

# EUROCÓDIGOS

NORMA EUROPEA  
EXPERIMENTAL

UNE-ENV 1995-1-2  
Febrero 1999



## EUROCÓDIGO 5

### PROYECTO DE ESTRUCTURAS DE MADERA

**PARTE 1-2: REGLAS GENERALES**  
PROYECTO DE ESTRUCTURAS  
SOMETIDAS AL FUEGO

**AENOR**

Asociación Española de  
Normalización y Certificación

**5**

Parte 1-2



## **PREÁMBULO**

La presente publicación de la Norma UNE-ENV 1995-1-2:1999 es la versión española de la norma europea experimental de iguales siglas. Lleva por título: Eurocódigo 5: Proyecto de Estructuras de Madera. Parte 1-2: Reglas suplementarias para el cálculo de estructuras sometidas al fuego.

Los Eurocódigos estructurales constituyen un conjunto de normas técnicas armonizadas de aplicación en las estructuras de edificación y de ingeniería civil. Son fruto del esfuerzo conjunto para la convergencia en materia normativa que favorezca el libre intercambio de productos y servicios entre los países de la CE. Inicialmente se aprueban con carácter experimental.

En España la regulación técnica en materia de edificación se desarrolla a través de las Normas Básicas de la Edificación, NBE, que pretenden garantizar la necesaria fiabilidad de las estructuras, atendiendo al mismo tiempo a criterios de economía, y son de obligado cumplimiento.

Por un lado, la futura Norma Básica NBE-EM "Estructuras de Madera", en fase de terminación, establecerá las condiciones y requisitos que deben tenerse en cuenta para el cálculo de estructuras con madera. Estas exigencias afectarán a los materiales y los elementos estructurales y cubrirán aspectos relacionados con el cálculo, la ejecución, el control y el mantenimiento de estas estructuras.

Por otro lado, la Norma Básica NBE-CPI/96 "Condiciones de protección contra incendios en los edificios" establece las prescripciones que deben aplicarse a los proyectos y obras de nueva construcción o de reforma de edificios para su protección frente a los riesgos originados por un incendio y, entre ellos los derivados de la acción térmica del incendio sobre las estructuras portantes.

Esta norma admite dos opciones para determinar la estabilidad al fuego de la estructura portante de un edificio: considerar una acción térmica convencional definida por una relación tiempo/temperatura normalizada, o bien considerar la acción térmica previsible en función de las características particulares del edificio en cuestión. El presente documento considera ambas opciones y facilita el desarrollo de ambas.

En todo caso la presente publicación servirá para familiarizar a los técnicos españoles con los nuevos criterios consensuados de cálculo de estructuras de madera contra el riesgo de incendio. La fase experimental de la presente norma constituye una invitación a los técnicos usuarios de sus especificaciones para analizar su contenido y valorar la facilidad de aplicación del documento. Los comentarios y observaciones al respecto pueden remitirse a AENOR.

La traducción de esta norma ha sido realizada por AITIM, bajo la supervisión del Subcomité 5 del Comité Técnico de Normalización 140 de AENOR "Eurocódigos Estructurales".

Septiembre de 1998

**Gerardo Mingo Pinacho**

Subdirector General de Arquitectura  
Dirección General de la Vivienda,  
la Arquitectura y el Urbanismo

MINISTERIO DE FOMENTO



# norma española experimental

UNE-ENV 1995-1-2

Febrero 1999

## TÍTULO

**EUROCÓDIGO 5: Proyecto de estructuras de madera**

**Parte 1-2: Reglas generales**

**Proyecto de estructuras sometidas al fuego**

*Eurocode 5: Design of timber structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design.*

*Eurocode 5: Calcul des structures en bois. Partie 1-2: Règles générales. Calcul du comportement au feu.*

## CORRESPONDENCIA

Esta norma experimental es la versión oficial, en español, de la Norma Europea Experimental ENV 1995-1-2 de noviembre 1994.

## OBSERVACIONES

En esta norma UNE se han incorporado las modificaciones a la Norma ENV 1995-1-2 recibidas mediante escrito de CEN de fecha 24 de octubre 1996.

## ANTECEDENTES

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

Editada e impresa por AENOR  
Depósito legal: M 2893:1999

© AENOR 1999  
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

51 Páginas

**Grupo 600**



ICS 13.220.50; 91.040.00; 91.080.20

**Descriptores:** Edificio, construcción de madera, regla de construcción, cálculo, ensayo de comportamiento al fuego.

Versión en español

**EUROCÓDIGO 5: Proyecto de estructuras de madera**  
**Parte 1-2: Reglas generales**  
**Proyecto de estructuras sometidas al fuego**

**Eurocode 5: Design of timber structures.**  
**Part 1-2: General rules. Structural fire**  
**design.**

**Eurocode 5: Calcul des structures en**  
**bois. Partie 1-2: Règles générales. Calcul**  
**du comportement au feu.**

**Eurocode 5: Bemessung und**  
**Konstruktion von Holzbauten. Teil 1-2:**  
**Allgemeine Regeln. Tragwerksbemessung**  
**für den Brandfall.**

Esta norma europea experimental (ENV) ha sido aprobada por CEN el 1993-06-22 como una norma experimental para su aplicación provisional. El período de validez de esta norma ENV está limitado inicialmente a tres años. Pasados dos años, los miembros de CEN enviarán sus comentarios, en particular sobre la posible conversión de la norma ENV en norma europea (EN).

Los miembros de CEN deberán anunciar la existencia de esta norma ENV utilizando el mismo procedimiento que para una norma EN y hacer que esta norma ENV esté disponible rápidamente y en la forma apropiada a nivel nacional. Se permite mantener (en paralelo con la norma ENV) las normas nacionales que estén en contradicción con la norma ENV hasta que se adopte la decisión final sobre la posible conversión de la norma ENV en norma EN.

Los miembros de CEN son los organismos nacionales de normalización de los países siguientes: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Italia, Luxemburgo, Noruega, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, Suecia y Suiza.

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

© 1994 Derechos de reproducción reservados a los Miembros de CEN.





## ÍNDICE

	Página
ANTECEDENTES .....	9
1 GENERALIDADES.....	12
1.1 Objeto y campo de aplicación .....	12
1.2 Normas para consulta .....	12
1.3 Definiciones.....	13
1.4 Símbolos.....	15
1.5 Unidades .....	17
2 PRINCIPIOS BÁSICOS.....	18
2.1 Requisitos de comportamiento.....	18
2.2 Acciones .....	18
2.3 Valores de cálculo de las propiedades de los materiales .....	18
2.4 Procedimiento básico de cálculo .....	19
2.5 Métodos de evaluación .....	20
2.5.1 Generalidades.....	20
2.5.2 Análisis global de la estructura .....	20
2.5.3 Análisis de partes de la estructura.....	20
2.5.4 Análisis de elementos estructurales .....	21
3 MATERIALES .....	22
3.1 Profundidades de carbonización.....	22
3.2 Revestimientos de protección contra el fuego .....	24
3.3 Adhesivos .....	24
4 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA EN SITUACIÓN DE INCENDIO.....	25
4.1 Método de la sección eficaz.....	25
4.2 Método de la resistencia y rigidez reducidas.....	25
4.3 Métodos de cálculo generales .....	25
4.4 Reglas especiales .....	26
4.4.1 Generalidades.....	26
4.4.2 Vigas .....	26
4.4.3 Soportes.....	26
4.4.4 Componentes unidos mecánicamente .....	26
4.4.5 Arriostramientos.....	27
4.4.6 Forjados y muros.....	27
4.5 Uniones.....	28
4.5.1 Generalidades.....	28
4.5.2 Uniones no protegidas con elementos laterales de madera.....	28
4.5.3 Uniones no protegidas con placas de acero externas.....	31
4.5.4 Uniones protegidas .....	31

<b>ANEXO A (Normativo)</b>	<b>MÉTODO DE LA RESISTENCIA Y RIGIDEZ REDUCIDAS PARA EXPOSICIÓN AL FUEGO NORMALIZADO .....</b>	<b>32</b>
<b>ANEXO B (Normativo)</b>	<b>REGLAS SUPLEMENTARIAS PARA LAS UNIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>B.1</b>	<b>Uniones con clavos no protegidos .....</b>	<b>34</b>
<b>B.2</b>	<b>Uniones con pernos no protegidos .....</b>	<b>34</b>
<b>B.3</b>	<b>Uniones con pasadores no protegidos .....</b>	<b>35</b>
<b>B.4</b>	<b>Conectores .....</b>	<b>35</b>
<b>B.5</b>	<b>Uniones con placas de acero .....</b>	<b>36</b>
<b>ANEXO C (Normativo)</b>	<b>MUROS Y FORJADOS.....</b>	<b>38</b>
<b>C.1</b>	<b>Campo de aplicación .....</b>	<b>38</b>
<b>C.2</b>	<b>Procedimiento de cálculo .....</b>	<b>38</b>
<b>C.2.1</b>	<b>Generalidades.....</b>	<b>38</b>
<b>C.2.2</b>	<b>Construcciones portantes.....</b>	<b>38</b>
<b>C.2.3</b>	<b>Elementos de separación.....</b>	<b>38</b>
<b>C.3</b>	<b>Tiempos de fallo .....</b>	<b>40</b>
<b>C.3.1</b>	<b>Madera y tableros derivados de la madera .....</b>	<b>40</b>
<b>C.3.2</b>	<b>Tableros y capas aislantes no combustibles.....</b>	<b>42</b>
<b>C.4</b>	<b>Dimensiones mínimas y detalles.....</b>	<b>43</b>
<b>C.4.1</b>	<b>Dimensiones mínimas.....</b>	<b>43</b>
<b>C.4.2</b>	<b>Detalles de las conexiones entre tableros .....</b>	<b>43</b>
<b>C.4.3</b>	<b>Conexiones con los forjados y muros contiguos.....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXO D (Informativo)</b>	<b>EXPOSICIÓN PARAMÉTRICA AL FUEGO.....</b>	<b>46</b>
<b>D.1</b>	<b>Generalidades.....</b>	<b>46</b>
<b>D.2</b>	<b>Velocidades y profundidades de carbonización.....</b>	<b>46</b>
<b>D.3</b>	<b>Capacidad de carga de elementos sometidos a flexión de canto .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO E (Informativo)</b>	<b>PROPIEDADES TÉRMICAS.....</b>	<b>48</b>

## **ANTECEDENTES**

### **Objetivos de los Eurocódigos**

- (1) Los “Eurocódigos Estructurales” constituyen un grupo de normas para el proyecto de estructuras y geotécnia de edificios y obra civil.
- (2) Abarcan la ejecución y el control únicamente hasta donde sea necesario para especificar la calidad de los productos de la construcción, y la especialización de la mano de obra necesaria para alcanzar las hipótesis de las directrices del proyecto.
- (3) Hasta que el conjunto necesario de especificaciones técnicas armonizadas para los productos y métodos de ensayo estén disponibles, alguno de los Eurocódigos Estructurales incluyen alguno de esos aspectos en anexos informativos.

### **Antecedentes del Programa de los Eurocódigos**

- (4) La Comisión de la Comunidad Europea (CCE) inició el trabajo del establecimiento de un conjunto de reglas técnicas armonizadas para el cálculo de las obras de edificación y de ingeniería civil que servirían inicialmente como una alternativa a las diferentes reglas en vigor en los diversos Estados Miembros para finalmente sustituirlos. Estas reglas técnicas se denominan "Eurocódigos Estructurales".
- (5) En 1990, después de consultar a los Estados Miembros, la CCE transfirió el trabajo de desarrollo posterior, edición y revisión de los Eurocódigos Estructurales a CEN, y la Secretaría de la EFTA acordó apoyar el trabajo de CEN.
- (6) El Comité Técnico CEN/TC 250 es responsable de todos los Eurocódigos Estructurales.

### **Programa de los Eurocódigos**

- (7) El trabajo se desglosa en los siguientes Eurocódigos, conteniendo cada uno varias partes:

EN 1991 Eurocódigo 1: Bases de proyecto y 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 de acero y hormigón.

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 aleaciones de aluminio.

- (8) Para cada Eurocódigo citado, el CEN/TC 250 ha creado un subcomité.
- (9) Esta parte 1-2 del Eurocódigo 5 se publica como una Norma Experimental Europea (ENV) con una vida inicial de tres años.
- (10) Esta norma tiene como finalidad su aplicación experimental y recoger comentarios.

- (11) Aproximadamente después de dos años los miembros del CEN podrán enviar los comentarios para tenerlos en cuenta en futuras decisiones.
- (12) Mientras tanto las sugerencias y comentarios a esta norma experimental deben enviarse a la Secretaría del CEN/TC 250/SC 5 a la siguiente dirección:

Secretariat of CEN TC 250/SC 5  
BST  
Box 5603  
S-114 86 STOCKHOLM

o a la organización de normalización nacional.

### **Documentos Nacionales de Aplicación (DNA)**

- (13) Teniendo en cuenta las responsabilidades de los Estados Miembros en los aspectos de seguridad, salud y otros temas cubiertos por los requisitos esenciales de la Directiva de los Productos de la Construcción (DPC), ciertos elementos de seguridad contenidos en esta ENV tienen asignados valores indicativos los cuales se identifican mediante valores recuadrados o encerrados con [ ]. Las autoridades de cada Estado Miembro deberán revisar los valores recuadrados y pueden sustituirlos por valores alternativos definitivos para los elementos de seguridad en su aplicación nacional.
- (14) alguna de las normas de apoyo europeas o internacionales pueden no estar disponibles en el momento de la publicación de esta norma. Es por tanto previsible que cada país miembro u Organización de Normalización publique un Documento Nacional de Aplicación (DNA) dando valores definitivos que sustituyan a los indicados y sirvan de guía para la aplicación nacional de esta norma.
- (15) Se pretende que esta norma sea utilizada juntamente con el Documento Nacional de Aplicación válido en el país en el que se localiza la edificación u obra civil.

