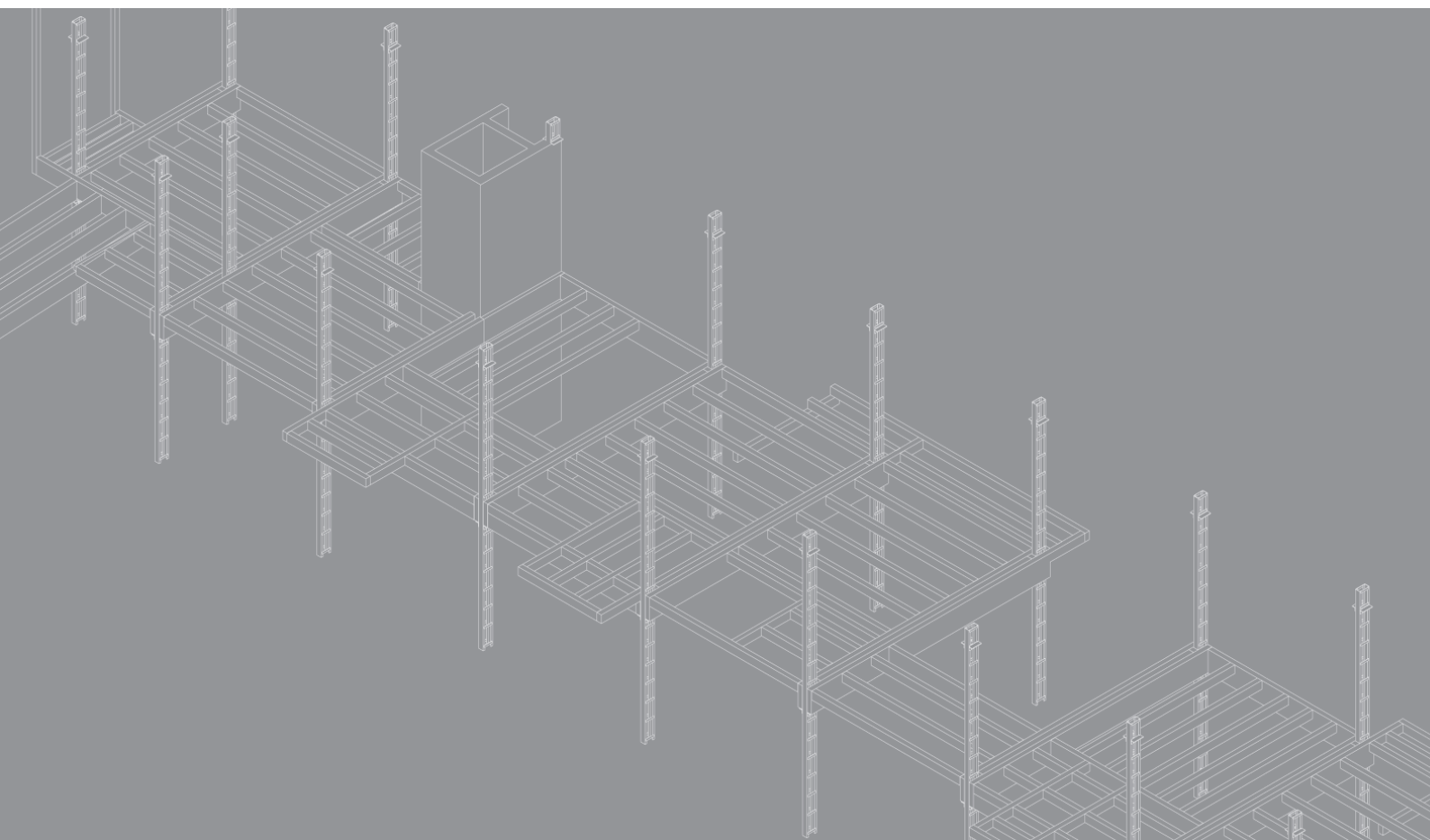


Capítulo 3

Comportamiento frente al fuego

Documento de aplicación del CTE



GUÍA DE CONSTRUIR CON MADERA



Edición:

Construir con Madera (CcM)

CcM es una iniciativa de la Confederación Española de Empresarios de la Madera (CONFEMADERA) en el marco del programa Roadmap2010, que cuenta con la financiación y apoyo de promotores públicos y privados.

CONFEMADERA

C/ Recoletos 13; 1º dcha
28001 Madrid
Tfno 915944404

www.confemadera.es

Autor:

LUIS VEGA CATALÁN
MARIANA LLINARES CERVERA
CARLOS VILLAGRÁ FERNÁNDEZ
VIRGINIA GALLEGO GUINEA
BEATRIZ GONZÁLEZ RODRIGO

También han colaborado: Pablo Anaya Gil, Teresa Carrascal García, Belén Casla Herguedas, Germán de Diego Aguado, Elena Frías López, María Jesús Gavira Galocha, Sonia García Ortega, Daniel Jiménez González, Juan Queipo de Llano Moya, Pilar Linares Alemparte, Fernando Martín-Consuegra Ávila, Amelia Romero Fernández, Virginia Sánchez Ramos, José Antonio Tenorio Ríos.

