 - k_{\text{crit}}) \frac{M_d}{h} \quad (9.36)$$

El valor de  $k_{\text{crit}}$  debería determinarse a partir del párrafo (4) del apartado 6.3.3 para el caso de la viga sin arriostramiento, y  $M_d$  es el valor de cálculo del momento máximo que actúa en la viga de canto  $h$ .

### 9.2.5.3 Arriostramiento de sistemas de vigas o cerchas

(1) Para un conjunto de  $n$  piezas paralelas que requieren apoyos laterales en puntos intermedios A, B, etc. (véase la figura 9.10) debería incluirse un sistema de arriostramiento, que, además de los efectos de las cargas externas horizontales (por ejemplo el viento), debería ser capaz de resistir una carga interna de estabilización por unidad de longitud  $q$ , definida a continuación:

$$q_d = k_\ell \frac{n N_d}{k_{f,3} \ell} \quad (9.37)$$

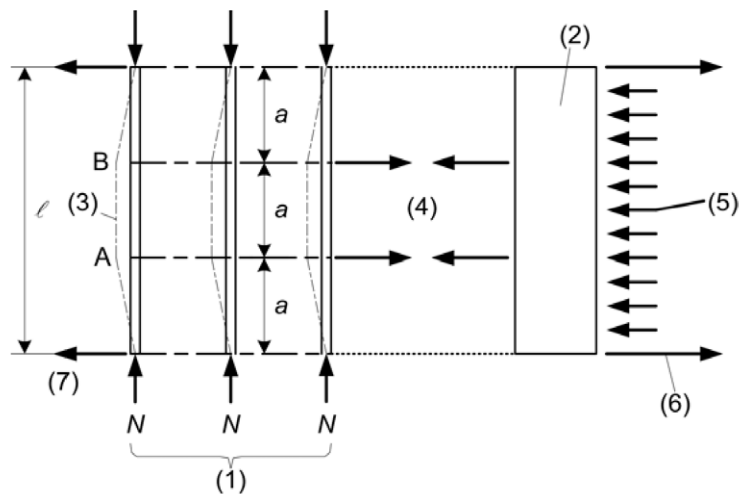
donde

$$k_\ell = \min \left\{ 1, \sqrt{\frac{15}{\ell}} \right\} \quad (9.38)$$

$N_d$  es el valor medio del axil de cálculo de compresión en la pieza;

$\ell$  es la luz total del sistema de estabilización, en m;

$k_{f,3}$  es un factor de modificación.



#### Leyenda

- (1)  $n$  piezas del sistema de cerchas
- (2) Arriostramiento
- (3) Deformación del sistema de cerchas debido a las imperfecciones y a los efectos de segundo orden
- (4) Fuerzas de estabilización
- (5) Carga externa sobre el arriostramiento
- (6) Reacciones del arriostramiento debidas a las cargas externas
- (7) Reacciones del sistema de cerchas debidas a las fuerzas de estabilización

**Fig. 9.10 – Sistema de vigas o cerchas que requieren apoyos laterales**

NOTA – Los valores de los factores de modificación  $k_s$ ,  $k_{f,1}$ ,  $k_{f,2}$  y  $k_{f,3}$  dependen de la influencia de factores tales como la calidad de la mano de obra, la luz, etc. En la tabla 9.2 se dan los rangos de valores en los que los valores recomendados se encuentran subrayados. En el anexo nacional se puede incluir la opción nacional.

**Tabla 9.2**  
**Valores recomendados de los factores de modificación**

Factor de modificación	Rango
$k_s$	<u>4</u> a 1
$k_{f,1}$	<u>50</u> a 80
$k_{f,2}$	<u>80</u> a 100
$k_{f,3}$	<u>30</u> a 80

(2) La deformación horizontal del sistema de arriostramiento debida a la fuerza  $q_d$  y a cualquier otra carga externa (como por ejemplo el viento), no debería exceder  $\ell/500$ .

## **CAPÍTULO 10 – DETALLES CONSTRUCTIVOS Y CONTROL**

### **10.1 Generalidades**

(1)P Las disposiciones dadas en este capítulo son requisitos previos para poder aplicar las reglas de cálculo definidas en esta norma europea.

### **10.2 Materiales**

(1) La desviación de la rectitud medida en el punto medio entre los apoyos, para los pilares y vigas cuando pueda darse la inestabilidad lateral, o para las piezas en pórticos, debería limitarse a 1/500 veces de la longitud, en piezas de madera laminada encolada o de madera microlaminada (LVL), y a 1/300 veces la longitud, en piezas de madera maciza. Las limitaciones de la curvatura en la mayoría de las reglas de clasificación resistente son inadecuadas para la selección del material para estas piezas, y debería prestarse atención especial a su rectitud.

(2) Los elementos de madera y de componentes derivados de la madera no deberían exponerse innecesariamente a condiciones climáticas más severas que las esperadas en la estructura terminada.

(3) Antes de utilizarse en la construcción, la madera debería secarse hasta un grado lo más cercano posible al contenido de humedad adecuado a sus condiciones climáticas en la estructura terminada. Si los efectos de las mermas no se consideran importantes, o si las partes que están dañadas de manera inaceptable se sustituyen, pueden aceptarse contenidos de humedad mayores durante el montaje, siempre que se garantice que la madera puede secarse al contenido de humedad deseado.

### **10.3 Uniones encoladas**

(1) Cuando la resistencia del encolado constituye un requisito para los estados límite últimos, la fabricación de las uniones encoladas debería estar sometida a un control de calidad, para garantizar que la fiabilidad y calidad de la unión está de acuerdo con las especificaciones técnicas.

(2) Deberían seguirse las recomendaciones del fabricante del adhesivo con respecto a la mezcla, condiciones ambientales para la aplicación y el curado, contenido de humedad de las piezas y todos los factores relevantes para el uso adecuado del adhesivo.

(3) Para los adhesivos que requieran un acondicionamiento después de la puesta inicial, antes de alcanzar la resistencia final, debería restringirse la aplicación de la carga en la unión durante el tiempo necesario.