### **Temas específicos de esta norma**

#### **Requisitos de seguridad**

- (16) Los objetivos principales de la protección contra el fuego son limitar los riesgos de los individuos y de la sociedad, propiedades vecinas, y cuando se requiera, el propio edificio, en caso de incendio.
- (17) Los Eurocódigos Estructurales tratan los aspectos específicos de la protección pasiva contra el fuego en términos del proyecto de la estructura y partes de ella para conseguir la adecuada capacidad portante y para limitar la propagación del fuego cuando sea necesario.
- (18) Las funciones requeridas y niveles de comportamiento generalmente son especificadas por las autoridades nacionales - principalmente en términos de tiempos de resistencia normalizados. Cuando se acepta la ingeniería de la seguridad contra el fuego para evaluar las medidas pasivas y activas, los requisitos de las autoridades serán menos restrictivos y pueden permitirse estrategias alternativas.
- (19) Esta ENV 1995-1-2, junto con la ENV 1991-2-2 completan la ENV 1995-1-1, para que el proyecto de las estructuras diseñadas de acuerdo con este conjunto de Eurocódigos Estructurales puedan también cumplir con los requisitos de resistencia al fuego.

#### **Procedimientos de cálculo**

- (20) Un procedimiento analítico general para el cálculo en situación de incendio tendría en cuenta el comportamiento del sistema estructural a elevadas temperaturas, la exposición potencial al calor y los efectos favorables de los sistemas de protección contra el fuego, junto con las incertidumbres asociadas con estas consideraciones y las consecuencias del fallo.

- (21) En la actualidad es posible seguir un procedimiento para determinar adecuadamente el comportamiento que incorpore algunos, si no todos, los parámetros citados, y demostrar que la estructura, o sus componentes, se comportarán adecuadamente en un incendio real.
- (22) No obstante, el procedimiento habitual en los países europeos está basado en los resultados de ensayos normalizados de resistencia al fuego. Los sistemas de clasificación en las reglamentaciones, que hablan de tiempos de resistencia al fuego, tienen en cuenta (aunque no explícitamente) los aspectos e incertidumbres descritos anteriormente.
- (23) Debido a las limitaciones del método de ensayo, pueden efectuarse ensayos y análisis complementarios. Sin embargo, los resultados de los ensayos normalizados del fuego constituyen el núcleo de datos necesarios para los métodos de cálculo de las estructuras en situación de incendio. Esta norma tiene, por tanto, como objetivo principal el cálculo de la resistencia al fuego normalizado.
- (24) En esta norma ENV 1995-1-2 los deseos del proyectista se alcanzan mediante métodos de cálculo de diversa complejidad. Entre las reglas de aplicación el proyectista encontrará en primer lugar un método simplificado, que conduce a un resultado del lado de la seguridad, pero quizás con una estructura menos económica. En segundo lugar el proyectista encontrará métodos de cálculo más complejos, que implican una mayor dedicación al trabajo de cálculo pero que pueden conducir a soluciones constructivas más económicas. En tercer lugar se incluyen los métodos de cálculo generales, que requieren más información de la que se aporta en este Eurocódigo. Generalmente, como alternativa a los métodos de cálculo, es posible el proyecto basado en ensayos.
- (25) La primera categoría de los métodos simplificados es aplicable en exposición al fuego normalizado y se representa por:
- Acciones y sistema estructural de acuerdo con 2.5.4.
  - Profundidades de carbonización de acuerdo con 3.1.
  - Capacidad portante de los elementos de acuerdo con 4.1.
  - Capacidad portante de las uniones de acuerdo con 4.5.
- (26) La segunda categoría constituida por los métodos de cálculo más complejos se representa por
- Acciones y sistema estructural de acuerdo con 2.5.3 o 2.5.4.
  - Profundidad de carbonización y capacidad portante de los elementos para exposición a fuego normalizado de acuerdo con el Anexo A.
  - Velocidad de carbonización y capacidad portante de los elementos para la exposición al fuego paramétrico de acuerdo con el Anexo D.
  - Reglas de aplicación adicionales relativas a la capacidad portante de las uniones de acuerdo con el Anexo B.
- (27) La tercera categoría correspondiente a los métodos generales se representa por:
- Acciones de acuerdo con ENV 1991-2-2.
  - Sistema estructural de acuerdo con 2.5.2.
  - Velocidades de carbonización y capacidad portante de los elementos de acuerdo con el apartado 4.3. En el Anexo E se añade información a este particular.
- (28) No se incluyen soluciones constructivas tabuladas para el proyectista. Se prevé que estas ayudas al diseño se incluirán en manuales técnicos, etc.

## 1 GENERALIDADES

### 1.1 Objeto y campo de aplicación

- (1)P Esta parte 1-2 de la ENV 1995 trata del cálculo de estructuras de madera en la situación accidental de exposición al fuego y debe ser utilizado junto con la ENV 1995-1-1 y la ENV 1991-2-2. Esta parte sólo aborda las diferencias o suplementos al cálculo en situación normal de temperatura.
- (2)P La parte 1-2 de la ENV 1995 únicamente trata los métodos pasivos de protección contra el fuego. No incluye los métodos activos de protección.
- (3)P La parte 1-2 de la ENV 1995 se aplica a las estructuras de edificación en las que por razones de seguridad generales frente al incendio, requieren el cumplimiento de ciertas funciones en la exposición al fuego, en términos de:
- evitar un colapso prematuro de la estructura (fallo de la capacidad portante);
  - limitar la propagación del fuego (llamas, gases calientes, calor excesivo) fuera de las áreas especificadas (función de sectorización).
- (4)P La parte 1-2 de la ENV 1995 da las reglas detalladas para el proyecto de la estructura para el cumplimiento de los requisitos relacionados con las funciones y niveles de comportamiento antes mencionados.
- (5)P La parte 1-2 de la ENV 1995 se aplica a aquellas estructuras o partes de la estructura que se encuentran dentro del campo de aplicación de la ENV 1995-1-1 y están calculadas adecuadamente.

### 1.2 Normas para consulta

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. Las revisiones o modificaciones posteriores de cualquiera de las publicaciones referenciadas con fecha, sólo se aplican a esta norma europea cuando se incorporan mediante revisión o modificación. Para las referencias sin fecha se aplica la última edición de esa publicación.

Normas Europeas:

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

EN 309 – *Tableros de partículas. Definición y clasificación.*

EN 316 – *Tableros de fibras. Definición, clasificación y símbolos.*

EN 313-1 – *Tableros contrachapados. Clasificación y terminología. Parte 1: Clasificación.*

EN 338 – *Madera estructural. Clases resistentes.*

ENV 1991-2-2 – *Eurocódigo 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-2: Acciones en estructuras. Acciones en estructuras expuestas al fuego.*

ENV 1993-1-2 – *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-2: Reglas generales. Reglas suplementarias para el proyecto en situación de incendio.*

ENV 1995-1-1: 1993 – *Eurocódigo 5: Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación.*

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

Proyectos de Normas Europeas:

prEN 520 – *Placas de cartón-yeso. Especificaciones. Métodos de ensayo.*

prEN 912 – *Medios de unión en madera. Especificaciones de los conectores para madera.*

prEN 1194 – *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos.*

NOTA – En el CEN/TC 127 está en preparación la siguiente norma:

Proyecto ENV YYY5: Parte 5 – *Ensayos de fuego en elementos de construcción de edificios. Método de ensayo para la determinación de la resistencia al fuego de los elementos estructurales de madera: Mediante la protección de los elementos estructurales de madera.*

### 1.3 Definiciones

Con relación a esta norma se aplican las siguientes definiciones:

**línea de carbonización:** Frontera entre la capa carbonizada y la sección residual.

**densidad de carga de cálculo en situación de incendio:** La densidad de carga en situación de incendio considerada para determinar la acción térmica en un incendio; el valor de  $q_d$  tiene en cuenta tolerancias para incertidumbres y requisitos de seguridad.

**sección eficaz:** Sección transversal del elemento empleado en el cálculo en situación de incendio con el método de la sección eficaz. Se obtiene a partir de la sección residual eliminando las partes de la sección en las que se consideran nulas la resistencia y la rigidez.

**efecto de las acciones E:** Fuerzas externas o internas y momentos, tensiones, deformaciones, desplazamientos de la estructura (parecido al efecto de las acciones S que comprende únicamente fuerzas internas y momentos).

**sector de incendio:** Espacio de un edificio, que se extiende sobre una o varias plantas, delimitado por elementos separadores que impiden la propagación del fuego hacia fuera del compartimento durante una exposición al fuego determinada.

**densidad de carga de fuego:** Carga de fuego por unidad de superficie, relativa a la superficie de piso:  $q_f$ , relativa a la superficie total de cerramiento del sector, incluso huecos:  $q_{f,}$ .

**material de protección contra el fuego:** Material que tiene propiedades demostradas mediante ensayos de resistencia al fuego, de ser capaz de permanecer en su posición y proveer un aislamiento térmico adecuado para el periodo de resistencia al fuego considerado.

**resistencia al fuego:** Capacidad de la estructura, parte de la estructura o elemento para cumplir con sus funciones (portante y/o de separación) para una exposición al fuego especificada durante un periodo de tiempo especificado.

**análisis estructural global (en situación de incendio):** Análisis de la estructura completa, cuando bien la estructura entera, o solo partes de ella, están expuestas al fuego. Las acciones indirectas del fuego se consideran a través de la estructura.

**acciones indirectas del fuego:** Dilatación térmica o deformaciones térmicas que provoquen fuerzas y momentos flectores.

**criterio de integridad “E”:** Criterio con el que se evalúa la capacidad de un elemento constructivo de separación para prevenir el paso de las llamas y de los gases calientes.

**criterio de capacidad portante “R”:** Criterio con el que se evalúa la capacidad de una estructura o de un elemento para resistir las acciones especificadas durante el fuego prescrito.

**análisis de los elementos (en situación de incendio):** Análisis térmico y mecánico de un elemento estructural expuesto al fuego en el que se considera el elemento aislado, con los vínculos adecuados y condiciones de contorno. No se consideran las acciones indirectas del fuego, excepto las que resultan de los gradientes térmicos.

**cálculo a temperatura normal:** Estado límite último de cálculo para situaciones de temperatura ambiente de acuerdo con ENV 1995-1-1.

**exposición al fuego paramétrico:** Temperatura del gas en el ambiente que rodea las superficies de los elementos etc. en función del tiempo, determinada a partir de modelos de fuego y de los parámetros físicos especificados que describen las condiciones en el sector de incendio.

**elementos protegidos:** Elementos en los que se toman medidas para reducir el incremento de la temperatura en el mismo debida al fuego.

**sección residual:** Sección transversal inicial del elemento reducida en la profundidad de carbonización.

**función de separación:** Capacidad de un elemento de separación (¿o conjunto?) para prevenir la propagación del fuego por el paso de llamas o de gases calientes (integridad) o ignición en la cara no expuesta (aislamiento térmico) durante la exposición al fuego prescrita.

**elemento constructivo de compartimentación:** Elemento constructivo portante o no (por ejemplo muros y forjados) que forman la envoltura de un sector de incendio.

**curva normalizada de temperatura-tiempo:** Curva nominal de temperatura-tiempo definida en la Norma ENV 1991-2-2.

**resistencia al fuego normalizada:** Capacidad de una estructura o de parte de ella (normalmente sólo elementos) para cumplir las funciones requeridas (función de capacidad portante, y/o función de separación) frente a la exposición al calor de acuerdo con la curva normalizada de temperatura-tiempo, para un periodo de tiempo determinado.

**elementos estructurales:** Elementos portantes de una estructura, incluyendo los arriostramientos.

**análisis de subsistemas estructurales (en situación de incendio):** Análisis estructural de partes de la estructura expuesta al fuego, en la que la parte estudiada de la estructura se considera aislada, con los apoyos y condiciones de contorno adecuados. Se consideran las acciones indirectas del fuego dentro del subsistema, pero no la interacción dependiente del tiempo con otras partes de la estructura.

NOTA 1 – Cuando el efecto de las acciones indirectas del fuego dentro del subsistema sean despreciables, el análisis del subsistema es equivalente al análisis de los elementos.

NOTA 2 – Cuando el efecto de las acciones indirectas del fuego entre subsistemas sean despreciables, el análisis del subsistema es equivalente al análisis global de la estructura.

**apoyos y condiciones de contorno:** Efectos de las acciones y de las coacciones de los apoyos y de las condiciones de contorno cuando se analiza la estructura completa o sólo partes de ella.

**análisis de temperatura:** Procedimiento para la determinación de la evolución de la temperatura en los elementos a partir de las acciones térmicas (flujo neto de calor) y de las propiedades térmicas del material de los elementos y, en su caso, de los recubrimientos de protección.

**curvas de tiempo-temperatura:** Temperatura del gas en el ambiente que rodea la superficie del elemento en función del tiempo. Pueden ser:

- Nominales: Curvas convencionales, adoptadas para la clasificación o la verificación de la resistencia al fuego, por ejemplo, la curva normalizada de tiempo-temperatura.



- Paramétricas: Determinadas a partir de modelos de fuego y de los parámetros físicos específicos que definen las condiciones en el sector de incendio.

**acciones térmicas:** Acciones sobre la estructura originadas por el flujo neto de calor en los elementos.

**criterio de aislamiento térmico “T”:** Criterio por el que se evalúa la capacidad para prevenir la excesiva transmisión de calor de un elemento de separación.