Dirección y coordinación:

JUAN I. FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO
Centro de Investigación Forestal (CIFOR-INIA)
Ministerio de Ciencia e Innovación

MARTA CONDE GARCÍA
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes
Universidad de Córdoba

LUIS VEGA CATALÁN Y JUAN QUEIPO DE LLANO MOYA
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
Unidad de Calidad en la Construcción
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)
Ministerio de Ciencia e Innovación

Créditos fotográficos:

Dibujo de portada: CARLOS ASENSIO GALVÍN
Dibujos y esquemas: los autores

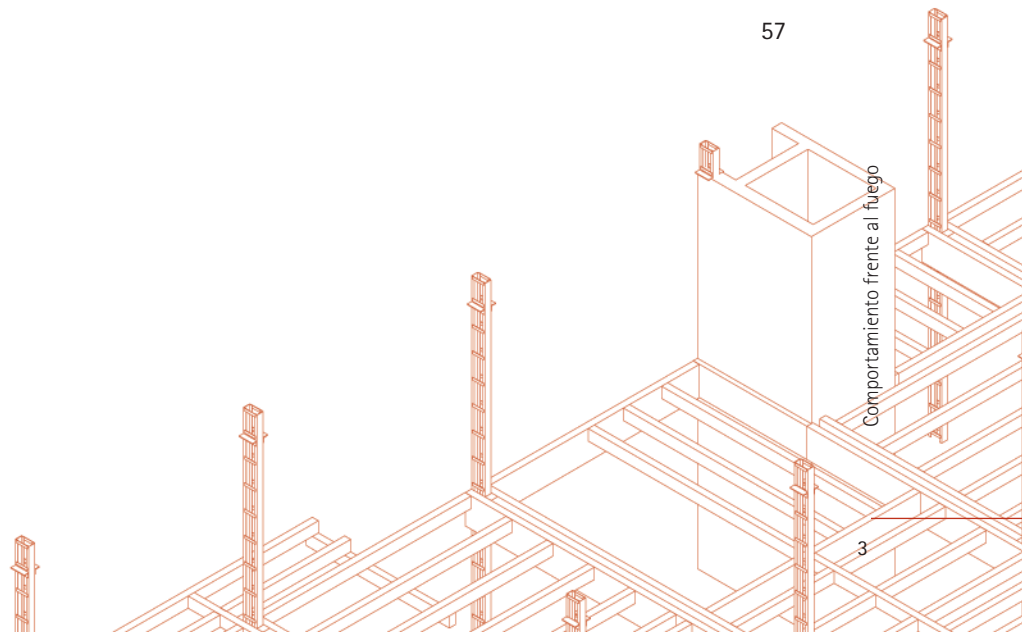
ISBN: 978 84 693 1290 2
Depósito legal: M-17441-2010

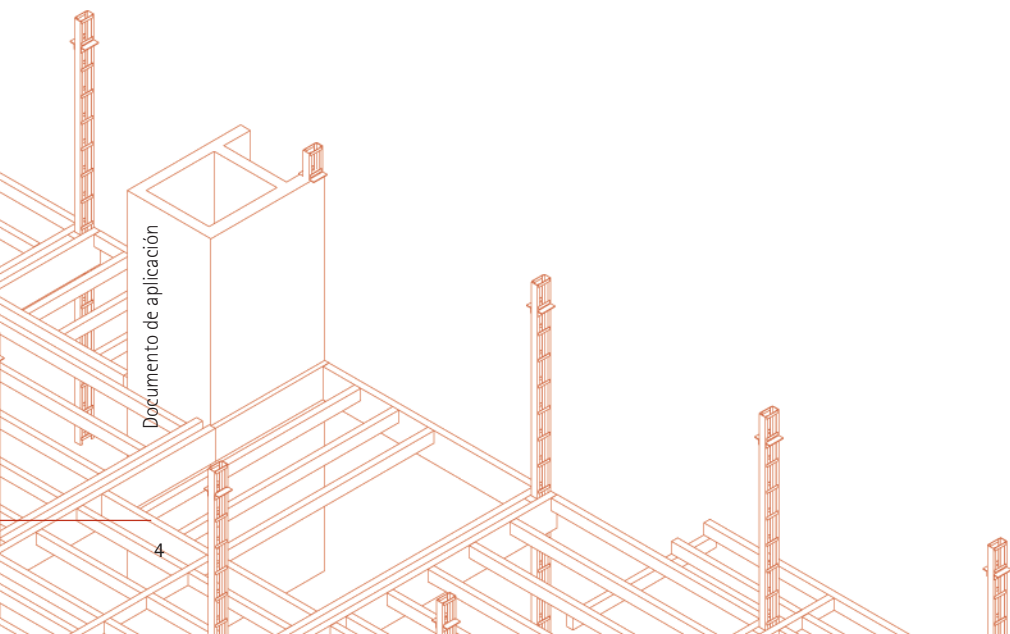
Derechos de la edición: CONFEMADERA
© de los textos: IETcc

Con la financiación del

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. CONCEPTOS GENERALES. LA ACCIÓN DE INCENDIO	7
2.1. Incendio real	7
2.2. Modelos de incendio	8
2.3. Comportamiento de la madera	10
3. REGLAMENTACIÓN	13
3.1. Criterios de clasificación de reacción y resistencia al fuego	13
3.2. Exigencias del CTE	16
4. REACCIÓN AL FUEGO DE LA MADERA	23
4.1. Características de la madera sin tratar	23
4.2. Ignifugación de la madera	29
5. RESISTENCIA AL FUEGO DE LA MADERA. COMPARTIMENTACIÓN	33
5.1. Generalidades. Tiempo de aislamiento requerido	33
5.2. Tiempo de aislamiento básico	33
5.3. Coeficiente de posición	34
5.4. Coeficiente de junta	36
6. RESISTENCIA AL FUEGO DE LA MADERA. CAPACIDAD PORTANTE	39
6.1. Generalidades	39
6.2. Efecto de las acciones	39
6.3. Capacidad resistente	40
7. EJEMPLOS	51
7.1. Viga sin protección	51
7.2. Viga protegida	52
7.3. Soporte	53
7.4. Entramados	55
7.5. Sectorización	57





1. INTRODUCCIÓN

En la presente publicación se exponen conceptos fundamentales relacionados con el requisito básico de seguridad en caso de incendio establecido por el CTE, los cuales constituyen una herramienta básica para la utilización de la madera como material de construcción.