### **10.4 Uniones con elementos de fijación mecánicos**

#### **10.4.1 Generalidades**

(1)P Deberán limitarse las gemas, fendas, nudos u otros defectos en la zona de la unión de tal manera que la capacidad de carga de la unión no quede reducida.

#### **10.4.2 Clavos**

(1) A no ser que se especifique lo contrario, los clavos deberían introducirse en ángulo recto a la fibra y a una profundidad tal que las superficies de las cabezas de los clavos queden enrasadas con la superficie de la madera.

(2) A no ser que se especifique lo contrario, el clavado oblicuo debería realizarse de acuerdo con la figura 8.8 (b).

(3) El diámetro de los agujeros de pretaladrado no debería exceder de  $0,8d$ , donde  $d$  es el diámetro del clavo.

### 10.4.3 Pernos y arandelas

(1) Los agujeros para alojar los pernos deberían tener un diámetro de no más de 1 mm mayor que el del perno. Los agujeros para alojar los pernos en placas de acero deberían tener un diámetro de no más de 2 mm o  $0,1d$  (el mayor de ambos) mayor que el diámetro del perno  $d$ .

(2) Las arandelas bajo la cabeza y bajo la tuerca deberían tener una longitud del lado o un diámetro de al menos  $3d$  y un espesor de al menos  $0,3d$ . Las arandelas deberían tener contacto en toda la superficie.

(3) Los pernos y tirafondos deberían ajustarse de forma que las piezas encajen perfectamente, y deberían volverse a ajustar si fuera necesario cuando la madera haya alcanzado el contenido de la humedad de equilibrio, para asegurarse que se mantiene la capacidad de carga y rigidez de la estructura.

(4) En la tabla 10.1 se indican los requisitos para el diámetro mínimo para pernos utilizados con conectores para madera, donde

$d_c$  es el diámetro del conector, en mm;

$d$  es el diámetro del perno, en mm;

$d_1$  es el diámetro del agujero central del conector.

**Tabla 10.1**  
**Requisitos para los diámetros de los pernos utilizados con conectores para madera**

Tipo de conector EN 912	$d_c$	$d$ mínimo	$d$ máximo
	mm	mm	mm
A1 – A6	$\leq 130$	12	24
A1, A4, A6	$> 130$	$0,1 d_c$	24
B		$d_1-1$	$d_1$

### 10.4.4 Pasadores

(1) El diámetro mínimo del pasador debería ser de 6 mm. Las tolerancias en el diámetro del pasador deberían ser de  $-0/+0,1$  mm. Los pretaladros en las piezas de madera deberían tener un diámetro no mayor que el del pasador.

### 10.4.5 Tirafondos

(1) Para los tirafondos en coníferas con un diámetro de la caña  $d \leq 6$  mm, no se requiere pretaladrado. Para todos los tirafondos en frondosas y para tirafondos en coníferas con un diámetro  $d > 6$  mm, se requiere pretaladrado, con los siguientes requisitos:

- El agujero guía de la caña debería tener el mismo diámetro que la caña y la misma profundidad que la longitud de la caña.
- El agujero guía para la cuerda (parte roscada) debería tener un diámetro de aproximadamente el 70% del diámetro de la caña.

(2) Para maderas con densidades mayores que  $500 \text{ kg/m}^3$ , el diámetro del pretaladro debería determinarse mediante ensayos.

## 10.5 Montaje

(1) La estructura debería montarse de tal manera que se eviten sobretensiones en las piezas y uniones. Las piezas que estén alabeadas, fendadas o con fijaciones en mal estado en las uniones deberían sustituirse.

## 10.6 Transporte y elevación

(1) Debería evitarse sobretensionar las piezas durante el almacenaje, transporte o elevación. Si la estructura resultara cargada o apoyada durante la construcción de manera diferente que en la construcción terminada, las condiciones temporales deberían considerarse como una hipótesis de carga relevante, incluyendo cualquier posible acción dinámica. En el caso de pórticos entramados, como por ejemplo arcos y pórticos, deberían tomarse precauciones especiales para evitar la distorsión durante el izado desde la posición horizontal a la vertical.

## 10.7 Control

(1) Se supone que un plan de control incluye lo siguiente:

- control de la producción y de la mano de obra en la propia obra y fuera de ella;
- control después de la terminación de la estructura.

NOTA 1 – Se supone que el control de la construcción incluye:

- ensayos preliminares, como por ejemplo ensayos para la determinación de la adecuación de los materiales y de los métodos de producción;
- comprobación de los materiales y de su identificación, como por ejemplo:
  - para la madera y los productos derivados de la madera: especie, calidad, marcado, tratamientos y contenido de humedad;
  - para las construcciones encoladas: tipo de adhesivo, proceso de fabricación, calidad de la línea de cola;
  - para los elementos de fijación: tipo, protección contra la corrosión;
- transporte, almacenamiento *in situ* y manejo de los materiales;
- comprobación de las dimensiones y geometría correctas;
- comprobación del montaje y elevación;
- comprobación de los detalles constructivos, como por ejemplo:
  - número de clavos, pernos, etc.;
  - tamaño de los agujeros, pretaladrado correcto;
  - separaciones y distancias a la testa y a los bordes de las piezas;
  - fendado;
- comprobación final del resultado del proceso de fabricación, como por ejemplo una inspección visual o pruebas de carga.

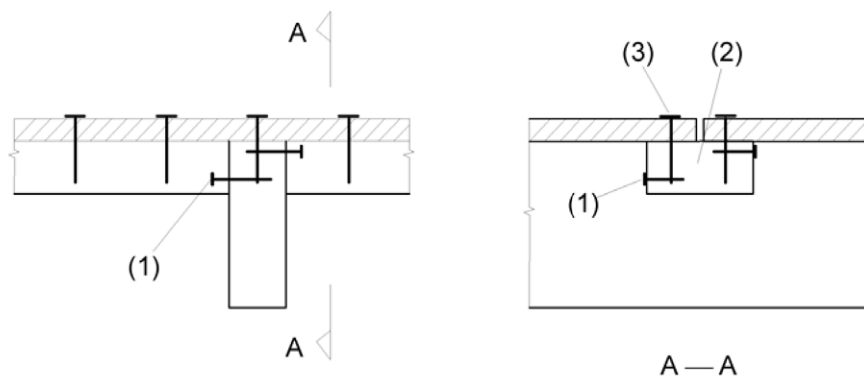
NOTA 2 – Se supone que se establece un programa de control para especificar las medidas de control (inspección de mantenimiento) para llevar a cabo en servicio cuando no se garantiza adecuadamente que se cumplan las hipótesis básicas del proyecto a largo plazo.