#### 1.4 Símbolos

Símbolos principales:

$A$	Área
$E$	Módulo de elasticidad; Efecto de las acciones
$E$	Criterio de integridad XX para una exposición al fuego normalizado de XX minutos
$F$	Factor de huecos
$I\ XX$	Criterio de aislamiento térmico para una exposición al fuego normalizado de XX minutos
$R$	Resistencia
$R\ XX$	Criterio de capacidad portante para XX minutos en exposición al fuego normalizado
$V$	Volumen
$X$	Propiedad del material
$a$	Distancia
$b$	Ancho
$c$	Calor específico
$d$	Canto, altura
$f$	Resistencia
$k$	Coefficiente (siempre con subíndice)
$l$	Longitud
$n$	Número
$p$	Perímetro
$q$	Densidad de carga de fuego en relación a una superficie de piso
$r$	Radio
$t$	Tiempo en minutos; Espesor; Total
$\alpha$	Ángulo

$\beta$	Velocidad de carbonización
$\gamma$	Coeficientes parciales
$\eta$	Coeficiente (siempre con subíndice)
$\lambda$	Conductividad térmica
$\xi$	Coeficiente
$\rho$	Densidad
$\omega$	Contenido de humedad
$\Theta$	Temperatura

## Subíndices:

char	Carbonización
d	Cálculo
ef	Eficaz
f	Forjado
fi	Fuego; cálculo en situación de incendio
g	Holgura
ins	Aislamiento
k	Característica
m	Propiedad del material; Flexión
máx.	Máximo
mean	Valor medio
mín.	Mínimo
mod	Modificación
n	Cálculo a temperatura normal
p	Panel
pr	Protección
par	Paramétrico
r	Residual

req	Requerido
st	Acero
t	Total
w	Madera
$\rho$	Densidad
0	Valor básico; cero
05	Quinto percentil

### 1.5 Unidades

- (1) Con carácter suplementario a la Norma ENV 1995-1-1 se recomiendan las siguientes unidades:

Temperatura:	°C, K
Calor específico:	J/kg/K
Coefficiente de transmisión térmica:	W/m <sup>2</sup> /K
Coefficiente de conductividad térmica:	W/m/K

## 2 PRINCIPIOS BÁSICOS

### 2.1 Requisitos de comportamiento

- (1)P Cuando se requiera una resistencia mecánica en caso de incendio, las estructuras deberán diseñarse y construirse de manera que mantengan su función resistente durante la exposición al fuego correspondiente - Criterio de capacidad portante “R”.
- (2) El criterio de deformación de la estructura portante debería aplicarse únicamente cuando afecte a las especificaciones del producto utilizado como elemento de separación o porque se trate de un elemento de protección.
- (3)P Si se requiere una sectorización de incendio, los elementos deberán diseñarse y construirse de manera que mantengan su función de separación durante la exposición al fuego correspondiente, es decir,
- no se merma la integridad a causa de grietas, agujeros u otros huecos, que sean de tamaño suficientemente grandes como para permitir la penetración del fuego mediante los gases calientes o las llamas - Criterio de integridad “E”;
  - no existe fallo del aislamiento térmico de forma que en la cara no expuesta se superen los límites admisibles de temperatura - Criterio de aislamiento térmico “T”.
- (4) El valor medio de la temperatura en la cara no expuesta se limita a 140 K y el valor máximo de la temperatura en cualquier punto se limita a 180 K (Criterio de aislamiento térmico “T”).
- (5)P Los elementos constructivos deberán cumplir los criterios R, E e I de la forma siguiente:
- sólo separación: E e I;
  - sólo capacidad portante: R;
  - separación y capacidad portante: R, E e I.

### 2.2 Acciones

- (1)P Las acciones térmicas y mecánicas deberán tomarse de la Norma ENV 1991-2-2.
- (2) Cuando las reglas de aplicación dadas en esta parte sean sólo válidas para la exposición al fuego normalizado, se indicará en los apartados correspondientes.

### 2.3 Valores de cálculo de las propiedades de los materiales

- (1)P Para las comprobaciones de capacidad portante los valores de cálculo de resistencias y rigideces se determinarán a partir de las expresiones siguientes:

$$f_{fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (2.1)$$

$$E_{fi,d} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{k,05}}{\gamma_{M,fi}} \quad (2.2)$$

Para las comprobaciones de la deformación los valores de las rigideces deberán tomarse de la siguiente expresión:

$$E_{fi,d} = k_{mod,fi} \frac{E_{mean}}{\gamma_{M,fi}} \quad (2.3)$$

Para el análisis térmico los valores de cálculo deberán tomarse de las expresiones siguientes:

$$X_{fi,d} = \frac{X_k(\Theta_w)}{\gamma_{M,fi}} \quad (2.4)$$

si un incremento de la propiedad es favorable para la seguridad, o de la expresión:

$$X_{fi,d} = X_k(\Theta_w) \gamma_{M,fi} \quad (2.5)$$

si un incremento de la propiedad es desfavorable para la seguridad,

donde

$k_{fi} = [1,25]$  para madera maciza

$k_{fi} = [1,15]$  para madera laminada encolada y tableros derivados de la madera

$\gamma_{M,fi} = [1,0]$

donde

$f_k$  es la resistencia característica a la temperatura normal;

$E_{mean}$  es el valor medio del módulo de elasticidad a la temperatura normal;

$k_{mod,fi}$  es el factor de modificación en situación de incendio teniendo en cuenta el efecto de la temperatura y del contenido de humedad en los parámetros de resistencia y rigidez. Este factor  $k_{mod,fi}$  sustituye al factor  $k_{mod}$  utilizado en la Norma ENV 1995-1-1. Las expresiones para la determinación de este factor de modificación se dan en los apartados correspondientes;

$X_k(\Theta_w)$  es el valor característico de la propiedad térmica del material a la temperatura de la madera  $\Theta_w$ .

## 2.4 Procedimiento básico de cálculo

- (1)P En el caso de que en esta parte no se den reglas específicas para el cálculo en situación de incendio de los elementos estructurales, se deberán aplicar las reglas dadas en la Norma ENV 1995-1-1 para el cálculo en situación de temperatura normal, con la excepción de que las acciones, coeficientes parciales, propiedades del material y propiedades mecánicas de la sección transversal que describen el sistema estructural válidos para la situación de cálculo en temperatura normal, se sustituirán por los valores correspondientes a la situación de incendio.
- (2) Los parámetros que describen el sistema estructural en el cálculo en situación de incendio se refieren a los apoyos iniciales modificados y a las condiciones de borde para las piezas/conjuntos, según el caso, o a las longitudes de pandeo modificadas en el caso de fallo prematuro de los arriostramientos.

- (3) La influencia del fuego en las propiedades del material y las propiedades mecánicas de la sección transversal puede tenerse en cuenta de acuerdo con las tres alternativas siguientes:
- Utilizando el método simplificado de la sección eficaz, en el que la capacidad de carga se calcula para una sección eficaz suponiendo que las propiedades de resistencia y rigidez no quedan afectadas por el fuego. Para ello, la pérdida de resistencia y de rigidez se compensa utilizando una profundidad de carbonización superior a la real, véase 4.1.
  - Utilizando el método de la resistencia y rigidez reducidas, en el que la capacidad de carga se calcula para la sección transversal residual, teniendo en cuenta la disminución de las propiedades resistentes y de rigidez, véase, el anexo A.
  - Utilizando un método general, en el que se considera el estado de la temperatura y del contenido de humedad en todos los puntos de la sección residual, así como la relación entre las propiedades de resistencia y rigidez del material por un lado, y la temperatura y el contenido de humedad por otro, véase 4.3 y el anexo E.

## 2.5 Métodos de evaluación

### 2.5.1 Generalidades

- (1)P El modelo estructural adoptado para el cálculo en situación de incendio deberá reflejar el comportamiento de la estructura en su exposición al fuego.
- (2) El análisis de la situación de incendio puede realizarse mediante uno de los métodos recogidos en 2.5.2, 2.5.3 y 2.5.4.

### 2.5.2 Análisis global de la estructura

- (1)P El análisis global de la estructura en situación de incendio deberá tener en cuenta el modo relevante de fallo en la exposición al fuego, las propiedades del material y rigideces dependientes de la temperatura, y los efectos de las dilataciones térmicas y las deformaciones.
- (2)P Deberá comprobarse que se cumple la siguientes relación en la duración correspondiente a la exposición al fuego

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d} \quad (2.6)$$

donde

$E_{fi,d}$  es el efecto de cálculo de las acciones en la situación de incendio, incluyendo los efectos de dilatación térmica, cuando corresponda;

$R_{fi,d}$  es la resistencia de cálculo correspondiente en exposición al fuego.

- (3) Las dilataciones térmicas de la madera pueden despreciarse.

### 2.5.3 Análisis de partes de la estructura

- (1) Como alternativa a un análisis global de la estructura como conjunto para varias situaciones de incendio, puede efectuarse un análisis de partes de la estructura o subsistemas, en el que estos subsistemas estén expuestos al fuego y se analicen de acuerdo con 2.5.1.
- (2) Los apoyos y las condiciones de contorno pueden considerarse como independientes del tiempo durante la exposición al fuego. La interacción entre los elementos o los sistemas en diferentes partes de la estructura deberían tenerse en cuenta de forma aproximada.

- (3) El efecto de las acciones (por ejemplo fuerzas internas y momentos) relativas a las condiciones de contorno y apoyo iniciales pueden obtenerse a partir de un análisis global de la estructura para la situación de cálculo a temperatura normal utilizando

$$E_{fi,d} = [0,6] E_d \quad (2.7)$$

NOTA – Esta ecuación puede dar lugar a resultados en contra de la seguridad en las sobrecargas de la categoría D.

- (4) El análisis debería considerar los efectos de las dilataciones térmicas de los elementos que no sean de madera.

#### **2.5.4 Análisis de elementos estructurales**

- (1) Como alternativa al análisis global de la estructura, pueden analizarse los elementos estructurales individuales en la situación de incendio.
- (2) Las condiciones de contorno y apoyo iniciales - correspondientes a las condiciones normales de uso - pueden suponerse válidas durante el tiempo de exposición al fuego.
- (3) Para el análisis de los elementos puede aplicarse 2.5.3(3).
- (4) Para la comprobación de los requisitos de resistencia al fuego normalizado es suficiente el análisis de las piezas individualmente.
- (5) En las piezas estructurales de madera no es necesario considerar los efectos de las dilataciones térmicas.

### 3 MATERIALES

#### 3.1 Profundidades de carbonización

- (1)P Para exposición al fuego normalizada la profundidad de carbonización se calculará mediante la siguiente expresión

$$d_{\text{char}} = \beta_0 t \quad (3.1)$$

donde

$\beta_0$  es la velocidad de carbonización.

- (2) Para las maderas encuadradas en las clases resistentes de acuerdo con los proyectos de la Norma prEN 338 y prEN 1194 deberían aplicarse las velocidades de carbonización indicadas en la tabla 3.1. La velocidad de carbonización del haya es la misma que para la madera maciza de coníferas. En madera maciza de frondosas con densidades características comprendidas entre 290 kg/m<sup>3</sup> y 450 kg/m<sup>3</sup> pueden obtenerse los valores intermedios mediante interpolación lineal.

Para madera maciza de conífera con una dimensión mínima de 35 mm y una densidad característica inferior a 290 kg/m<sup>3</sup> la velocidad de carbonización debería multiplicarse por un coeficiente  $k_p$  definido por la siguiente expresión

$$k_p = \sqrt{\frac{290}{\rho_k}} \quad (3.2)$$

Para tableros de madera con espesor diferente a 20 mm y densidad característica distinta de 450 kg/m<sup>3</sup>, la velocidad de carbonización debería tomarse de acuerdo con 3.1(3).

**Tabla 3.1**  
**Velocidades de carbonización  $\beta_0$  para madera**

	$\beta_0$ mm/mín.
a) Coníferas	
Madera maciza con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ y con una dimensión mínima de 35 mm	0,8
Madera laminada encolada con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7
Tableros de madera con densidad característica de 450 kg/m <sup>3</sup> y con un grueso de 20 mm	0,9
b) Madera maciza o laminada encolada de frondosa con densidad característica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$ y madera de roble	0,5
c) Madera maciza o laminada encolada de frondosa con una densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,7



- (3) Para los tableros derivados de la madera de acuerdo con EN 309, EN 313-1, prEN 300 y prEN 316 con una densidad característica de  $450 \text{ kg/m}^3$  y un grueso del tablero de 20 mm, deberían aplicarse las siguientes velocidades de carbonización:

$\beta_0 = 1,0 \text{ mm/min.}$  para tablero contrachapado

$\beta_0 = 0,9 \text{ mm/min.}$  para tableros derivados de la madera diferentes al contrachapado

Para otras densidades y gruesos la velocidad de carbonización debería calcularse según la siguiente expresión

$$\beta_{0, \rho, t} = \beta_{0,450,20} k_{\rho} k_t \quad (3.3)$$

donde

$$k_{\rho} = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \quad (3.4)$$

$$k_t = \min. \left\{ \sqrt{\frac{20}{t_p}} \right. \quad (3.5)$$

$$\left. 1,0 \right.$$

$\rho_k$  está en  $\text{kg/m}^3$  y  $t_p$  en milímetros.