Estructurada en capítulos y acompañada por un ejemplo práctico, esta publicación refiere, por un lado, las condiciones que toda solución constructiva debe cumplir según la reglamentación de seguridad en caso de incendio aplicable, tanto si se trata de un material de revestimiento, de un elemento de compartimentación o de un elemento estructural.

Por otro lado, se abordan aspectos tales como la acción de incendio o las características de comportamiento frente al fuego de la madera, reacción y resistencia al fuego, así como la definición de métodos de verificación del comportamiento de elementos constructivos fabricados con materiales de madera o productos derivados de la misma.

Para valorar el comportamiento en caso de incendio de un determinado sistema o elemento constructivo integrado en la edificación, constituido en su totalidad o en parte por un material como la madera, resulta insuficiente considerar únicamente su combustibilidad, siendo mucho más apropiado analizar su comportamiento de forma más global.

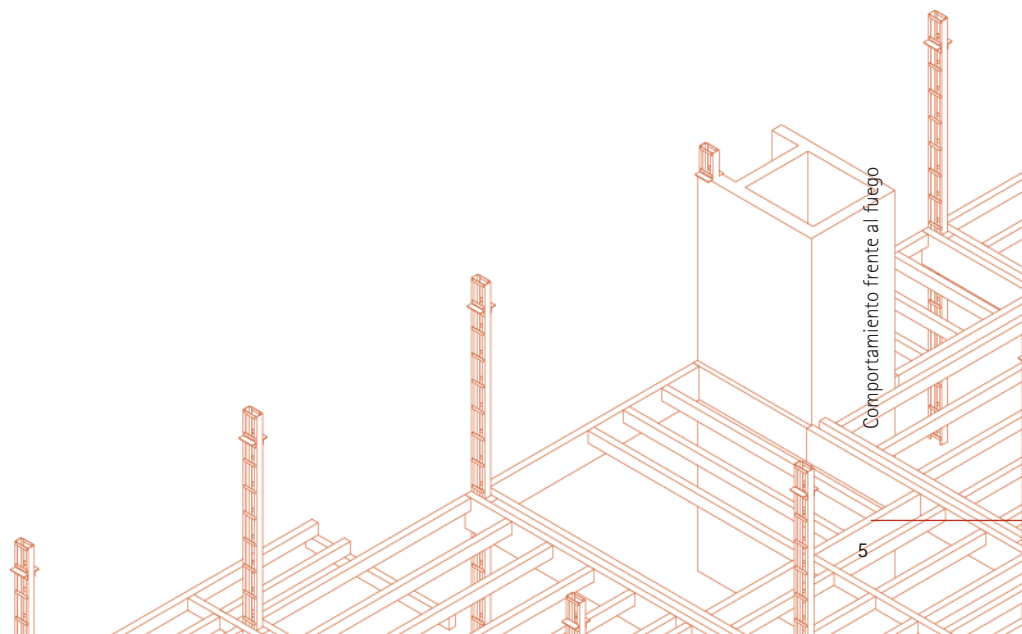
Uno de los objetivos principales de esta guía es clarificar que, a pesar de la combustibilidad de la madera, pueden plantearse soluciones constructivas con este material que permitan alcanzar condiciones suficientes de seguridad en caso de incendio.

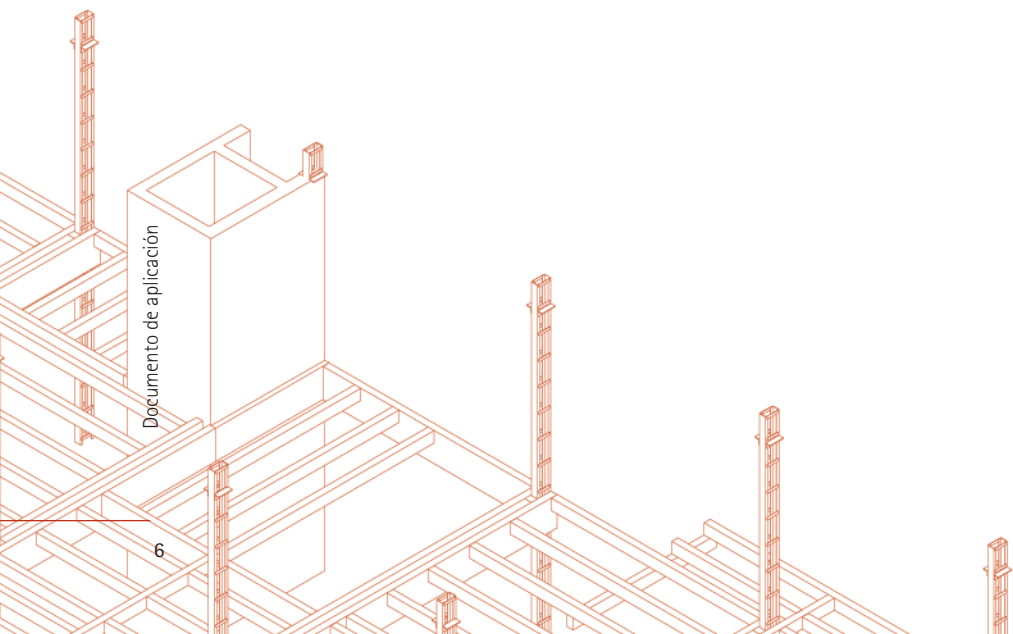
En lo que respecta a la reacción al fuego de la madera, ésta es más favorable en elementos con espesores mayores y de densidad alta. Existen, además, sistemas de ignifugación, en profundidad o superficial, mediante los cuales puede retrasarse el proceso de combustión, mejorando así el comportamiento frente al fuego de la madera.