NOTA 3 – Se supone que toda la información requerida para su uso en servicio y para el mantenimiento de la estructura queda a disposición de la persona o autoridad responsable de la estructura terminada.

## 10.8 Reglas específicas para estructuras de diafragmas

### 10.8.1 Diafragmas de forjados y cubiertas

(1) El método simplificado de análisis dado en el apartado 9.2.3.2 supone que los paneles de cerramiento no apoyados en viguetas o pares se encuentran conectados entre sí, por ejemplo, por medio de cubrejuntas, como se indica en la figura 10.1. Deberían utilizarse clavos que no sean lisos, como se define en la Norma Europea EN 14592, o tirafondos, con una separación máxima a lo largo de los bordes de los paneles de cerramiento de 150 mm. En los lugares restantes la separación mínima debería ser de 300 mm.

**Leyenda**

- (1) Cubrejuntas clavado oblicuamente a la vigueta o al par
- (2) Cubrejuntas
- (3) Cerramiento clavado al cubrejuntas

**Fig. 10.1 – Ejemplo de conexión entre paneles no apoyados sobre vigueta o par**

### 10.8.2 Diafragmas de muros

(1) Los métodos simplificados de análisis dados en los apartados 9.2.4.2 y 9.2.4.3 suponen que las fijaciones de los paneles están dispuestas con una separación máxima a lo largo de los bordes de 150 mm para el caso de los clavos, y 200 mm para los tirafondos. En los montantes interiores, la separación máxima no debería ser mayor que el menor valor de los dos siguientes: dos veces la separación a lo largo de los bordes o 300 mm. Véase la figura 10.2.

**Leyenda**

- (1) Separación máxima entre clavos de 300 mm en los montantes intermedios
- (2) Borde del panel
- (3) Separación máxima entre clavos de 150 mm

**Fig. 10.2 – Fijación de los paneles**

## 10.9 Reglas especiales para cerchas con herrajes de placas metálicas dentadas

### 10.9.1 Fabricación

NOTA – Los requisitos para la fabricación de cerchas se indican en la Norma Europea EN 14250.

### 10.9.2 Elevación

(1) Deberían realizarse comprobaciones de la rectitud y del aplomado de las cerchas antes de efectuar la fijación del arriostramiento permanente.

(2) Cuando se fabrican las cerchas, las piezas deberían estar libres de deformaciones dentro de los límites establecidos en la Norma Europea EN 14250. Sin embargo, si las piezas que se han deformado durante el periodo comprendido entre la fabricación y el montaje pueden enderezarse sin dañar la madera o las uniones y mantenerse rectas, puede considerarse la cercha satisfactoria para su uso.

(3) Debería limitarse la curvatura máxima  $a_{\text{bow}}$  en cualquier pieza de la cercha después de su montaje. El valor de curvatura máximo permitido debería ser  $a_{\text{bow,perm}}$ , siempre que se encuentre asegurada adecuadamente en la cubierta frente a un posible aumento de la curvatura.

NOTA — El rango de valores recomendado para  $a_{\text{bow,perm}}$  es de 10 mm a 50 mm. En el anexo nacional puede incluirse la opción nacional.

(4) Debería limitarse la desviación máxima  $a_{\text{dev}}$  de una cercha respecto a la vertical después del montaje. El valor permitido de la máxima desviación de la vertical debería tomarse igual a  $a_{\text{dev,perm}}$ .

NOTA — El rango de valores recomendado para  $a_{\text{dev,perm}}$  es de 10 mm a 50 mm. En el anexo nacional puede incluirse la opción nacional.

## ANEXO A (Informativo)

**FALLO DE CORTANTE EN BLOQUE Y POR DESGARRO EN UNIONES ACERO-MADERA  
CON VARIOS ELEMENTOS DE FIJACIÓN DE TIPO CLAVIJA**

(1) En el caso de uniones acero-madera que contienen varios elementos de fijación de tipo clavija sometidos a una componente de la fuerza paralela a la fibra en una zona cercana a la testa de la pieza de madera, el valor característico de la capacidad de carga frente a la rotura a lo largo del perímetro envolvente del área de fijaciones, como se indica en la figura A.1 (fallo por cortante en bloque) y la figura A.2 (fallo por cortante por desgarro), deberían tomarse como se indica a continuación:

$$F_{bs,Rk} = \max. \begin{cases} 1,5 A_{net,t} f_{t,0,k} \\ 0,7 A_{net,v} f_{v,k} \end{cases} \quad (A.1)$$

con

$$A_{net,t} = L_{net,t} t_1 \quad (A.2)$$

$$A_{net,v} = \begin{cases} L_{net,v} t_1 & \text{modos de fallo (e, f, j/l, k, m)} \\ \frac{L_{net,v}}{2} (L_{net,t} + 2 t_{ef}) & \text{restantes modos de fallo} \end{cases} \quad (A.3)$$

y

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

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

Para placas delgadas de acero (para los modos de fallo indicados entre paréntesis)

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

Para placas gruesas de acero (para los modos de fallo indicados entre paréntesis)