- (4) Para varias capas superpuestas la velocidad de carbonización puede deducirse para el grueso total formado por todas las capas. Para capas sencillas y múltiples en contacto íntimo con la superficie de un elemento de madera, la velocidad de carbonización puede deducirse para el grueso total formado por las capas y el elemento de madera.
- (5)P La carbonización deberá considerarse en todas las superficies expuestas directamente al fuego.
- (6) No es necesario considerar la carbonización en las superficies de los elementos, que están protegidas por otros elementos durante la duración relevante de exposición al fuego, incluyendo elementos adosados si el efecto de afianzamiento o fijación queda garantizado.
- (7) No es necesario considerar la carbonización en las superficies de los elementos recubiertos con revestimientos de protección contra el fuego de acuerdo con 3.2 cuando

$$t_{pr} \geq t_{fi, req} \quad (3.6)$$

donde

$t_{pr}$  es el tiempo de fallo del tablero de protección o de otro material de protección, es decir, la duración de la protección eficaz contra la exposición directa al fuego;

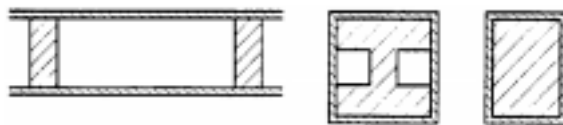
$t_{fi, req}$  es el tiempo de resistencia al fuego requerido en exposición al fuego normalizado.

- (8) Cuando las superficies de los elementos estén recubiertas por revestimientos de protección contra el fuego o se encuentren alineados con otros elementos estructurales con un tiempo de fallo que sea menor que el tiempo de resistencia al fuego requerido  $t_{fi, req}$ , la carbonización de la pieza comenzará a partir del tiempo de fallo  $t_{pr}$  del revestimiento.

### 3.2 Revestimientos de protección contra el fuego

- (1) En general, los tiempos de fallo de los materiales y tableros utilizados como revestimientos de protección contra el fuego, véase figura 3.1, deberían evaluarse mediante ensayos.

NOTA – Se encuentra en preparación una Norma Europea ENV YYY5-5 en el CEN/TC 127.



**Fig. 3.1 – Tableros utilizados como revestimientos de protección contra el fuego**

- (2) Para los revestimientos de protección contra el fuego constituidos por madera y tableros derivados de la madera los tiempos de fallo pueden determinarse mediante la siguiente expresión:

$$t_{pr} = \frac{t_p}{\beta_0} - t_r \text{ [min]} \quad (3.7)$$

con

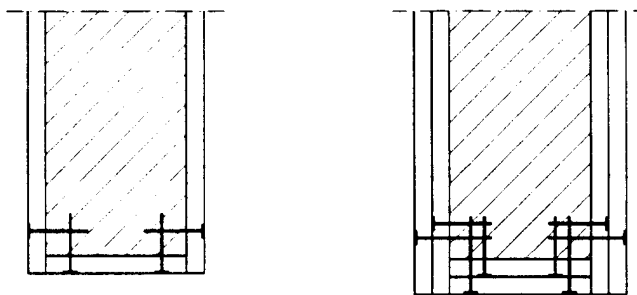
$$t_r = 4 \text{ min}$$

donde

$\beta_0$  es la velocidad de carbonización obtenida de acuerdo con 3.1(2) ó 3.1(3);

$t_p$  es el espesor del revestimiento de madera o de tablero derivado de la madera en mm. En el caso de dos o más capas de tablero  $t_p$  es la suma de los espesores de cada capa.

- (3) Los revestimientos de protección contra el fuego deberían fijarse a los elementos estructurales de acuerdo con las indicaciones de la figura 3.2. Los tableros deberían fijarse al elemento directamente y no a otro tablero. En el caso de capas múltiples de revestimiento cada capa debería fijarse individualmente y las juntas laterales deberían solaparse al menos 60 mm. La separación entre los elementos de fijación mecánicos no debería ser mayor que 300 mm.



**Fig. 3.2 – Fijación de los revestimientos de protección contra el fuego**

### 3.3 Adhesivos

- (1)P Los adhesivos con funciones estructurales deberán producir uniones con resistencia y durabilidad suficientes para que la integridad del encolado se mantenga durante el periodo de resistencia al fuego asignado.
- (2) Los adhesivos de tipo fenol-formaldehído y aminoplásticos de acuerdo con la Norma EN 301 que cumplan con 3.5(2) de la Norma ENV 1995-1-1 satisfacen las especificaciones del apartado anterior 3.3(1)P.

## 4 CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA EN SITUACIÓN DE INCENDIO

### 4.1 Método de la sección eficaz

- (1) La sección eficaz debería calcularse reduciendo la sección transversal inicial en la profundidad eficaz de carbonización (véase figura 4.1)

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char}} + k_0 d_0 \quad (4.1)$$

con

$$d_0 = 7 \text{ mm};$$

$d_{\text{char}}$  de acuerdo con la ecuación (3.1);

$k_0 \leq 1,0$  de acuerdo con la tabla 4.1.

En la tabla 4.1 se emplea la siguiente notación:

$t_{\text{fi, req}}$  es el tiempo de resistencia al fuego requerido para la exposición al fuego normalizado;

$t_{\text{pr}}$  es el tiempo de fallo del revestimiento de protección contra el fuego obtenido de acuerdo con 3.2(1), 3.2(2), C.3.2(2) o C.3.2(3).

- (2) La resistencia de cálculo y el módulo de elasticidad de la sección eficaz deberían obtenerse de acuerdo con las ecuaciones (2.1) a (2.3) con  $k_{\text{mod, fi}} = 1,0$

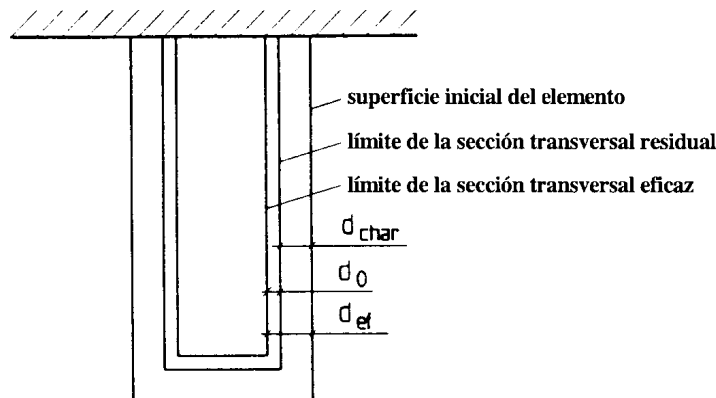


Fig. 4.1 – Definición de la sección transversal residual y eficaz

### 4.2 Método de la resistencia y rigidez reducidas

- (1) En el anexo A (normativo) se incluye un método para la exposición al fuego normalizado.

### 4.3 Métodos de cálculo generales

- (1) En general, la capacidad de carga de la sección transversal y su rigidez debería calcularse aplicando
- profundidades de carbonización de acuerdo con el anexo A (normativo) o modelos de carbonización generales;
  - perfiles de temperatura en la sección transversal residual;
  - perfiles del contenido de humedad en la sección transversal residual;
  - propiedades resistentes y de rigidez en función de la temperatura y del contenido de humedad.

**Tabla 4.1**  
**Determinación de  $k_0$**

Superficies no protegidas	$t_{fi, req} < 20 \text{ min}$	$k_0 = \frac{t_{fi, req}}{20}$
	$t_{fi, req} \geq 20 \text{ min}$	$k_0 = 1,0$
Superficies protegidas por tableros derivados de la madera	$t_{fi, req} - t_{pr} < 20 \text{ min}$	$k_0 = \frac{t_{fi, req} - t_{pr}}{20}$
	$t_{fi, req} - t_{pr} \geq 20 \text{ min}$	$k_0 = 1,0$
Superficies protegidas por tableros de cartón - yeso (capa interna)	$t_{fi, req} - t_{pr} < 10 \text{ min}$	$k_0 = \frac{t_{fi, req} - t_{pr}}{10}$
	$t_{fi, req} - t_{pr} \geq 10 \text{ min}$	$k_0 = 1,0$

#### 4.4 Reglas especiales

##### 4.4.1 Generalidades

- (1) No es preciso comprobar la compresión perpendicular.
- (2) No es preciso comprobar el cortante en secciones transversales macizas. En las vigas con entalladuras debería verificarse que la sección residual en la proximidad de la entalladura es al menos el 60% de la sección requerida en situación de cálculo en temperatura normal.

##### 4.4.2 Vigas

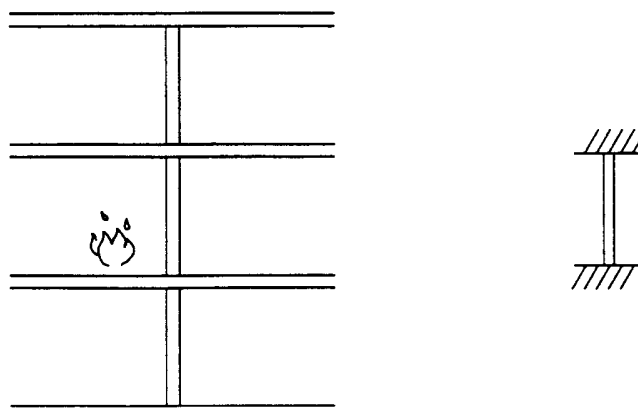
- (1) Cuando el arriostramiento falle durante la exposición considerada al fuego, debería considerarse el pandeo lateral para el elemento sin arriostrar.

##### 4.4.3 Soportes

- (1) Cuando el arriostramiento falle durante la exposición considerada al fuego, debería considerarse el pandeo para el elemento sin arriostrar.
- (2) Pueden suponerse condiciones de contorno más favorables que en la situación de cálculo para la temperatura normal para soportes en un sector de incendio que formen parte de un soporte continuo en un pórtico no desplazable. Pueden considerarse como completamente fijas en sus extremos, siempre que la resistencia al fuego del cerramiento del sector no sea menor que la resistencia al fuego del soporte, véase figura 4.2.

##### 4.4.4 Componentes unidos mecánicamente

- (1) En los componentes unidos mecánicamente, el módulo de deslizamiento puede tomarse igual al considerado en la situación de cálculo con temperatura normal. Para el cálculo de los elementos mecánicos de fijación, véase 4.5.



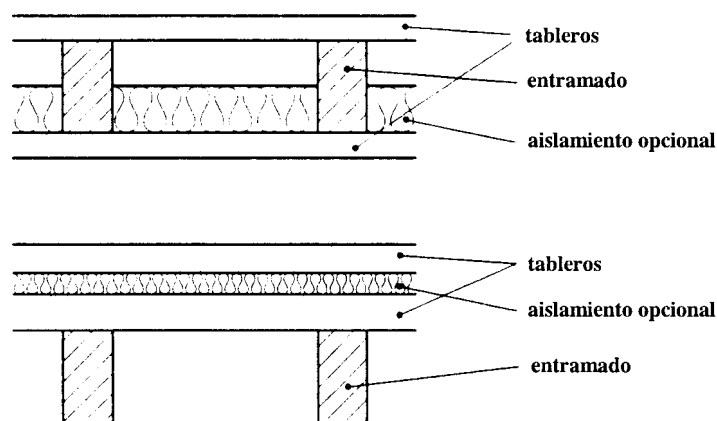
**Fig. 4.2 – Soporte continuo**

#### 4.4.5 Arriostramientos

- (1) Cuando las piezas comprimidas o flectadas son calculadas teniendo en cuenta el efecto del arriostramiento, debería verificarse que el arriostramiento no falla durante la duración requerida de la exposición al fuego. Se puede suponer que el arriostramiento no falla si la sección residual es el 60% de la sección requerida con respecto a la situación de cálculo en temperatura normal.
- (2) Los elementos mecánicos de fijación sólo precisan cumplir con los criterios definidos en 4.5.2(2) a (4).
- (3) Como alternativa a 4.4.5(1) debería suponerse que existen modelos estructurales diferentes en condiciones de temperatura normal y de incendio.

#### 4.4.6 Forjados y muros

- (1)P En los elementos constructivos de compartimentación deberá considerarse la exposición al fuego desde un sólo lado.
- (2)P En los elementos constructivos que no son de compartimentación la exposición al fuego deberá considerarse desde ambos lados de forma simultánea.
- (3) En muros y forjados constituidos por entramados de madera maciza, cubiertos con tableros de acuerdo con la figura 4.3, se aplican las reglas incluidas en el anexo C (normativo).



**Fig. 4.3 – Construcción básica para muros y forjados**

## 4.5 Uniones

### 4.5.1 Generalidades

- (1) Este apartado se refiere a las uniones entre elementos en exposición al fuego normalizado, realizadas con elementos de fijación de tipo clavija tratados en los apartados 6.3, 6.5, 6.6, 6.7 y 6.8 de la Norma ENV 1995-1-1. Para reglas más detalladas, véase el anexo B (normativo).
- (2) Las reglas son válidas únicamente para uniones sometidas a carga lateral, de tal forma que las fuerzas sean transmitidas simétricamente (véanse figuras 6.2.1 g-k de la Norma ENV 1995-1-1).