En cuanto a la resistencia al fuego, se destaca que cuando un elemento constructivo de madera se encuentra expuesto a un incendio, se genera en su superficie una capa carbonizada que aporta protección como aislante a las capas interiores. Esta característica hace que la pérdida de capacidad portante del elemento se deba, principalmente, a la reducción de su sección y no tanto al deterioro de las propiedades del material.

Los elementos constructivos de madera pueden asimismo protegerse con otros materiales con mejor comportamiento frente al fuego, como es el caso del yeso, lo que aumenta la resistencia al fuego del sistema y puede retardar el desarrollo y propagación de un posible incendio. Como ejemplo, una solución muy habitual es la de proteger un sistema de entramado de madera mediante placas de yeso laminado.

Como conclusión, un edificio construido con madera puede tener un buen comportamiento frente al fuego si se consideran, de forma integrada, tanto las características de reacción de los materiales utilizados como las de resistencia de los elementos constructivos. Estos aspectos deberán tenerse en cuenta, desde el análisis del diseño en la fase de proyecto hasta el control de la ejecución en la puesta en obra, con objeto de limitar tanto la contribución al fuego de los acabados utilizados como de controlar el tamaño de un posible incendio.





Documento de aplicación

2. CONCEPTOS GENERALES. LA ACCIÓN DE INCENDIO

2.1. INCENDIO REAL

Habitualmente, en lo relativo a sus efectos térmicos, un incendio suele caracterizarse mediante curvas tiempo-temperatura (véase figura 2.1). En el caso de los incendios reales, la curva presenta normalmente cuatro fases diferenciadas, aunque son múltiples los parámetros que gobiernan el desarrollo de las temperaturas durante la evolución:

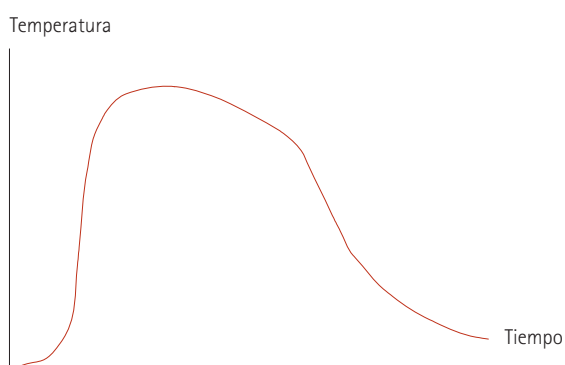


Figura 2.1. Curva tiempo-temperatura de un incendio real

• Fase de iniciación

En esta fase el fuego se encuentra en estado latente, a muy baja temperatura. La rapidez con que se inicia un incendio depende principalmente de factores como el tipo de material combustible presente en el recinto, así como de su distribución, de la ventilación del recinto y de la fuente de calor.

• Fase de crecimiento

Durante esta fase, aunque inicialmente todavía localizado, el fuego se va avivando. A través de la radiación o del contacto directo de las llamas con otros materiales presentes en el recinto, el incendio comienza a propagarse con mayor o menor rapidez en función de factores como el tipo y distribución del combustible o el nivel de ventilación del recinto.

La propagación de las llamas, la velocidad de liberación del calor y la generación de humo de los materiales com-

bustibles son cada vez mayores, hasta dar paso a la fase siguiente de pleno desarrollo del incendio.

Dentro de la fase de crecimiento existe un punto característico denominado "flashover", que consiste en un intervalo muy corto de tiempo en el que se produce la transición de un fuego localizado a la combustión simultánea de todas las superficies combustibles expuestas en un recinto. En ese corto intervalo de tiempo se experimenta un crecimiento brusco de las temperaturas, dando lugar a una situación que se conoce como fuego totalmente desarrollado.

La estrategia de protección contra incendios relacionada con estas fases iniciales del incendio consiste en limitar el desarrollo del incendio de modo que éste no adquiera grandes proporciones y, como consecuencia, se alcance la fase de pleno desarrollo. En la actualidad, en la reglamentación estatal (Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio del Código Técnico de la Edificación; en adelante, DB SI) se limita tanto la contribución al incendio y la inflamabilidad de los materiales de construcción como su capacidad de desprender humo o partículas de material incandescentes cuando dichos materiales arden. Estos factores determinarán su clasificación de reacción al fuego. En determinados casos, también se establece la introducción de medidas activas de protección contra incendios que impidan que un fuego llegue a la fase de pleno desarrollo.

En el apartado 3, Reglamentación, del presente documento se detalla en qué consiste dicha clasificación, así como las condiciones que deben cumplir los materiales de revestimiento de techos, paredes y suelos en los edificios.

En cuanto a las fuentes de calor susceptibles de originar un incendio, la ventilación de los recintos o la distribución del material combustible (carga variable) en su interior, no se especifica ninguna limitación en el DB SI, pero son factores que deben tenerse en cuenta a la hora de aportar soluciones basadas en prestaciones que difieran de las validadas explícitamente por el DB SI.

Si bien las fases previas al *flashover* tienen mucha importancia desde el punto de vista de la evacuación o de la facilidad para controlar el incendio, desde el punto de vista de capacidad portante de la estructura lo importante son las fases posteriores al citado punto de *flashover*, en las cuales se alcanzan temperaturas que sí afectan al

comportamiento de la misma. Por ello, habitualmente, los modelos de curva tiempo-temperatura utilizados en el proyecto de estructuras obvian estas fases previas.