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

donde

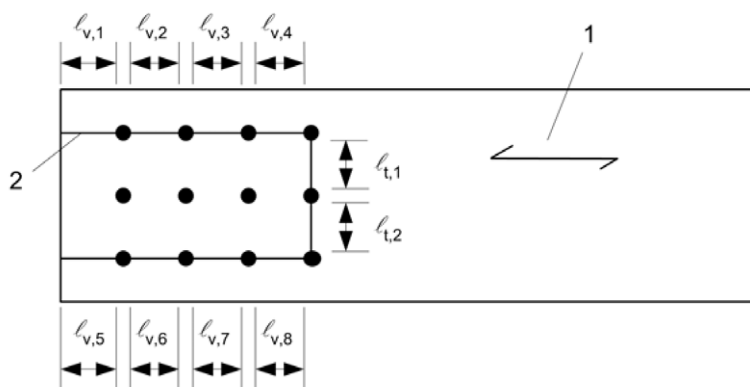
$F_{bs,Rk}$  es el valor característico de la capacidad de carga frente al fallo de cortante en bloque o por desgarro;

$A_{net,t}$  es el área neta de la sección transversal perpendicular a la fibra;

$A_{net,v}$  es el área neta a cortante paralela a la dirección de la fibra;

- $L_{net,t}$  es la anchura neta de la sección transversal perpendicular a la fibra;
- $L_{net,v}$  es la longitud total neta del área de rotura a cortante;
- $\ell_{v,i}, \ell_{t,i}$  según se definen en la figura A.1;
- $t_{ef}$  es la profundidad eficaz dependiente del modo de fallo del elemento de fijación, véase la figura 8.3;
- $t_1$  es el espesor de la pieza de madera o la profundidad de penetración del elemento de fijación;
- $M_{y,Rk}$  es el valor característico del momento plástico del elemento de fijación;
- $d$  es el diámetro del elemento de fijación;
- $f_{t,0,k}$  es el valor característico de la resistencia a tracción de la pieza de madera;
- $f_{v,k}$  es el valor característico de la resistencia a cortante de la pieza de madera;
- $f_{h,k}$  es el valor característico de la resistencia al aplastamiento de la pieza de madera.

NOTA – Los modos de fallo asociados con las expresiones (A.3), (A.6) y (A.7) se recogen en la figura 8.3.



#### Leyenda

- 1 Dirección de la fibra
- 2 Línea de rotura

Fig. A.1 – Ejemplo de fallo por cortante en bloque

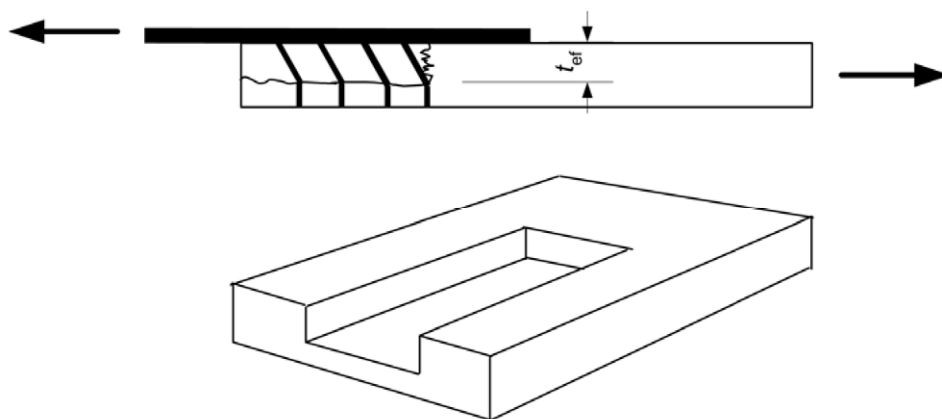


Fig. A.2 – Ejemplo de fallo por cortante por desgarro

**ANEXO B** (Informativo)**VIGAS CON UNIONES MECÁNICAS****B.1 Análisis simplificado****B.1.1 Secciones transversales**

(1) En este anexo se consideran las secciones transversales mostradas en la figura B.1.

**B.1.2 Hipótesis**

(1) El método de cálculo se basa en la teoría de la elasticidad lineal y en las siguientes hipótesis:

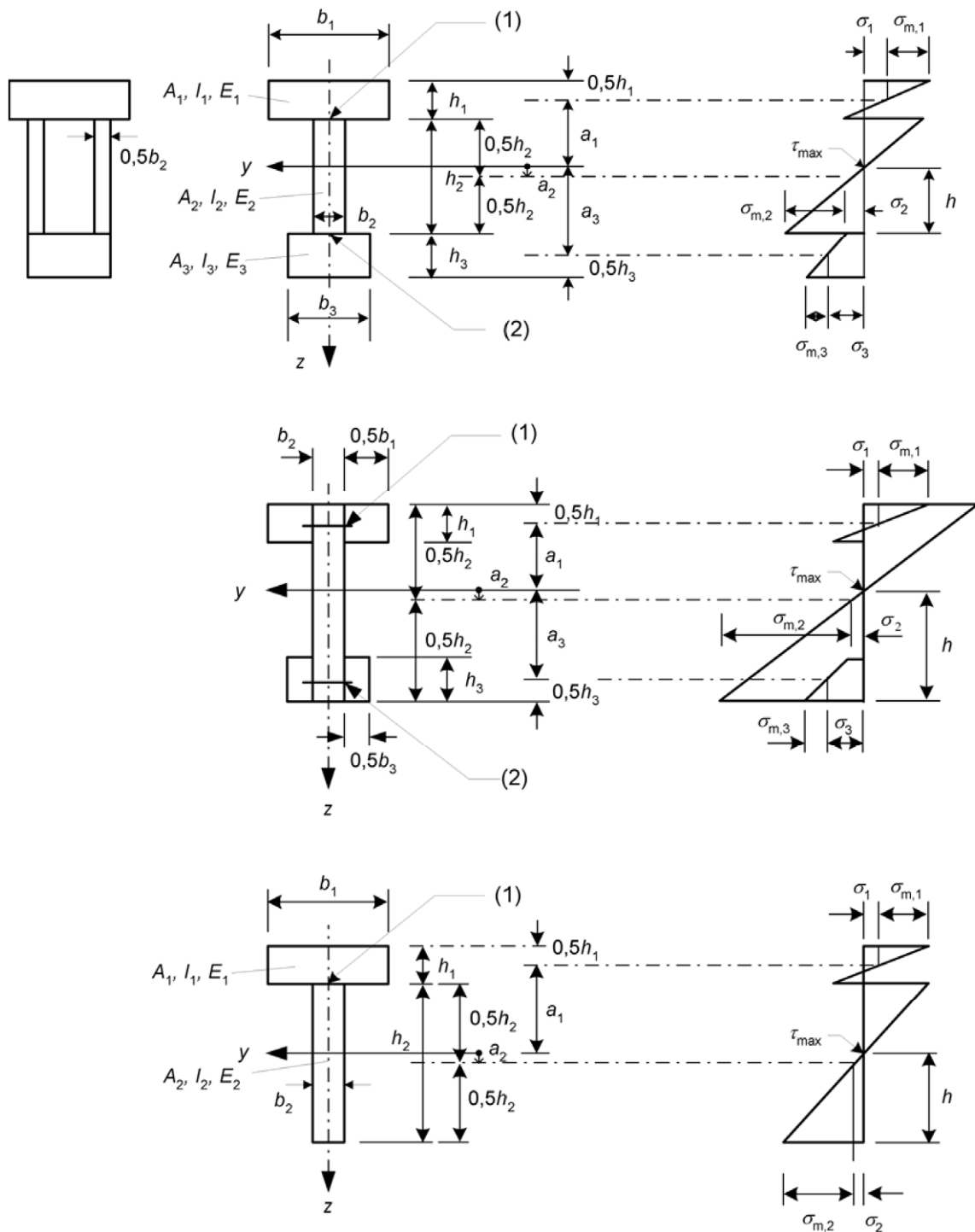
- las vigas se encuentran simplemente apoyadas con una luz  $\ell$ . En vigas continuas las expresiones pueden utilizarse con una luz  $\ell$  igual a 0,8 veces la luz aplicable, y para voladizos, con una luz  $\ell$  igual a dos veces la longitud del voladizo;
- las partes individuales (de madera, paneles de productos derivados de la madera) tienen la longitud completa o están hechas con empalmes encolados;
- las partes individuales están conectadas entre sí mediante elementos de fijación mecánicos con un módulo de deslizamiento  $K$ ;
- la separación  $s$  entre los elementos de fijación es constante o varía uniformemente de acuerdo con la ley de esfuerzos cortantes entre  $s_{\min.}$  y  $s_{\max.}$ , con  $s_{\max.} \leq 4 s_{\min.}$ ;
- la carga actúa en la dirección del eje  $z$  dando lugar a un momento  $M = M(x)$  que varía sinusoidalmente o parabólicamente y a un cortante  $V = V(x)$ .

**B.1.3 Separaciones**

(1) Cuando un ala está formada por dos partes unidas a un alma, o cuando un alma está formada por dos partes (como en una viga cajón), la separación  $s_i$  se determina como la suma de los elementos de fijación por unidad de longitud en los dos planos de unión.

**B.1.4 Deformación debida al momento flector**

(1) La deformación se calcula utilizando una rigidez eficaz a flexión  $(EI)_{\text{ef}}$  determinada de acuerdo con el capítulo B.2.



**Leyenda**

- |                       |                                |              |
|-----------------------|--------------------------------|--------------|
| (1) Separación: $s_1$ | módulo de deslizamiento: $K_1$ | carga: $F_1$ |
| (2) Separación: $s_3$ | módulo de deslizamiento: $K_3$ | carga: $F_3$ |

**Fig. B.1 – Sección transversal (izquierda) y distribución de las tensiones de flexión (derecha). Todas las medidas son positivas excepto para  $a_2$ , para la que el sentido positivo es el representado en la figura**

## B.2 Rigidez eficaz a flexión

(1) La rigidez eficaz a flexión debería calcularse según la siguiente expresión:

$$(EI)_{\text{ef}} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2) \quad (\text{B.1})$$

Utilizando los valores medios de  $E$  y donde:

$$A_i = b_i h_i \quad (\text{B.2})$$

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12} \quad (\text{B.3})$$

$$\gamma_2 = 1 \quad (\text{B.4})$$

$$\gamma_i = \left[ 1 + \pi^2 E_i A_i s_i / (K_i l^2) \right]^{-1} \quad \text{para } i = 1 \text{ y } i = 3 \quad (\text{B.5})$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i} \quad (\text{B.6})$$

Donde los símbolos se definen en la figura B.1;

$K_i = K_{\text{ser},i}$  para el cálculo de los estados límite de servicio;

$K_i = K_{\text{u},i}$  para el cálculo de los estados límite últimos.

Para secciones en T,  $h_3 = 0$

## B.3 Tensiones normales

(1) La tensión normal debería calcularse según la siguiente expresión:

$$\sigma_i = \frac{\gamma_i E_i a_i M}{(EI)_{\text{ef}}} \quad (\text{B.7})$$

$$\sigma_{\text{m},i} = \frac{0,5 E_i h_i M}{(EI)_{\text{ef}}} \quad (\text{B.8})$$

#### B.4 Tensión máxima de cortante

(1) La tensión máxima de cortante se produce donde la tensión normal es nula. La tensión máxima de cortante en la pieza del alma (parte 2 en la figura B.1) debería calcularse según la siguiente expresión:

$$\tau_{2,\text{máx.}} = \frac{\gamma_3 E_3 A_3 a_3 + 0,5 E_2 b_2 h_2^2}{b_2 (E I)_{\text{ef}}} V \quad (\text{B.9})$$

#### B.5 Carga en el conector

(1) La carga en un conector debería calcularse según la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{\gamma_i E_i A_i a_i s_i}{(E I)_{\text{ef}}} V \quad (\text{B.10})$$

donde

$i = 1$  y  $3$ , respectivamente;

$s_i = s_i(x)$  es la separación entre los elementos de fijación, tal y como se definió en el párrafo (1) del apartado B.1.3.

## ANEXO C (Informativo)

### COLUMNAS COMPUESTAS

#### C.1 Generalidades

##### C.1.1 Hipótesis

(1) Se aplican las hipótesis siguientes:

- las columnas se encuentran simplemente apoyadas con una longitud  $\ell$ ;
- las partes individuales tienen la longitud completa;
- la carga es una fuerza axial  $F_c$  que actúa en el centro geométrico de gravedad (véase sin embargo el apartado C.2.3).