### 4.5.2 Uniones no protegidas con elementos laterales de madera

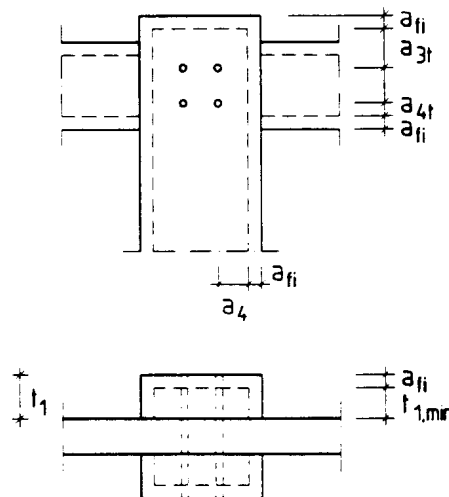
- (1) Las uniones madera-madera y acero-madera con la placa de acero como pieza central con clavos, tirafondos, pernos o pasadores no protegidos puede considerarse que tienen una resistencia al fuego R 15 cuando cumplen con las condiciones de la Norma ENV 1995-1-1, capítulo 6.
- (2) Para alcanzar una resistencia al fuego superior a R 15 el espesor y las distancias a la testa y a los bordes debería aumentarse en un valor  $a_{fi}$  (véase figura 4.4) que debería tomarse como

$$a_{fi} = \beta_0 (t_{fi, req} - 15) \quad (4.2)$$

donde

$\beta_0$  es la velocidad de carbonización de acuerdo con la tabla 3.1;

$t_{fi, req}$  es el tiempo requerido de resistencia al fuego normalizado en minutos.



**Fig. 4.4 – Incremento del espesor y de las distancias a la testa y a los bordes de los elementos de fijación para una resistencia al fuego superior a R 15**

- (3) Para alcanzar una resistencia al fuego superior a R 15 el espesor  $t_1$  de las piezas laterales debería cumplir las siguientes condiciones (véase figura 4.4):

$$t_1 \geq \frac{t_{fi, req}}{1,25 - \eta_n} \quad (4.3)$$

$$t_1 \geq 1,6 t_{fi, req} \quad (4.4)$$

$$t_1 \geq t_{1, \text{mín.}} + a_{fi} \text{ [mm]} \quad (4.5)$$

con una relación entre valores de cálculo de la carga y la capacidad de carga en situación normal de temperatura obtenida de la forma siguiente:

$$\eta_n = \frac{E_d}{R_{d,n}} \quad (4.6)$$

donde (véase figura 4.4)

$t_1$  es el espesor de las piezas laterales en milímetros;

$t_{fi, \text{req}}$  es la resistencia al fuego normalizado requerida en minutos;

$t_{1, \text{mín.}}$  es el espesor mínimo de la pieza lateral requerido en la situación de cálculo de temperatura normal en milímetros, cuando sea relevante;

$E_d$  es el efecto de cálculo de las acciones en los elementos de fijación en la temperatura normal;

$R_{d,n}$  es el valor de cálculo de la capacidad de carga del elemento de fijación en la temperatura normal de acuerdo con la Norma ENV 1995-1-1, ecuación (6.2.1g) a (6.2.1.k).

Pueden utilizarse tableros de protección para obtener el espesor requerido. Véase 4.5.4.

- (4) Para alcanzar una resistencia al fuego superior a R 15 las distancias mínimas desde el elemento de fijación a la testa y a los bordes especificados en la Norma ENV 1995-1-1 deberían incrementarse en una distancia igual a  $a_{fi}$  de acuerdo con 4.5.2(2), véase figura 4.4. No es necesaria una distancia extra si se cumple la condición siguiente para las distancias  $a_3$  y  $a_4$ :

$$a_3 \geq \beta_0 (t_{fi, \text{req}} + 15) \quad (4.7)$$

$$a_4 \geq \beta_0 (t_{fi, \text{req}} + 15) \quad (4.8)$$

donde

$t_{fi, \text{req}}$  es la resistencia al fuego normalizado requerida en minutos;

$a_3, a_4$  son las distancias a la testa y al borde desde el elemento de fijación. Véase la Norma ENV 1995-1-1, capítulo 6.

- (5) En las uniones madera-madera que cumplan con 4.5.2(3) y 4.5.2(4), la resistencia al fuego R 30 se alcanza si la relación entre los valores de cálculo de la carga y la capacidad de carga en situación de cálculo de temperatura normal no excede el valor  $\eta_{30}$  de la tabla 4.2. Esto se consigue incrementando el número de elementos de fijación en la unión o eligiendo elementos de fijación más resistentes. Los valores de  $\eta_{30}$  se derivan de las formulas incluidas en el anexo B para las condiciones especificadas.

En la tabla 4.2 se utilizan los símbolos siguientes:

$l$  longitud del elemento de fijación

$t_1$  espesor de la pieza lateral

$t_2$  espesor de la pieza central

$t_{\text{máx.}}$  el mayor valor de  $t_1$  y  $t_2$

$d$  diámetro del elemento de fijación

**Tabla 4.2**  
**Relación  $\eta_{30}$  entre la carga y la capacidad de carga en la situación de cálculo**  
**a la temperatura normal para el elemento de fijación para R 30**

	$\eta_{30}$	Condiciones
Clavos	[0,80]	$l \geq \max. \begin{cases} t_1 + 8 d \\ 130 \text{ mm} \end{cases}$ $\frac{t_1}{d} \leq 16$
Pernos	[0,45]	$t_1 \geq 75 \text{ mm}$ $d \geq 12 \text{ mm}$
Pasadores (sin sobresalir)	[0,80]	$l \leq 2 t_1 + t_2$ $l \geq 150 \text{ mm}$ $\frac{t_{\max.}}{d} \leq 6$
Conectores	[0,45]	con pernos: $t_1 \geq 75 \text{ mm}$ $d \geq 12 \text{ mm}$
	[0,80]	con clavos

- (6) En las uniones madera-acero con las placas de acero utilizadas como piezas centrales y con un espesor mínimo de 2 mm y con elementos de fijación no protegidos que cumplan con 4.5.2(3) y 4.5.2(4), la resistencia al fuego R 30 se alcanza si la relación entre la carga y la capacidad de carga en situación de cálculo a la temperatura normal no supera el valor  $\eta_{30}$  indicado en la tabla 4.3. Esto se consigue incrementando el número de elementos de fijación en la unión o eligiendo medios de fijación más resistentes. Los valores de  $\eta_{30}$  se derivan de las fórmulas dadas en el anexo B para las condiciones específicas. Los bordes de la placa deberían protegerse, véase B.5 en el anexo B. Los símbolos utilizados en la tabla 4.3 se explican en 4.5.2(5).

**Tabla 4.3**  
**Relación  $\eta_{30}$  entre la carga y la capacidad de carga en situación de cálculo a la temperatura normal**  
**para elementos de fijación en uniones madera-acero para R 30**

	$\eta_{30}$	Condiciones
Clavos	[1,0]	$l \geq 90 \text{ mm}$
Pernos	[0,45]	$h_1 \geq 75 \text{ mm}$ $d \geq 12 \text{ mm}$
Pasadores (sin sobresalir)	[1,0]	$l \geq \max. \begin{cases} 2 t_1 + t_2 \\ 110 \text{ mm} \end{cases}$ $\frac{h_1}{d} \leq 6$

- (7) Para resistencias al fuego comprendidas entre R 30 y R 60, la relación entre la carga y la capacidad de carga en situación de temperatura normal no debería exceder el valor  $\eta$  calculado de la forma siguiente:

$$\eta = \eta_{30} \left[ \frac{30}{t_{fi, req}} \right]^2 \quad (4.9)$$

donde

$t_{fi, req}$  está en minutos y  $\eta_{30}$  se obtiene de las tablas 4.2 ó 4.3.



### 4.5.3 Uniones no protegidas con placas de acero externas

- (1) Para las placas de acero externas no protegidas que están expuestas directamente únicamente en una cara, la resistencia al fuego R 30 se cumple para un espesor mínimo de la placa de 6 mm si la relación entre la carga y la capacidad de carga en situación de temperatura normal no excede el valor  $\eta_{30} = 0,45$ .

### 4.5.4 Uniones protegidas

- (1) Las uniones se consideran protegidas si los elementos mecánicos de fijación están cubiertos con tapones de protección o madera o tableros derivados de la madera con un espesor mínimo  $a_{fi}$  definido en 4.5.2(2), véase figura 4.5.
- (2) En la fijación de los tableros de protección la distancia al borde de los elementos de fijación debería ser como mínimo igual a  $a_{fi}$  definido en la ecuación (4.2).
- (3) Los párrafos 4.5.4(2) a 4.5.4(4) se aplican con referencia a las distancias a la testa y a los bordes.
- (4) La profundidad de penetración de los clavos para la fijación de tableros de protección debería ser como mínimo igual a  $6d$  con al menos un clavo por cada  $0,015 \text{ m}^2$  de superficie protegida.
- (5) Las placas de acero utilizadas como piezas laterales o centrales pueden considerarse protegidas si se encuentran totalmente cubiertas por madera con el espesor mínimo de  $a_{fi}$  definido en la ecuación (4.2). Los cantos de las placas de acero deberían protegerse del mismo modo. En el anexo B (normativo) se incluyen reglas suplementarias.
- (6) Las uniones protegidas que cumplan las condiciones expresadas en la Norma ENV 1995-1-1, capítulo 6, puede considerarse que alcanzan R 60.

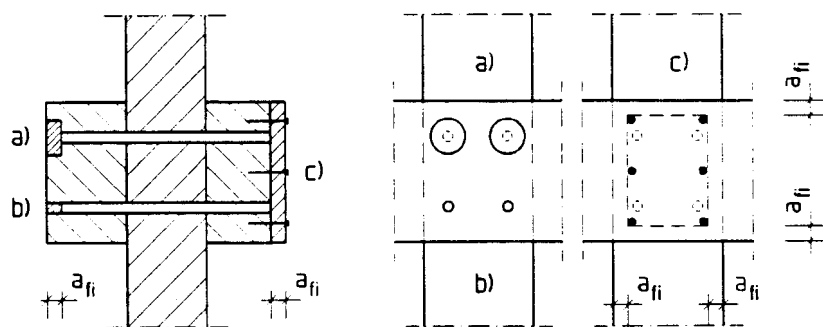


Fig. 4.5 – Elementos de fijación protegidos: a) y b) tapones encolados c) tableros de protección

## ANEXO A (Normativo)

MÉTODO DE LA RESISTENCIA Y RIGIDEZ REDUCIDAS  
PARA EXPOSICIÓN AL FUEGO NORMALIZADO

- (1) La capacidad de carga en flexión, compresión y tracción pueden calcularse a partir de la sección residual determinada de acuerdo con el anexo A, párrafo (2) y de la reducción de los parámetros de resistencia y rigidez de acuerdo con el anexo A, párrafo (3).
- (2) La sección residual (véase figura 4.1) del elemento debería determinarse bien a partir de la reducción de la sección inicial en la profundidad carbonizada, sin considerar el redondeo de las aristas, definida por

$$d_{\text{char}} = \beta_0 t \quad (\text{A.1})$$

donde  $\beta_0$  debería tomarse de la tabla 3.1, o bien reduciendo la sección inicial en la profundidad carbonizada, teniendo en cuenta el redondeo de las aristas, definida por

$$d_{\text{char}} = \beta t \quad (\text{A.2})$$

donde  $\beta$  debería tomarse de la tabla A.1

**Tabla A.1**  
**Velocidades de carbonización  $\beta$**

	<b><math>\beta</math> mm/mín.</b>
a) Coníferas	
Madera laminada encolada con una densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,64
Madera maciza con una densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,67
b) Madera maciza o laminada encolada de frondosas con una densidad característica $\geq 350 \text{ kg/m}^3$	0,54

- (3) La forma que adopta la línea de carbonización en las aristas debería suponerse circular con un radio dependiente del tiempo de acuerdo con la figura A.1. Esta figura es válida para radios no superiores al menor valor de  $b_r/2$  o  $h_r/2$ , siendo  $b_r$  y  $h_r$  el ancho y el canto de la sección residual, respectivamente.
- (4) Para la madera de conífera, la resistencia de cálculo  $f_{d, fi}$  y el módulo de elasticidad  $E_{d, fi}$  de la sección residual debería tomarse de acuerdo con las ecuaciones (2.1) a (2.3) donde  $k_{\text{mod}, fi}$  debería tener el valor siguiente:

– para la resistencia a flexión:

$$k_{\text{mod}, fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r} \quad (\text{A.3})$$

– para la resistencia a compresión:

$$k_{\text{mod}, fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r} \quad (\text{A.4})$$

- para la resistencia a tracción y módulo de elasticidad:

$$k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r} \quad (\text{A.5})$$

donde

$p$  es el perímetro de la sección residual expuesta al fuego en metros;

$A_r$  es el área de la sección residual en  $\text{m}^2$ .