• Fase de pleno desarrollo

Una vez alcanzado el *flashover*, el incendio ocupa todo el recinto, y su duración hasta alcanzar una temperatura máxima depende de la carga de fuego, la ventilación, la capacidad de disipación de calor a través de la epidermis y la velocidad de liberación de calor. Estos son, de hecho, los parámetros que se tienen en cuenta para la representación de las curvas paramétricas tiempo-temperatura, que suelen utilizarse como modelo simplificado de un fuego real.

• Fase de decaimiento o enfriamiento

Una vez alcanzada la temperatura máxima del incendio, ésta empieza a decrecer, bien sea por la consumición del combustible, o bien por falta de ventilación.

Durante esta fase la estructura todavía puede verse afectada por un incremento de la temperatura en su interior, debido a la inercia térmica del material. Es decir, todavía puede pasar un intervalo de tiempo hasta que la estructura empiece a enfriarse.

En relación con estas dos últimas fases de un fuego real, la estrategia de protección contra incendios a adoptar tiene objetivos distintos a los comentados para las fases anteriores al *flashover*: limitar o acotar las dimensiones del incendio, así como proteger la estructura para que no se produzca un colapso que pueda ocasionar daños personales o comprometer la evacuación, la compartimentación o la estabilidad global del edificio. Para ello, en el DB SI se limita el tamaño de los sectores de incendio y, por consiguiente, el de un posible incendio, y se exige una determinada resistencia al fuego de los elementos constructivos que los delimitan (aislamiento e integridad) así como una resistencia al fuego mínima de la estructura del edificio (capacidad portante). No establece, en cambio, que deba evaluarse la capacidad portante residual de la estructura.

Dichas medidas se establecen en función del uso del sector de incendio considerado, lo cual está relacionado con la carga de fuego, y de la altura de evacuación del edificio, que tiene que ver con las consecuencias posibles de un incendio.

En el DB SI no se limita el grado de ventilación de los recintos o los sectores de incendio ni la velocidad de liberación de calor de los materiales combustibles aunque, en cierto modo, podría considerarse que dichos factores estén

de algún modo relacionados con el uso al que se destina el sector de incendio considerado. Tampoco se dan condiciones de características térmicas que deba cumplir la envolvente de un sector. Sin embargo, todos estos factores deberían tenerse en cuenta a la hora de aportar soluciones basadas en prestaciones alternativas a las validadas explícitamente por el DB SI.

2.2. MODELOS DE INCENDIO

Con el fin de analizar el comportamiento de un elemento constructivo en caso de incendio, es necesario, en primer lugar, establecer un modelo matemático que simplifique la acción real del incendio. Este modelo debe permitir obtener la evolución de la temperatura ambiente en un sector con respecto al tiempo. Posteriormente, a partir de estos datos, se calculará la transferencia de calor al elemento y la evolución del calor hacia el interior de su sección, dependiendo de la naturaleza del material que lo constituya, así como de si tiene o no algún tipo de protección contra el fuego.

En el DB SI, manteniendo lo que se decía en la antigua NBE-CPI/96, como en general en muchos códigos prescriptivos, el requisito de resistencia al fuego suficiente de los elementos constructivos se expresa como el tiempo que deben ser capaces de soportar esos elementos en un incendio definido por una temperatura en un sector dada por la curva de fuego normalizada, que tiene la expresión (véase figura 2.2):

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1)$$

donde:

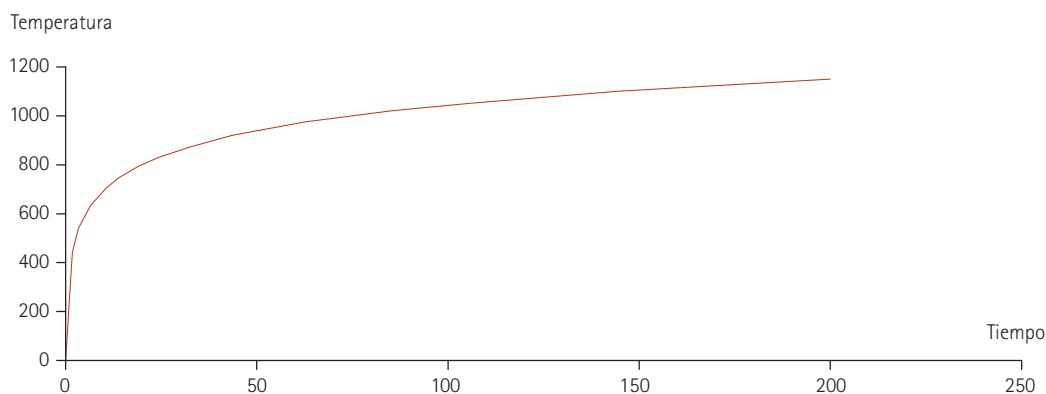
θ_g es la temperatura del aire en el sector [°C]

t es el tiempo desde la iniciación del incendio [min]

Es decir, es una curva que da la temperatura en el sector como función monótona creciente del tiempo exclusivamente. El tiempo durante el cual los elementos constructivos deben soportar el incendio viene definido, únicamente, por el uso del sector considerado y la altura de evacuación del edificio (véase tabla 3.2 del apartado 3 Reglamentación).

La universalidad y la larga experiencia en la aplicación de este modelo han dado lugar a una amplia base de datos (valores tabulados tanto de las temperaturas en el interior de las secciones de elementos estructurales como de la capacidad portante final de dichos elementos, para distintos materiales, secciones y tiempos de exposición),

Figura 2.2. Curva normalizada tiempo-temperatura



así como a métodos simplificados para determinar la resistencia de determinados elementos constructivos ante la acción representada por la curva normalizada tiempo-temperatura.