##### C.1.2 Capacidad de carga

(1) Para la deformación de la columna en la dirección del eje y (véanse las figuras C.1 y C.3) la capacidad de carga debería tomarse igual a la suma de las capacidades de carga de las piezas individuales.

(2) Para la deformación de la columna en la dirección del eje z (véanse las figuras C.1 y C.3) debería comprobarse lo siguiente:

$$\sigma_{c,0,d} \leq k_c f_{c,0,d} \quad (C.1)$$

donde

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,d}}{A_{tot}} \quad (C.2)$$

donde

$A_{tot}$  es el área total de la sección;

$k_c$  se determina de acuerdo con el apartado 6.3.2 pero con una esbeltez eficaz  $\lambda_{ef}$  determinada de acuerdo con los capítulos C.2 - C.4.

#### C.2 Columnas compuestas con uniones mecánicas

##### C.2.1 Esbeltez eficaz

(1) La esbeltez eficaz debería tomarse igual a:

$$\lambda_{ef} = \ell \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{ef}}} \quad (C.3)$$

con

$$I_{ef} = \frac{(EI)_{ef}}{E_{mean}} \quad (C.4)$$

donde  $(EI)_{ef}$  se determina de acuerdo con el anexo B (informativo).

### C.2.2 Fuerza en los elementos de fijación

(1) La fuerza en el elemento de fijación debería determinarse de acuerdo con el anexo B (informativo), donde

$$V_d = \begin{cases} \frac{F_{c,d}}{120 k_c} & \text{para } \lambda_{ef} < 30 \\ \frac{F_{c,d} \lambda_{ef}}{3\,600 k_c} & \text{para } 30 \leq \lambda_{ef} < 60 \\ \frac{F_{c,d}}{60 k_c} & \text{para } 60 \leq \lambda_{ef} \end{cases} \quad (C.5)$$

### C.2.3 Cargas combinadas

(1) En el caso de existir pequeños momentos (como por ejemplo, el debido al peso propio) además del axil, se aplica el párrafo (3) del apartado 6.3.2.

## C.3 Columnas compuestas con tacos separadores o con presillas

### C.3.1 Hipótesis

(1) Se consideran los tipos de columnas representados en la figura C.1, es decir, columnas formadas por cordones separados por tacos o presillas. Las uniones pueden ser clavadas, encoladas o con pernos con conectores adecuados.

(2) Se aplican las siguientes hipótesis:

- la sección transversal está compuesta por dos, tres o cuatro cordones iguales;
- las secciones transversales son simétricas respecto a ambos ejes;
- se formarán al menos tres vanos entre conexiones, es decir, los cordones se encontrarán conectados como mínimo en los extremos y en los tercios de su longitud;
- la distancia libre  $a$  entre cordones no es mayor que tres veces el espesor  $h$  del cordón para columnas con tacos, y no mayor que 6 veces el espesor del cordón para columnas con presillas;
- las uniones, tacos y presillas se calculan de acuerdo con el apartado C.2.2;
- la longitud del taco  $\ell_2$  satisface la condición:  $\ell_2/a \geq 1,5$ ;
- al menos existen cuatro clavos o dos pernos con conectores en cada plano de cortante. En uniones clavadas existen al menos cuatro clavos en una fila en cada extremo en la dirección longitudinal de la columna;
- las presillas cumplen la condición:  $\ell_2/a \geq 2$ ;
- las columnas están sometidas a cargas axiales.

(3) En columnas con dos cordones,  $A_{\text{tot}}$  y  $I_{\text{tot}}$  deberían calcularse según las siguientes expresiones:

$$A_{\text{tot}} = 2A \quad (\text{C.6})$$

$$I_{\text{tot}} = \frac{b \left[ (2h + a)^3 - a^3 \right]}{12} \quad (\text{C.7})$$

(4) En columnas con tres cordones,  $A_{\text{tot}}$  y  $I_{\text{tot}}$  deberían calcularse según las siguientes expresiones:

$$A_{\text{tot}} = 3A \quad (\text{C.8})$$

$$I_{\text{tot}} = \frac{b \left[ (3h + 2a)^3 - (h + 2a)^3 + h^3 \right]}{12} \quad (\text{C.9})$$