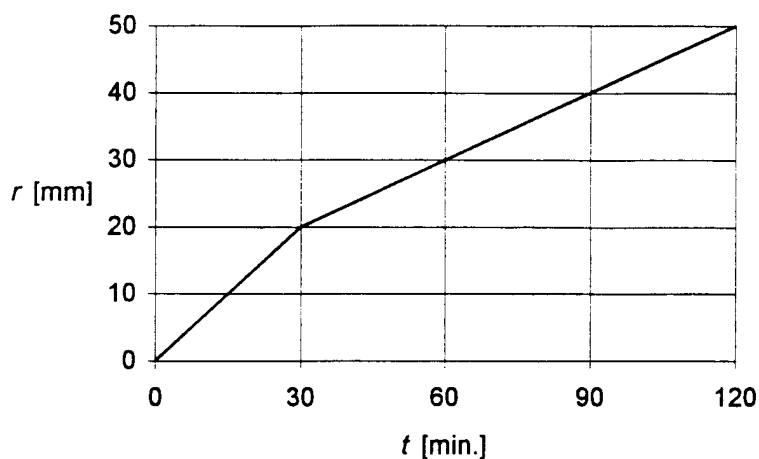


Fig. A.1 – Radio de la línea de carbonización en las aristas en función del tiempo

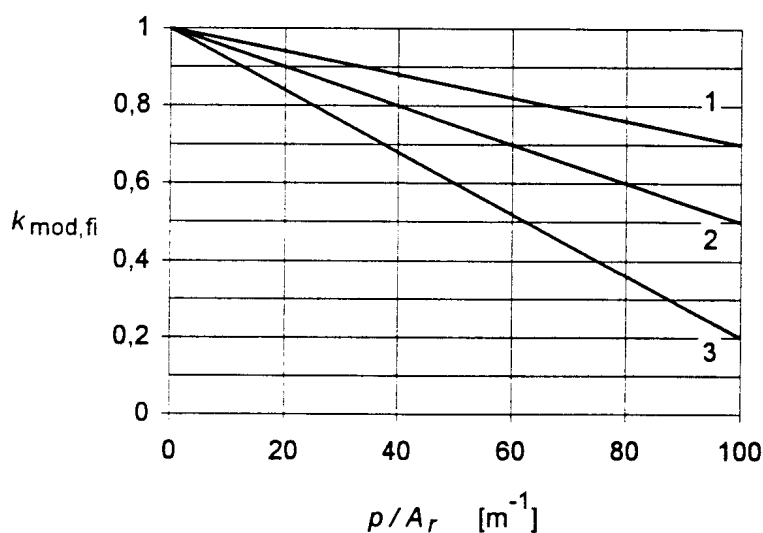


Fig. A.2 – Representación gráfica de las ecuaciones A.3 a A.5. Línea 1: Tracción, Módulo de elasticidad; Línea 2: Flexión; Línea 3: Compresión

**ANEXO B (Normativo)****REGLAS SUPLEMENTARIAS PARA LAS UNIONES****B.1 Uniones con clavos no protegidos**

- (1) En las uniones madera-madera para alcanzar una resistencia al fuego R 30 debería observarse una profundidad mínima de penetración de 8d y la siguiente condición para la relación entre la carga y la capacidad de carga en situación de temperatura normal:

$$\eta_{30} \leq \frac{[20] d}{t_1 \left( 1,0 + \left[ \frac{110}{l} \right]^4 \right)} \quad (\text{B.1})$$

$$\eta_{30} \leq 1,0 \quad (\text{B.2})$$

donde

$d$  es el diámetro del clavo en milímetros;

$l$  es la longitud total del clavo en milímetros;

$t_1$  es el espesor de las piezas laterales en milímetros.

- (2) En los clavos con fuste anillado o helicoidal no es necesaria la reducción de la relación entre la carga y la capacidad de carga en situación de cálculo en temperatura normal, si se cumple el criterio de la profundidad de penetración.

**B.2 Uniones con pernos no protegidos**

- (1) En las uniones con pernos entre piezas de madera-madera o madera-acero para alcanzar la R 30 deberían cumplirse las siguientes condiciones para la relación entre la carga y la capacidad de carga en situación de cálculo en temperatura normal:

$$\eta_{30} \leq [0,6] \left( 1 - \frac{0,4}{\sqrt{n}} \right) \frac{t_1}{t_{1,\text{mín.}}} \sqrt{\frac{d}{10}} \quad (\text{B.3})$$

$$\eta_{30} \leq [0,6] \quad (\text{B.4})$$

donde

$d$  es el diámetro del perno en milímetros;

$n$  es el número de pernos en la unión;

$t_1$  es el espesor de la pieza lateral en milímetros;

$t_{1,\text{mín.}}$  es el espesor mínimo de la pieza lateral requerido en la situación de cálculo en temperatura normal en milímetros.

- (2) En las uniones con pernos en las que la unión está adicionalmente asegurada con clavos de fuste anillado o helicoidal, la relación entre la carga y la capacidad de carga en situación de cálculo en temperatura normal  $\eta_{30}$  no necesita reducirse si
- los clavos tienen una profundidad mínima de penetración de  $8d$ ;
  - los clavos están calculados para transmitir el 50% de las fuerzas que actúan en una unión con un número mínimo de cuatro clavos para una unión de un perno y seis para una unión de dos pernos.

### B.3 Uniones con pasadores no protegidos

- (1) Las reglas siguientes son aplicables en los pasadores que no sobresalen con una longitud total mayor que 120 mm y en los pasadores que sobresalen con una longitud total mayor que 200 mm.
- (2) En uniones madera-madera o madera-acero para alcanzar una resistencia R 30 debería cumplirse la siguiente condición para la relación entre la carga y la capacidad de carga en situación de cálculo en temperatura normal:

$$\eta_{30} \leq \frac{c \, d}{\mu \left( 1,0 + \left[ \frac{110}{l'} \right]^4 \right)} \quad (\text{B.5})$$

$$\eta_{30} \leq 1,0 \quad (\text{B.6})$$

con

$$\mu = \sqrt{t_1 \, t_2} \quad \text{en general} \quad (\text{B.7})$$

$\mu = t_1$  para placas de acero como piezas centrales

$c = [12]$  para placas de acero como piezas centrales

$c = [6,0]$  para piezas centrales de madera

$l' = l$  para pasadores que no sobresalen

$l' = 0,6 \, l$  para pasadores que sobresalen

donde

$t_1$  es el espesor de las piezas laterales en milímetros;

$t_2$  es el espesor de la pieza central en milímetros;

$l$  es la longitud total del pasador en milímetros.

Si las fuerzas actúan con un ángulo  $\alpha$  con respecto a la fibra,  $\eta_{30}$  puede obtenerse dividiendo por  $(1 - \alpha/360)$ .

### B.4 Conectores

- (1) En los conectores que están asegurados con clavos con resaltes anillados o helicoidales sin proteger y con una profundidad de penetración mayor que  $8d$ , para una resistencia de R 30  $\eta_{30}$  puede tomarse el valor de  $\eta_{30} = 1,0$ .

- (2) Si los conectores están asegurados con pernos sin proteger, para alcanzar R 30 deberían satisfacerse las siguientes condiciones para la relación entre la carga y la capacidad de carga en situación de temperatura normal:

$$\eta_{30} \leq \frac{[0,25] t_1}{t_{1, \text{mín.}}} \quad (\text{B.8})$$

$$\eta_{30} \leq [0,6] \quad (\text{B.9})$$

donde

$t_1$  es el espesor de las piezas laterales;

$t_{1, \text{mín.}}$  es el espesor mínimo de las piezas laterales requerido en el cálculo en situación normal de temperatura.

Si se disponen pernos de sujeción adicionales puede tomarse el valor  $\eta_{30} = 0,5$ .

- (3) Cuando se utilicen además de los pernos sin proteger, clavos con resaltos anillados o helicoidales, la relación entre la carga y la capacidad de carga en situación de cálculo en temperatura normal no se necesita reducir el valor de  $\eta_{30}$  si
- la profundidad de penetración de los clavos es al menos de  $8d$ ;
  - los clavos están calculados para transmitir el 50% de las fuerzas que actúan en la unión, y en las uniones de un solo conector se emplean al menos cuatro clavos adicionales y en uniones de dos conectores al menos seis clavos.
- (4) En los conectores empleados para garantizar la actuación solidaria de vigas compuestas puede tomarse  $\eta_{60} = 1,0$  para una resistencia máxima al fuego R 60.

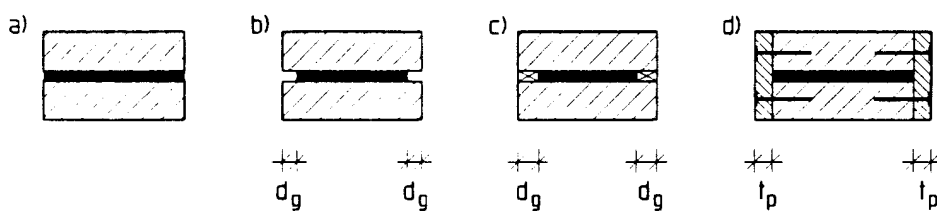
### B.5 Uniones con placas de acero

- (1) Las placas de acero pueden comprobarse de acuerdo con la Norma ENV 1993-1-2. Para un análisis simplificado pueden emplearse las reglas siguientes.
- (2) En uniones con placas de acero como piezas centrales con un espesor mayor o igual a 2 mm, y donde las placas de acero no sobresalen de la superficie de madera, las anchuras  $b_{st}$  de las placas de acero deberían cumplir las condiciones definidas en la tabla B.1.

**Tabla B.1**  
**Anchuras de las placas de acero con los bordes no protegidos**

		<b><math>b_{st}</math></b>
Bordes no protegidos en general	R 30	$\geq 200 \text{ mm}$
	R 60	$\geq 280 \text{ mm}$
Bordes no protegidos en uno o dos lados	R 30	$\geq 120 \text{ mm}$
	R 60	$\geq 280 \text{ mm}$

- (3) Los bordes de las placas de acero con una anchura menor que el ancho de la pieza de madera puede considerarse como protegida en los casos siguientes:
- En placas con espesores no superiores a 3 mm si el retranqueo  $d_g$  es mayor que 20 mm para una resistencia al fuego R 30 y mayor que 60 mm para una resistencia al fuego R 60 (véase figura B.1).
  - En las uniones con filetes encolados o tableros derivados de la madera de protección si el retranqueo  $d_g$  o el espesor del tablero  $t_p$  es mayor que 10 mm para una resistencia al fuego R 30 y mayor que 30 mm para una resistencia al fuego R 60 (véase figura B.1).



**Fig. B.1 – Placas de acero: a) no protegidas, b) protegidas por retranqueo, c) protegidas con filetes encolados, d) protegidas con tableros**

**ANEXO C (Normativo)****MUROS Y FORJADOS****C.1 Campo de aplicación**

- (1) Las reglas de evaluación contenidas en este anexo se aplican a elementos constructivos resistentes (R), de separación (EI), resistentes y de separación (REI). Para la función de separación las reglas son aplicables hasta 60 minutos de resistencia al fuego normalizado.
- (2) Los tableros considerados aquí pueden
  - comportarse como revestimientos de protección contra el fuego de elementos estructurales, véase 3.2, o
  - formar parte de un elemento constructivo resistente, incluyendo los tableros utilizados como diafragmas y arriostramientos y/o
  - utilizarse como láminas de revestimiento para conseguir la función de separación.

NOTA – Las reglas contenidas en este anexo son conservadoras. El diseño a partir de ensayos ofrecerá resultados más económicos.

**C.2 Procedimiento de cálculo****C.2.1 Generalidades**

- (1) Los detalles constructivos deberían realizarse de acuerdo con C.4.
- (2) Los tiempos de fallo de los tableros y de las capas de aislamiento deberían determinarse de acuerdo con C.3.

**C.2.2 Construcciones portantes**

- (1) La capacidad de carga debería determinarse de acuerdo con el capítulo 4.
- (2) Los tableros con funciones resistentes no necesitan ser analizados si el espesor residual es al menos el 60% del espesor requerido para el cálculo en situación de temperatura normal.
- (3) Cuando los tableros se utilizan para rigidizar o arriostrar el entramado de madera resistente, deberían tener un espesor residual de al menos el 60% del espesor requerido para la situación de cálculo en temperatura normal; en caso contrario el entramado debería analizarse como un entramado sin arriostramiento, véase 4.4.5.

**C.2.3 Elementos de separación**

- (1) En los elementos de separación donde el entramado de madera queda expuesto al fuego antes de alcanzar el tiempo requerido de resistencia al fuego, debería comprobarse que las secciones residuales de las piezas del entramado de madera son al menos el 60% de las secciones requeridas para la situación normal de temperatura.
- (2) También debería asegurarse que los tableros permanecen fijados al entramado de madera en la cara no expuesta. Este requisito se cumple cuando se observa el criterio II de C.2.3(3).



(3) Para elementos de separación, en general, deberían comprobarse los siguientes criterios:

I El incremento de temperatura de la cara no expuesta se limita a 140 K. Este criterio se considera satisfecho cuando

$$\sum_i t_{pr,i} \geq t_{fi,req} + [15] \quad [\text{min}] \quad (\text{C.1})$$

donde

$t_{pr,i}$  es el tiempo de fallo de la capa “i”;

$\sum_i t_{pr,i}$  es la suma de los tiempos de fallo de todas las capas, véanse figuras C.1 y C.2.

II La temperatura máxima alcanzada en cualquier punto se limita a 180 K, y no se produce penetración del fuego a través de las juntas del tablero. Este criterio se considera cumplido cuando

$$\sum_i t_{pr,i} \geq t_{fi,req} + [5] \quad [\text{min}] \quad (\text{C.2})$$

donde

$\sum_i t_{pr,i}$  es la suma de los tiempos de fallo de todas las capas excepto la capa exterior en la cara no expuesta, véase figura C.1.

III Cualquier capa eliminada para permitir la instalación de servicios del edificio debería ser sustituida por un espesor equivalente. Debería verificarse que

$$\sum_i t_{pr,i} \geq t_{fi,req} + [5] \quad [\text{min}] \quad (\text{C.3})$$

Véase figura C.2.

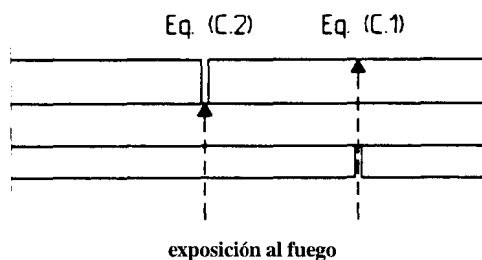
(4) Debería considerarse un incremento de la carbonización en las juntas del tablero en los forjados expuestos al fuego por debajo, véase C.3.1(3).