Sin embargo, como en cualquier método prescriptivo, no se deja flexibilidad alguna al proyectista para modificar esa exigencia variando alguno de los requisitos (por ejemplo, con el uso de medidas activas o condiciones de los sectores de incendio).

Por otro lado, como se ha explicado en el apartado anterior, la evolución de la temperatura en un incendio real no es igual en todos los casos, sino que depende de numerosos factores y, evidentemente, la temperatura no es siempre creciente en el tiempo.

Para modelar de una forma más ajustada los incendios teniendo en cuenta estas características, en la UNE EN 1991-1-2 (Eurocódigo 1, parte 1-2) se establecen los modelos de fuego natural, que se aproximan más al fenómeno real de incendio, y permiten optimizar la relación de seguridad/coste de las medidas adoptadas. Estos modelos de fuego natural se clasifican en:

A. Modelos de incendio simplificados:

a. *Curvas paramétricas*: este modelo se acerca más al comportamiento de un incendio real que la curva normalizada. Tiene en cuenta los tres parámetros principales que influyen en el desarrollo de un incendio:

- densidad de carga de fuego;
- condiciones de ventilación;
- propiedades térmicas de la envolvente del sector.

Consideran la fase de enfriamiento del incendio, aunque no las fases iniciales de crecimiento lento de temperatura.

b. *Fuegos localizados*: cuando no es probable que todo el sector quede envuelto en llamas, deben tenerse en cuenta las acciones térmicas correspondientes a un fuego localizado.

B. Modelos de incendio avanzados:

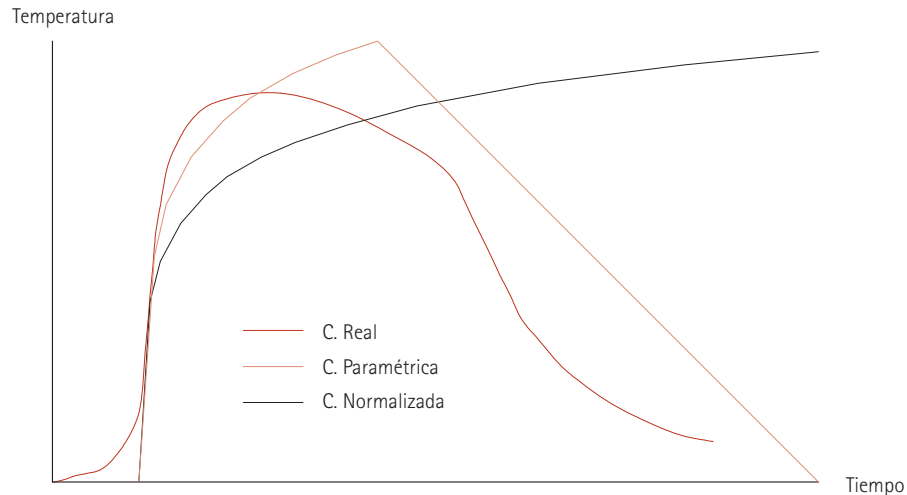
a. *Modelos de zona*: pueden ser de una zona (temperatura uniforme en el interior del sector) o de dos zonas (estratificación de la capa de humo originada desde un fuego localizado), y tienen en cuenta los parámetros principales que controlan la evolución del incendio.

b. *Modelos de campo*: sofisticadas herramientas numéricas basadas en la dinámica de fluidos computacional (CFD) que permiten el estudio de geometrías complejas. Incluyen fenómenos de turbulencia, de transporte de masa y energía, así como muchas otras variables que influyen en el desarrollo de un incendio.

En el caso de los modelos avanzados, el planteamiento de las condiciones de partida y de los escenarios seleccionados es vital para la evaluación del riesgo de incendio. Sin embargo, dichas condiciones y escenarios no están bien definidos y se prestan a la decisión arbitraria por parte del proyectista.

Por otra parte, cuanto más simplificados son los modelos, menos se acercan al comportamiento real de un incendio y su campo de aplicación es también más limitado. En cambio, el uso de modelos tan complejos como los de campo puede resultar demasiado costoso, tanto en términos económicos como de tiempo.

Figura 2.3. Curvas de incendio real, paramétrica y normalizada superpuestas



En la figura 2.3 se representa una curva paramétrica, que supuestamente podría modelar la curva de incendio real superpuesta en la misma imagen, así como la curva de fuego normalizada general. Conviene destacar que las dos curvas modelo están desplazadas del inicio del incendio hasta que se inicia la *flashover*.

Los parámetros que se introducen en el modelo de curva paramétrica son fáciles de obtener de las características del proyecto y, por tanto, estas curvas pueden modelar, de forma sencilla y con suficiente aproximación, un fuego real en los casos más generales, con las limitaciones derivadas del campo de validez de las fórmulas.

El inconveniente que presenta la utilización de estas curvas u otros modelos más avanzados viene dado por la dificultad de emplearlos para establecer la capacidad resistente de un elemento: es necesario un cálculo complejo, salvo casos elementales, aplicando métodos de elementos finitos, o similares, que evalúe el incremento de temperatura en la sección con el tiempo y su efecto en la resistencia; o realizar ensayos particularizados para el elemento y la curva de fuego.

Por último, el DB SI aporta métodos simplificados de cálculo para determinar la resistencia al fuego de un elemento estructural ante la acción representada por la curva normalizada tiempo-temperatura. Igualmente, el documento permite evaluar el comportamiento de una estructura, de parte de ella o de un elemento estructural mediante la realización de los ensayos que establece el Real

Decreto 312/2005, de 18 de marzo¹, los cuales también se basan en la acción representada por la curva normalizada tiempo-temperatura. En este último caso, cabe subrayar que tanto la muestra como las condiciones de ensayo deben ser representativas de las condiciones de utilización final, y para ello deben tenerse en cuenta las limitaciones que presentan los hornos de ensayo (dimensiones, aplicación de la carga...).