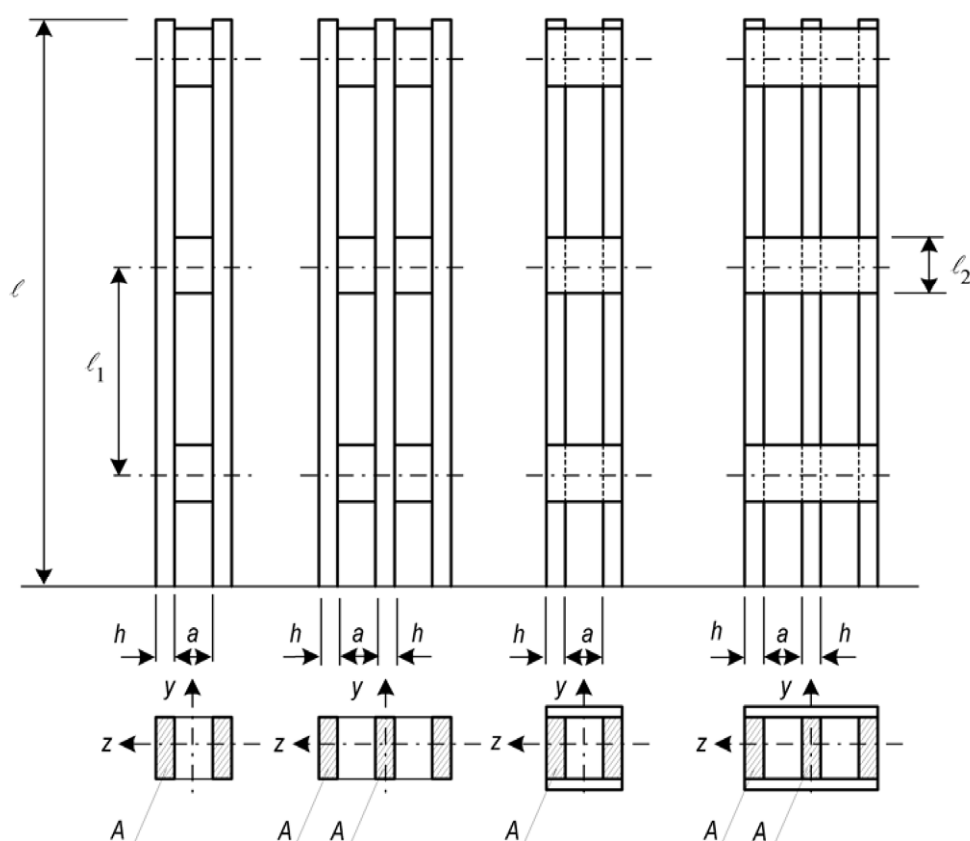


Fig. C.1 – Columnas compuestas

### C.3.2 Capacidad de carga axial

(1) Para la deformación de la columna en la dirección del eje y (véase la figura C.3) la capacidad de carga debería tomarse como la suma de las capacidades de carga de las piezas individuales.

(2) Para la deformación de la columna en la dirección del eje z, se aplica el apartado C.1.2 con

$$\lambda_{\text{ef}} = \sqrt{\lambda^2 + \eta \frac{n}{2} \lambda_1^2} \quad (\text{C.10})$$

donde

$\lambda$  es la esbeltez de una columna maciza con la misma longitud, el mismo área ( $A_{\text{tot}}$ ) y el mismo momento de inercia ( $I_{\text{tot}}$ ), es decir,

$$\lambda = \ell \sqrt{A_{\text{tot}} / I_{\text{tot}}} \quad (\text{C.11})$$

$\lambda_1$  es la esbeltez de los cordones y debe introducirse en la expresión (C.10) con un valor mínimo igual a 30, es decir,

$$\lambda_1 = \sqrt{12} \frac{\ell_1}{h} \quad (\text{C.12})$$

$n$  es el número de cordones;

$\eta$  es un factor definido en la tabla C.1.

**Tabla C.1**  
**Factor  $\eta$**

	Tacos separadores			Presillas	
	Encolados	Clavados	Con pernos <sup>a</sup>	Encoladas	Clavadas
Carga de duración permanente/larga	1	4	3,5	3	6
Carga de duración media/corta	1	3	2,5	2	4,5
<sup>a</sup> Con conectores.					

### C.3.3 Carga en los elementos de fijación, presillas o tacos

(1) La carga que actúa en los elementos de fijación y en las presillas o en los tacos separadores se representa en la figura C.2, con  $V_d$  de acuerdo con el apartado C.2.2.

(2) El esfuerzo cortante en las presillas o en los tacos separadores, véase la figura C.2, debería calcularse según la siguiente expresión:

$$T_d = \frac{V_d l_1}{a_1} \quad (\text{C.13})$$

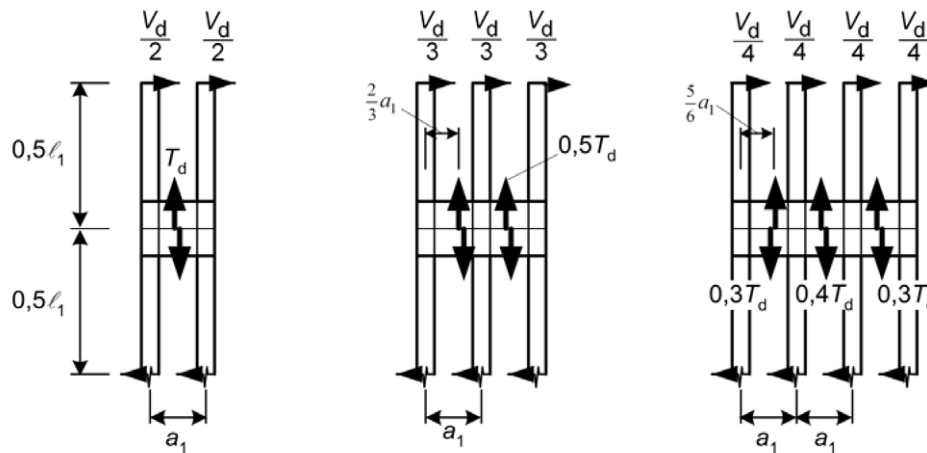


Fig. C.2 – Distribución de los esfuerzos cortantes y cargas en las presillas o en los tacos separadores

#### C.4 Columnas de celosía con uniones encoladas o clavadas

##### C.4.1 Hipótesis

- (1) En este apartado se consideran las columnas de celosía con configuraciones en N o en V y con uniones encoladas o clavadas, véase la figura C.3.
- (2) Se aplican las siguientes hipótesis:
  - la estructura es simétrica respecto a los ejes y y z de la sección transversal. Las celosías en las dos caras pueden estar desfasadas en una longitud igual a  $\ell_1/2$ , donde  $\ell_1$  es la distancia entre los nudos;
  - existen al menos tres vanos;
  - en las estructuras clavadas existen al menos cuatro clavos por plano de cortante en cada diagonal en cada nudo;
  - cada extremo está arriostrado;
  - la esbeltez del cordón individual correspondiente a la longitud entre nudos  $\ell_1$  no es mayor que 60;
  - no hay pandeo local en los cordones correspondientes a la longitud de la columna  $\ell_1$ ;
  - el número de clavos en las verticales (de una celosía en N) es mayor que  $n \sin \theta$ , donde  $n$  es el número de clavos en las diagonales y  $\theta$  es la inclinación de las diagonales.

##### C.4.2 Capacidad de carga

- (1) Para la deformación de la columna en la dirección del eje y (véase la figura C.2), la capacidad de carga debería tomarse igual a la suma de las capacidades de carga de los cordones individuales.