(5) Cuando las funciones de separación sean verificadas en los forjados también para la exposición al fuego desde arriba, es suficiente comprobar únicamente el criterio I de C.2.3(3). Este criterio puede considerarse cumplido cuando

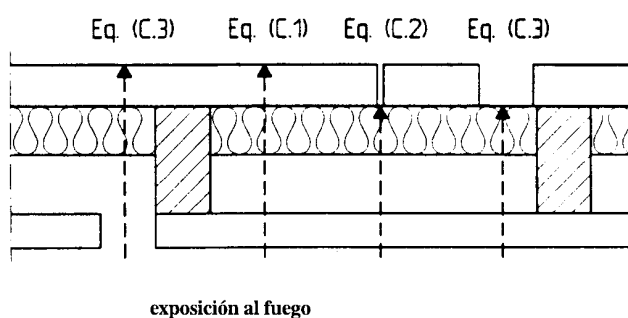
$$\sum_i t_{pr,i} \geq t_{fi,req} + [5] \quad [\text{min}] \quad (\text{C.4})$$

donde

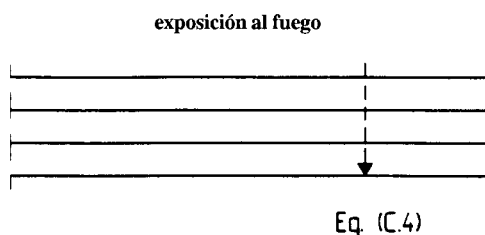
$\sum_i t_{pr,i}$  es la suma de los tiempos de fallo de todas las capas, véase figura C.3. En exposición al fuego desde arriba, los tiempos de fallo  $t_{pr,i}$  pueden incrementarse en un 20%.



**Fig. C.1 – Ilustración de las ecuaciones (C.1) y (C.2) para la comprobación de los criterios de separación en forjados expuestos al fuego desde abajo (Criterios I y II)**



**Fig. C.2 – Ilustración de las ecuaciones (C.1), (C.2) y (C.3) para la comprobación de los criterios de separación en muros incluyendo servicios de la edificación (Criterios I a III)**



**Fig. C.3 – Ilustración de la ecuación (C.4) para la comprobación del criterio de separación en forjados expuestos al fuego desde arriba (Criterio I)**

### C.3 Tiempos de fallo

#### C.3.1 Madera y tableros derivados de la madera

- (1) Los tiempos de fallo  $t_{pr}$  de la madera y de los tableros derivados de la madera deberían obtenerse de acuerdo con la ecuación (3.7).
- (2) En tableros portantes el tiempo de fallo  $t_{pr}$  está limitado por el tiempo de resistencia al fuego calculado de acuerdo con (4.1), o alternativamente según C.2.2(2).

- (3) En forjados expuestos al fuego desde abajo los tiempos de fallo en la proximidad de las juntas del tablero deberían tomarse como

$$t_{pr} = \xi \frac{t_p}{\beta_0} \quad (C.5)$$

donde

$\xi$  es un coeficiente reductor que tiene en cuenta el incremento de la carbonización en las juntas. En forjados  $\xi$  debería adoptarse de acuerdo con la figura C.4.

- (5) El tiempo de fallo de los tableros y capas aislantes cuyo comportamiento frente a la combustión sea comparable al de los tableros derivados de la madera, puede suponerse que actúan de acuerdo con 3.1(3).
- (6) Los tableros y capas aislantes que se consideren en el cálculo deberían fijarse al entramado de madera de tal forma que se evite el fallo prematuro. Véase figura C.5.

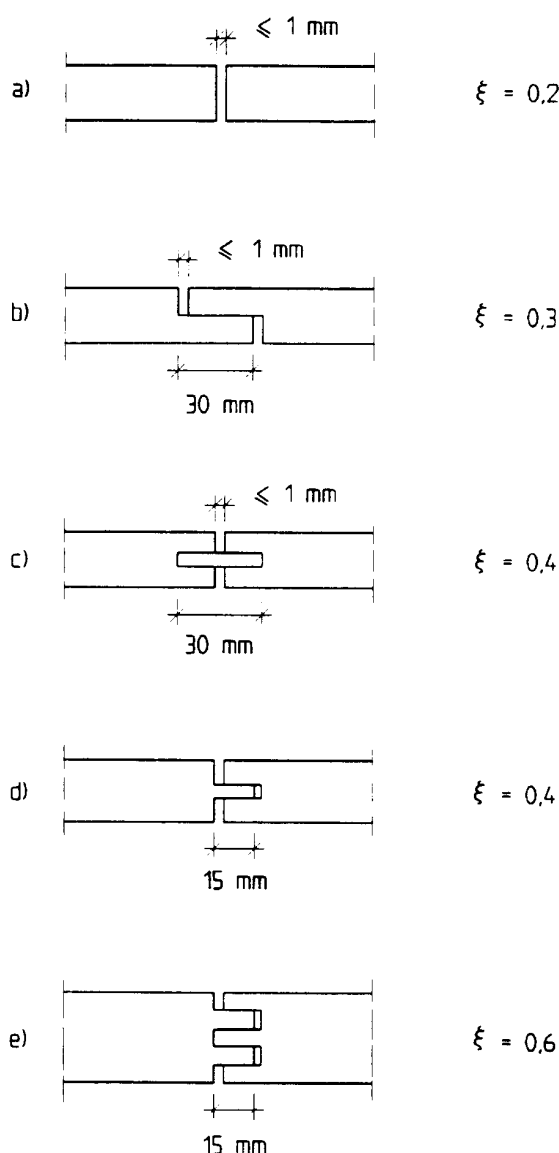


Fig. C.4 – Coeficiente reductor del tiempo de fallo en las juntas para forjados expuestos al fuego desde abajo

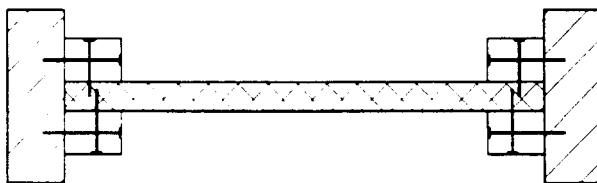


Fig. C.5 – Ejemplo de fijación de los tableros aislantes

### C.3.2 Tableros y capas aislantes no combustibles

- (1) El tiempo de fallo de los revestimientos y tableros no combustibles es el tiempo que transcurre hasta que la temperatura supera los 500 K en la cara no expuesta.
- (2) El tiempo de fallo de un tablero de cartón-yeso de tipo F con cohesión del alma mejorada en alta temperatura de acuerdo con el proyecto de Norma prEN 520 puede tomarse como

$$t_{pr} = 1,9 \xi t_p \quad \text{para } t_p \leq 15 \text{ mm} \quad (\text{C.6})$$

$$t_{pr} = \xi (2,5 t_p - 9) \quad \text{para } t_p > 15 \text{ mm} \quad (\text{C.7})$$

donde

$t_p$  es el espesor del tablero de cartón-yeso incluyendo las caras de papel, en milímetros.

En las ecuaciones (C.6) y (C.7)  $\xi$  debería tomarse como

$$\xi = 0,8$$

en las juntas en forjados expuestos al fuego desde abajo, en los que las juntas entre tableros no están fijados al entramado de madera o a los largueros, y en las juntas entre capas múltiples únicamente para las juntas de la última capa (expuesta al fuego), y

$$\xi = 1,0$$

en los casos restantes.

- (3) En los tableros de cartón-yeso de tipo A y H de acuerdo con el proyecto de Norma prEN 520 los tiempos de fallo pueden tomarse como

$$t_{pr} = 1,7 \xi t_p \quad (\text{C.8})$$

donde

$t_p$  y  $\xi$  se definen en C.3.2(2).

- (4) En los materiales aislantes no combustibles con un espesor de más de 20 mm y con una densidad mayor que 30 kg/m<sup>3</sup> que mantienen su cohesión hasta los 1 000 °C, los tiempos de fallo pueden calcularse mediante la siguiente expresión

$$t_{pr} = 0,07 (t_{ins} - 20) \sqrt{\rho_{ins}} \quad [\text{min}] \quad (\text{C.9})$$

donde

$t_{ins}$  es el espesor del material aislante en milímetros;

$\rho_{ins}$  es la densidad del material aislante en kg/m<sup>3</sup>.

Las capas y tableros aislantes que se consideren en el cálculo deberían fijarse al entramado de madera de manera que se evite el fallo prematuro. Véase figura C.6.

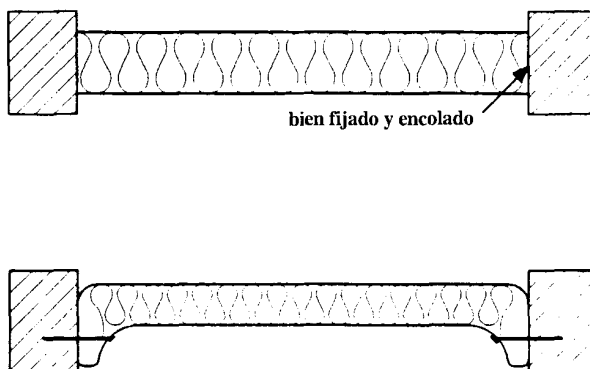


Fig. C.6 – Ejemplos de fijación de materiales aislantes

## C.4 Dimensiones mínimas y detalles

### C.4.1 Dimensiones mínimas

- (1) Las piezas del entramado de madera que no se encuentren protegidas por revestimientos para el tiempo de resistencia al fuego requerido deberían tener una dimensión mínima de 38 mm.
- (2) En los muros, los tableros individuales deberían tener un espesor mínimo  $t_{p, \text{mín.}}$  en función de la luz  $l_p$  del tablero (es decir, separación entre montantes o largueros) definida por las expresiones siguientes

$$t_{p, \text{mín.}} = \frac{l_p}{62,5} \text{ [mm]} \quad (\text{C.10})$$

$$t_{p, \text{mín.}} \geq 8 \text{ mm} \quad (\text{C.11})$$

donde

$l_p$  está en milímetros.

- (3) Los tableros derivados de la madera constituidos por una única capa en cada lado deberían tener una densidad característica de al menos 350 kg/m<sup>3</sup>.

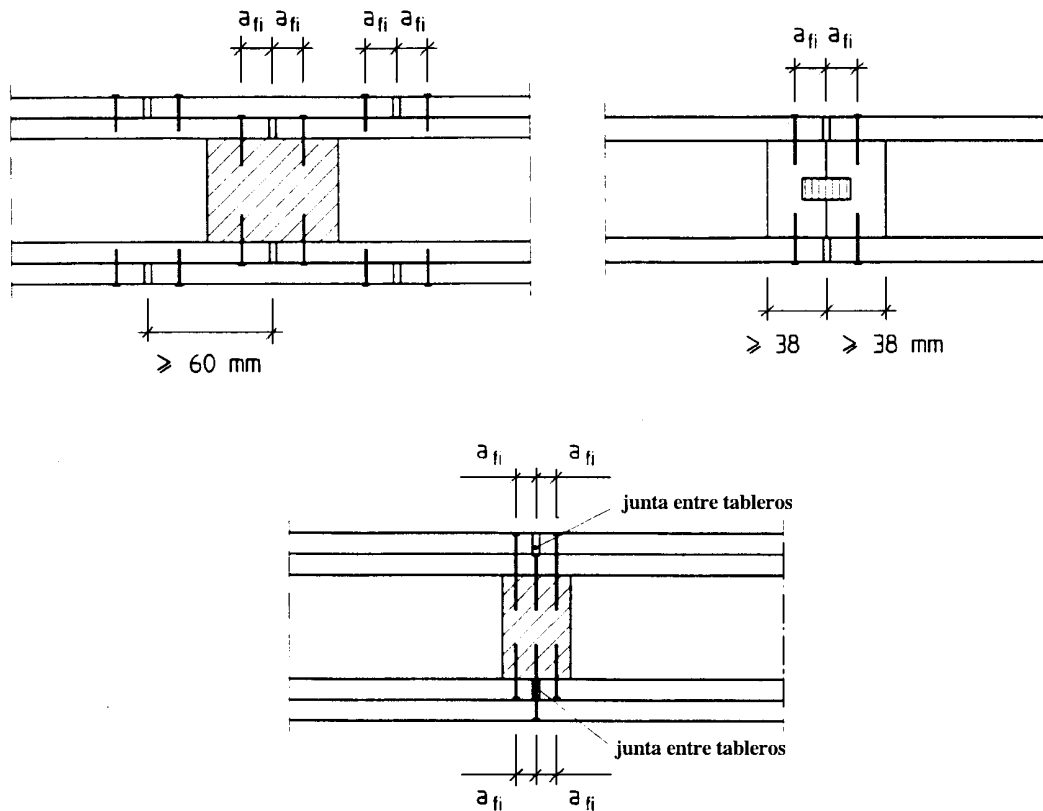
### C.4.2 Detalles de las conexiones entre tableros

- (1) Los tableros deberían fijarse al entramado de madera o a los largueros.

En los tableros de madera y de materiales derivados de la madera fijados con clavos, la separación máxima debería ser de 150 mm. La penetración mínima debería ser de ocho veces el diámetro del clavo para los tableros con misiones resistentes de acuerdo con C.1(2), y de seis veces el diámetro del clavo para los tableros sin misión resistente. Cuando los tableros se fijan con tirafondos la separación máxima debería ser de 250 mm.

- (2) Los cantos de los tableros deberían estar unidos íntimamente con una holgura máxima de 1 mm. Deberían estar fijadas al entramado de madera o a los largueros en al menos dos cantos opuestos con las separaciones indicadas en C.4.2(1). En el caso de capas múltiples, lo anterior se aplica a la capa interior. Véase figura C.7. En tableros de madera y de productos derivados de la madera la distancia entre elementos de fijación en el canto debería corresponder al menos a  $a_{fi}$  de acuerdo con la ecuación (4.2).