2.3 COMPORTAMIENTO DE LA MADERA

Cuando la madera se expone a un foco de calor, su contenido de humedad disminuye en la zona directamente afectada al alcanzarse el punto de ebullición del agua. Este hecho es detectable por la sudoración que aparece en su superficie. Si el aporte de calor se mantiene hasta llegar a una temperatura aproximada de 270 °C, comienza el desprendimiento de vapores que, en caso de seguir aumentando la temperatura, son susceptibles de arder. Este proceso, llamado pirólisis de la madera, produce su descomposición en gases según las temperaturas alcanzadas.

La madera y sus productos derivados están formados, principalmente, por celulosa y lignina, que, al ser compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, hacen de ella un material combustible. A pesar de su combustibilidad, si la madera no se somete a llama directa, ésta no comenzará a arder hasta que no alcance aproximadamente los 400 °C. Aun siendo expuesta a llama directa, no se producirá la ignición hasta que no llegue a temperaturas en torno a los 300 °C.

Puede considerarse que la madera presenta un buen comportamiento sometida a un incendio en fase de pleno desarrollo debido a que su conductividad térmica es muy baja. Esto lleva a que la combustión, alimentada por el oxígeno, se desarrolle únicamente en la superficie de la pieza.

Tras la combustión de la superficie se origina una capa exterior carbonizada, que protege a otra capa interior contigua en la que se produce la pirólisis. Por último, en el interior de la pieza, queda la madera sin afectar por el fuego (ver figura 2.4).

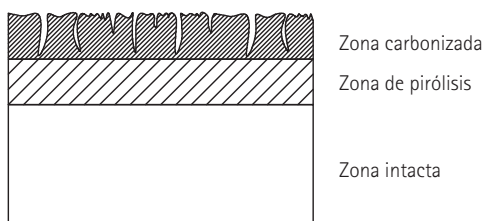


Figura 2.4. Cambios en la madera por la acción del fuego

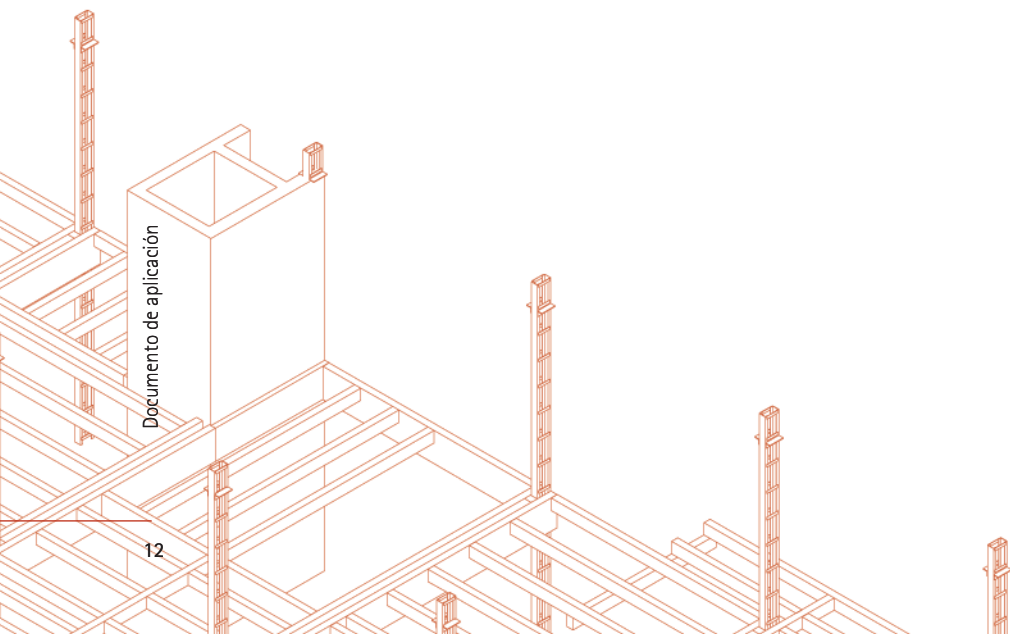
La alta capacidad aislante de la capa carbonizada, del orden de unas seis veces superior a la de la madera a temperatura ambiente, permite que el interior de la pieza se mantenga a una temperatura mucho menor y con sus propiedades físico-mecánicas constantes. Así, la pérdida de capacidad portante del elemento se debe, principalmente,

a la reducción de su sección y no tanto al deterioro de las propiedades del material.

El comportamiento de la madera en caso de incendio puede variar dependiendo de factores como los que se apuntan a continuación:

- La relación entre la superficie y el volumen de la pieza. Las secciones estrechas y con aristas vivas aumentan esta relación, conduciendo a un comportamiento frente al fuego menos favorable. Por ejemplo, en piezas de pequeña escuadría resulta más fácil la ignición y la propagación de la llama.
- La existencia de fendas. Las hendiduras en el sentido de las fibras de la madera incrementan los efectos del fuego. La madera laminada, que apenas contiene fendas, presenta una velocidad de carbonización menor que la madera maciza.
- La densidad de la madera. Las diferentes especies de madera se comportan frente al fuego de forma diferente en función de su densidad. Si la densidad es alta, comienza a arder con menos facilidad y la combustión es más lenta.
- El contenido de humedad. En edificación, la mayoría de las estructuras de madera presentan un contenido de humedad que varía entre el 8% y el 15% aproximadamente, lo que implica que por cada tonelada de madera deben evaporarse entre 80 y 150 Kg de agua antes de que entre en combustión. No obstante, este factor no se considera en la velocidad de carbonización debido a la poca variación del contenido de humedad que se da en la práctica.