(2) Para la deformación de la columna en la dirección del eje z, se aplica el apartado C.1.2 con

$$\lambda_{\text{ef}} = \max. \begin{cases} \lambda_{\text{tot}} \sqrt{1 + \mu} \\ 1,05 \lambda_{\text{tot}} \end{cases} \quad (\text{C.14})$$

donde

$\lambda_{\text{tot}}$  es la esbeltez de una columna maciza con la misma longitud, el mismo área y el mismo momento de inercia, es decir

$$\lambda_{\text{tot}} \approx \frac{2\ell}{h} \quad (\text{C.15})$$

$\mu$  toma los valores dados en los párrafos (3) a (6) indicados más adelante.

(3) Para una celosía en V encolada:

$$\mu = 4 \frac{e^2 A_f}{I_f} \left( \frac{h}{\ell} \right)^2 \quad (\text{C.16})$$

donde (véase la figura C.3)

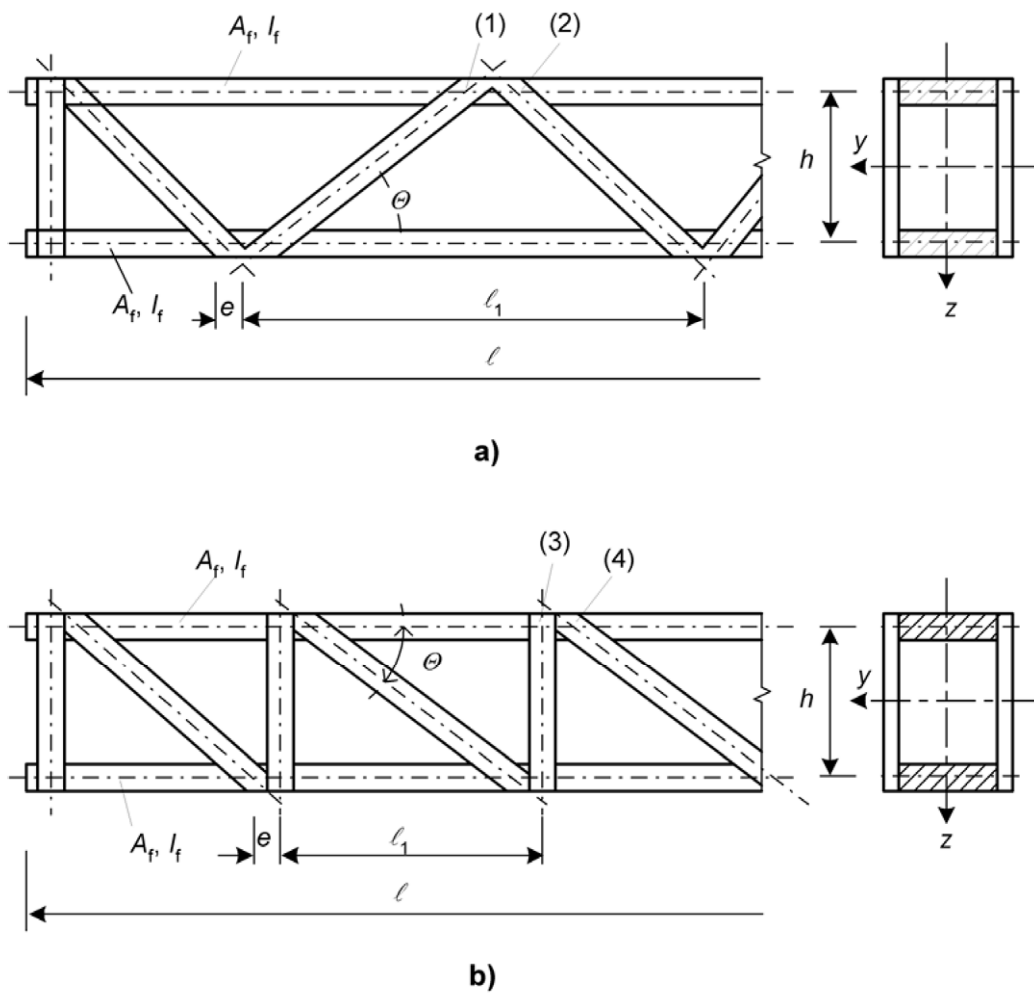
$e$  es la excentricidad de las uniones;

$A_f$  es el área de la sección transversal del ala;

$I_f$  es el momento de inercia de la sección transversal del ala;

$\ell$  es la luz;

$h$  es la distancia entre ejes de las alas.

**Leyenda**

- (1) Número de clavos:  $n$   
 (2) Número de clavos:  $n$   
 (3) Número de clavos:  $\geq n \text{ sen } \theta$   
 (4) Número de clavos:  $n$

**Fig. C.3 – Columnas de celosía: (a) Celosía en V, (b) Celosía en N**

(4) Para una celosía en N encolada:

$$\mu = \frac{e^2 A_f}{I_f} \left( \frac{h}{l} \right)^2 \quad (\text{C.17})$$

(5) Para una celosía en N clavada:

$$\mu = 25 \frac{h E_{\text{mean}} A_f}{\ell^2 n K_u \sin 2\theta} \quad (\text{C.18})$$

donde

$n$  es el número de clavos en una diagonal. Si la diagonal está formada por dos o más piezas,  $n$  es la suma de los clavos (no el número de clavos por plano de cortadura);

$E_{\text{mean}}$  es el valor medio del módulo de elasticidad;

$K_u$  es el módulo de deslizamiento de un clavo en el estado límite último.

(6) Para una celosía en N clavada:

$$\mu = 50 \frac{h E_{\text{mean}} A_f}{\ell^2 n K_u \sin 2\theta} \quad (\text{C.19})$$

donde

$n$  es el número de clavos en una diagonal. Si la diagonal está formada por dos o más piezas,  $n$  es la suma de los clavos (no el número de clavos por plano de cortadura);

$K_u$  es el módulo de deslizamiento de un clavo en el estado límite último.

#### C.4.3 Esfuerzos cortantes

(1) Se aplica el apartado C.2.2.

**ANEXO D** (Informativo)

**BIBLIOGRAFÍA**

EN 338 – *Madera estructural. Clases resistentes.*

EN 1194 – *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos.*



---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32