- (3) En el caso de capas múltiples las juntas entre tableros deberían tener un solape de al menos 60 mm, véase figura C.7. Cada tablero debería fijarse individualmente. En los tableros de madera y de productos derivados de la madera la separación entre los elementos de fijación a lo largo de los cantos y la distancia al borde deberían tomarse de acuerdo con C.4.2(1) y (2). La separación entre elementos de fijación en otros lugares puede doblarse.



**Fig. C.7 – Ejemplos de fijaciones de los tableros al entramado**

- (4) En tableros de cartón-yeso es suficiente con observar las reglas establecidas para la situación en temperatura normal con respecto a la profundidad de penetración, separaciones y distancias al borde.

#### **C.4.3 Conexiones con los forjados y muros contiguos**

- (1) Las conexiones con los forjados y muros contiguos deberían realizarse de manera que:
- la fijación no quede afectada por el fallo de los tableros;
  - las holguras entre ambos elementos constructivos no servirán de camino al fuego para penetrar en el hueco entre los tableros y el entramado;
  - el fallo de los tableros en una construcción no servirá de camino al fuego para la penetración en el hueco entre los tableros y el entramado de la construcción contigua.
- (2) Las especificaciones del párrafo C.4.2(1) se cumplen si el entramado de madera provee de un contorno a los muros y forjados contiguos y se encuentra fijado de acuerdo con la figura C.8.
- (3) Cuando puedan darse holguras entre los elementos constructivos de separación, debidos a las diferentes deformaciones o dilataciones, las juntas deberían sellarse con un material no combustible.

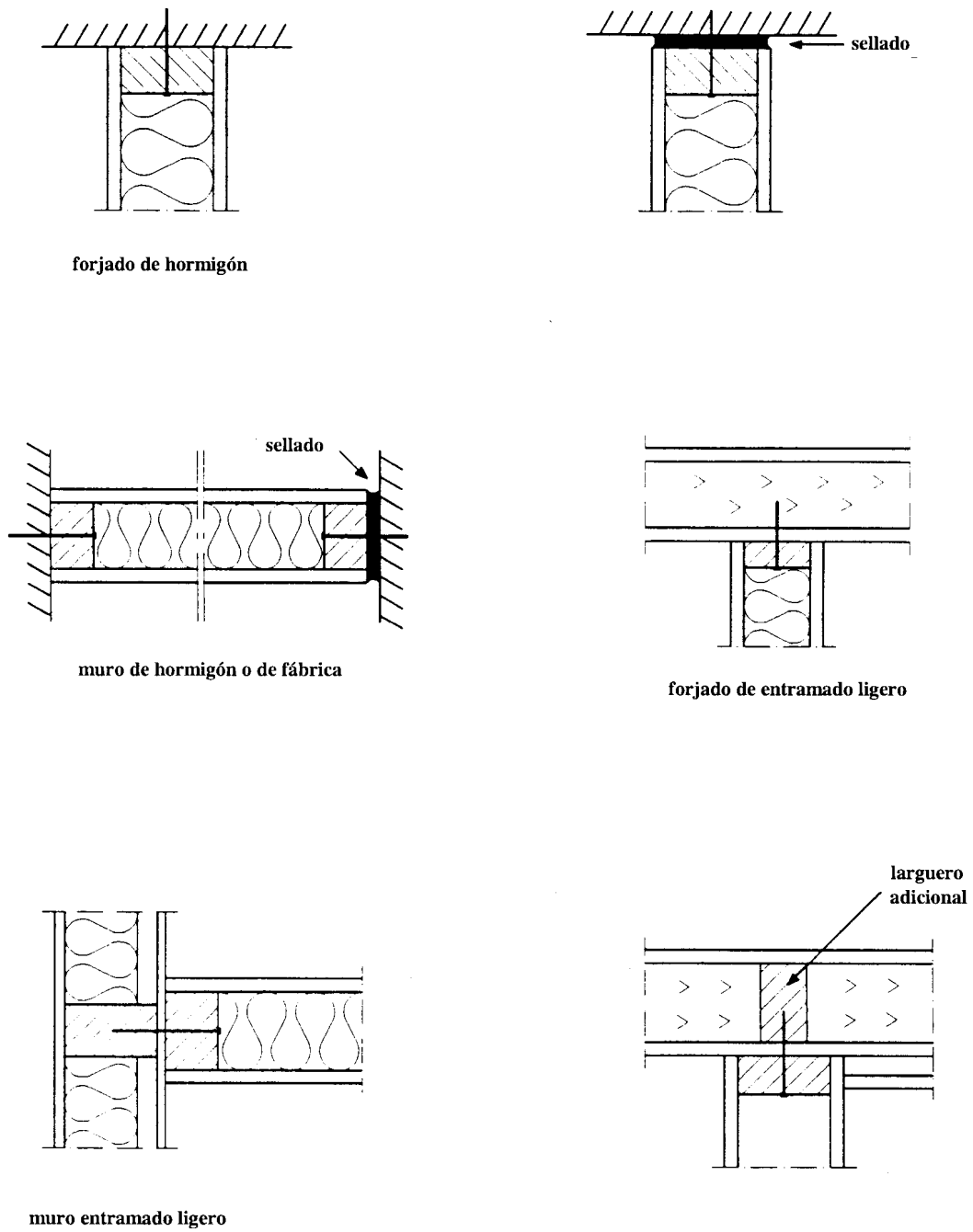


Fig. C.8 – Ejemplo de conexiones con los forjados y muros contiguos

## ANEXO D (Informativo)

## EXPOSICIÓN PARAMÉTRICA AL FUEGO

## D.1 Generalidades

- (1) Este anexo trata sobre la exposición paramétrica al fuego de acuerdo con el método del factor de abertura.

## D.2 Velocidades y profundidades de carbonización

- (1) En maderas de coníferas debería utilizarse la relación entre la velocidad de carbonización y el tiempo  $t$  expresada en la figura D.1,

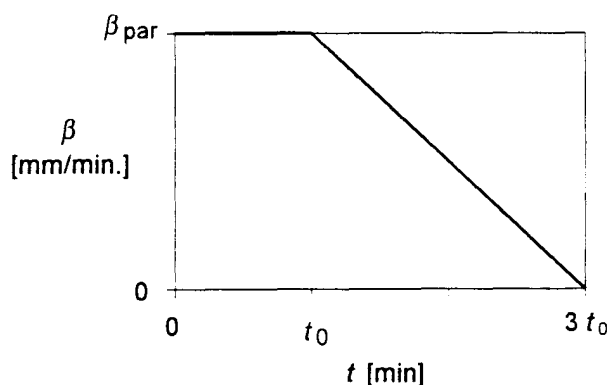


Fig. D.1 – Relación entre la velocidad de carbonización y el tiempo

donde la velocidad de carbonización inicial  $\beta_{\text{par}}$  para la exposición paramétrica al fuego viene dada por la siguiente expresión

$$\beta_{\text{par}} = 1,5 \beta_0 \frac{5 F - 0,04}{4 F + 0,08} \quad (\text{D.1})$$

con

$$F = \frac{A}{A_t} \sqrt{h} \quad [\text{m}^{\frac{1}{2}}] \quad (\text{D.2})$$

$$h = \frac{\sum_i A_i h_i}{A} \quad (\text{D.3})$$

con la velocidad de carbonización  $\beta_0$  obtenida de la tabla 3.1 y

donde

- $A$  es el área total de las aberturas verticales (ventanas, etc.) en  $\text{m}^2$ ;
- $A_t$  es el área total de los forjados, muros y falsos techos que encierran el sector de incendios en  $\text{m}^2$ ;
- $h$  es la media ponderada de las alturas de todas las aberturas verticales (ventanas, etc.) en metros;
- $A_i$  es el área de la abertura vertical “i”;
- $h_i$  es la altura de la abertura vertical “i”.



- (2) La profundidad de carbonización máxima durante la exposición al fuego y el siguiente periodo de enfriamiento debería tomarse como

$$d_{\text{char}} = 2 \beta_{\text{par}} t_0 \quad (\text{D.4})$$

con

$$t_0 = 0,006 \frac{q_{\text{t,d}}}{F} \text{ [mín.]} \quad (\text{D.5})$$

donde

$q_{\text{t,d}}$  es la densidad de carga de fuego de cálculo relativa al área total de los forjados, muros y falsos techos que encierran el sector de incendios en MJ/m<sup>2</sup>.

Las ecuaciones (D.1), (D.4) y (D.5) sólo deberían utilizarse para valores de  $F$  comprendidos entre 0,02 y 0,30 m<sup>1/2</sup> y para:

$$t_0 \leq 40 \text{ min}$$

$$d_{\text{char}} \leq \frac{b}{4}$$

$$d_{\text{char}} \leq \frac{h_{\text{n}}}{4}$$

donde  $b$  y  $h$  son el ancho y el canto de la sección transversal.

### D.3 Capacidad de carga de elementos sometidos a flexión de canto

- (1) En los elementos sometidos a flexión de canto con una anchura inicial  $b$  de al menos 130 mm la capacidad de carga mínima durante la prueba completa al fuego puede calcularse utilizando la sección residual. La sección residual del elemento debería calcularse reduciendo la sección inicial en la profundidad carbonizada de acuerdo con la ecuación (D.4).
- (2) En madera de coníferas la resistencia de cálculo  $f_{\text{d, fi}}$  y el módulo de elasticidad  $E_{\text{d, fi}}$  de la sección residual deberían tomarse de acuerdo con las ecuaciones (2.1) y (2.2) en las que  $k_{\text{mod, fi}}$  debería obtenerse de la expresión siguiente:

$$k_{\text{mod, fi}} = 1,0 - 3,2 \frac{d_{\text{char}}}{b} \quad (\text{D.6})$$

donde  $b$  es la anchura del elemento.

## ANEXO E (Informativo)

## PROPIEDADES TÉRMICAS

- (1) La conductividad térmica de la madera y de los materiales derivados de la madera depende de la temperatura, densidad y contenido de humedad. Como aproximación, pueden utilizarse los valores siguientes, válidos para una temperatura de 20 °C y para un flujo de calor perpendicular a la fibra:

$$\lambda_0 = 0,13 \text{ W/m/K} \quad \text{para coníferas}$$

$$\lambda_0 = 0,19 \text{ W/m/K} \quad \text{para frondosas}$$

$$\lambda_0 = 0,10 \text{ W/m/K} \quad \text{para la capa carbonizada}$$

- (2) La influencia de la densidad y del contenido de humedad en la conductividad térmica puede evaluarse a partir de la expresión siguiente:

$$\lambda_0 = [237 + 0,02 \rho_0 (1 + 2 \omega)] \times 10^{-4} \quad (\text{E.1})$$

donde

$\rho_0$  es la densidad anhidra de la madera en kg/m<sup>3</sup>;

$\omega$  es el contenido de humedad expresado en % de madera anhidra.

La ecuación (E.1) puede emplearse para valores de  $\rho_0$  comprendidos entre 300 kg/m<sup>3</sup> y 800 kg/m<sup>3</sup> y para valores de  $\omega$  no superiores al 40%.

- (3) La influencia de la temperatura en el intervalo comprendido entre +20 y +100 °C puede tomarse como

$$\lambda = \lambda_0 \left[ 1 + (1,1 - 9,8 \times 10^{-4} \rho) \frac{\Theta_w - 20}{100} \right] \quad (\text{E.2})$$

donde

$\lambda_0$  es la conductividad térmica de acuerdo con la ecuación (E.1);

$\rho$  es la densidad de la madera incluyendo la humedad a la temperatura de 20 °C en kg/m<sup>3</sup>.

- (4) El calor específico  $c$  de la madera de coníferas puede obtenerse de la expresión siguiente:

$$c = \frac{c_{\text{seco}} + \omega c_{\text{agua}}}{1 + \omega} \quad \text{para } \Theta_w \leq 100 \text{ °C} \quad (\text{E.3})$$

$$c = c_{\text{seco}} \quad \text{para } \Theta_w > 100 \text{ °C}$$

donde el calor específico de la madera anhidra es

$$c_{\text{seco}} = 1\,110 + 4,2 \Theta_w \quad (\text{E.4})$$

y el calor específico del agua es

$$c_{\text{agua}} = 4\,200 \frac{\text{J}}{\text{kg K}}$$

- (5) Para la capa carbonizada el calor específico puede tomarse de la tabla E.1. Para la determinación de valores intermedios puede aplicarse una interpolación lineal.

**Tabla E.1**  
**Calor específico de la capa carbonizada**

<b>Temperatura <math>\Theta</math></b> <b>°C</b>	<b>Calor específico <math>c</math></b> <b>J/kg/K</b>
400	1 000
600	1 400
800	1 650



## ANEXO NACIONAL

Las normas que se relacionan a continuación, citadas en esta norma europea, han sido incorporadas al cuerpo normativo UNE con los siguientes códigos:

<b>Normas Europeas</b>	<b>Normas UNE</b>
EN 301:1992	UNE-EN 301:1994
EN 309:1992	UNE-EN 309:1994
EN 316:1992	UNE-EN 316:1994
EN 313-1:1996	UNE-EN 313-1:1996
EN 338:1995	UNE-EN 338:1995
EN 300:1997	UNE-EN 300:1997

<b>Proyectos de norma europeos</b>	<b>Normas UNE</b>
prEN 520	UNE 102023:1993

---

---

**AENOR** Asociación Española de  
Normalización y Certificación

Dirección C Génova, 6  
28004 MADRID-España

Teléfono 91 432 60 00

Fax 91 310 40 32

AENOR AUTORIZA EL USO DE ESTE DOCUMENTO A UNIVERSIDAD POLITECNICA MADRID