¹ Real Decreto 312/2005, de 18 de marzo, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego.



Documento de aplicación

3. REGLAMENTACIÓN

3.1. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE REACCIÓN Y RESISTENCIA AL FUEGO

Como se ha visto en el apartado 2, Conceptos Generales, las fases iniciales de un incendio están relacionadas con la reacción al fuego del material combustible presente en el recinto o sector considerado, mientras que las fases posteriores al *flashover* lo están con la resistencia al fuego de la estructura.

La reacción al fuego depende, a su vez, de muchos aspectos físicos que condicionan la evolución de un incendio, lo cual repercute, en el caso de las estructuras de madera, en su resistencia al fuego. En cierto modo, puede considerarse que ambos aspectos (reacción y resistencia) están relacionados cuando se trata de estructuras de madera, aunque todavía no haya podido cuantificarse dicha relación.

Con la entrada en vigor del RD 312/2005, de 18 de marzo, se establecen ya en el DB SI las condiciones de reacción y de resistencia al fuego de los elementos constructivos conforme a las nuevas clasificaciones europeas y normas de ensayo que allí se indican, que sustituyen a las clasificaciones españolas. Este Real Decreto se modifica y completa posteriormente mediante el RD 110/2008, de 1 de febrero.

Los criterios para la clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación se definen en la norma UNE-EN 13501, partes 1 y 2 para reacción y resistencia al fuego respectivamente.

3.1.1. Reacción al fuego

La norma UNE EN 13501-1:2002 especifica criterios de clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego. Los métodos de ensayo aplicables a los productos de madera o derivados de ella se citan a continuación:

UNE EN 13823:2002. Ensayo de un único objeto ardiendo (Single Burning Item, SBI): este ensayo evalúa la contribución potencial de un producto al desarrollo de un incendio, bajo una situación de fuego que simula un único objeto ardiendo en una esquina de una habitación cerca del producto a clasificar. El ensayo es adecuado para las clases A2, B, C y D.

UNE EN ISO 11925-2:2002. Ensayo de inflamabilidad: mediante este ensayo se valora la inflamabilidad de un producto expuesto a una llama pequeña. El ensayo de inflamabilidad es pertinente para las clases B, C, D, E, B_{fl}, C_{fl}, D_{fl} y E_{fl}.

UNE EN ISO 9239-1:2002. Determinación del comportamiento de revestimientos de suelo mediante una fuente de calor radiante: se evalúa el flujo radiante crítico bajo el cual no se propagan las llamas sobre una superficie horizontal. Este ensayo es apropiado para las clases A2_{fl}, B_{fl}, C_{fl} y D_{fl}.

UNE ENV 1187:2003 ensayo 1. Métodos de ensayo para cubiertas expuestas a fuego exterior: esta norma prevé tres métodos de ensayo distintos que responden a diferentes escenarios de riesgo de incendio. El ensayo 1, que es el que tiene vigencia en el territorio español, corresponde a la acción de una pavesa en llamas.

El proyectista no necesita tener un conocimiento exhaustivo del significado de cada una de estas clases, pero sí ser capaz de compararlas para reconocer si un material tiene mejor comportamiento que otro. El objetivo de este apartado es, por tanto, clarificar este aspecto y no reproducir la información del Real Decreto donde se definen dichas clases.

Clasificación general de reacción al fuego:

Hay siete **clases** de reacción al fuego para los productos de construcción, a excepción de los suelos, los productos lineales para aislamiento térmico de tuberías y los cables eléctricos: A1, A2, B, C, D, E, F. Estas clases representan un índice de la inflamabilidad del material y su contribución al fuego, de mejor a peor comportamiento al fuego en sentido creciente (véase figura 3.1). La clase F significa "sin determinación de propiedades", es decir, bien porque el material clasificado no cumpla ninguno de los requisitos que deben cumplir las demás clases, o bien porque no haya sido ensayado.

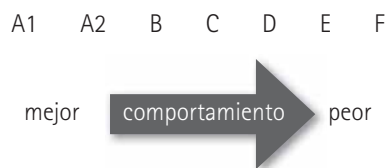


Figura 3.1. Clasificación general de reacción al fuego

Estas clases van en muchos casos (véase figura 3.2) acompañadas de dos subparámetros adicionales que dan información sobre la producción de humo y la caída de gotas o partículas inflamadas cuando arde el material durante el ensayo.

Clase	A1	A2	B	C	D	E	F
Humo							
Gotas							

Figura 3.2. Combinación de los parámetros

Los criterios para la clasificación del subparámetro de **producción de humo** son la velocidad de propagación del humo (SMOGRA) y la producción total del humo (TSP_{600s}). No se evalúa la toxicidad. La clasificación posible es la siguiente:

s1- Velocidad y cantidad de emisión bajas
($SMOGRA \leq 30m^2s^{-2}$ y $TSP_{600s} \leq 50m^2$);

s2- Velocidad y cantidad de emisión medias
($SMOGRA \leq 180m^2s^{-2}$ y $TSP_{600s} \leq 200m^2$);

s3- Velocidad y cantidad de emisión elevadas (ni s1 ni s2).

En el caso de la **caída de gotas o partículas inflamadas**, los criterios de clasificación son:

d0- sin caída de gotas y partículas inflamadas en 600s de ensayo SBI;

d1- sin caída de gotas y partículas inflamadas durante más de 10s en 600s de ensayo SBI;

d2- ni d0 ni d1.

Los materiales o productos deben clasificarse según sus condiciones de uso final. Esto quiere decir que un mismo material o producto puede tener varias clasificaciones, dependiendo de si está montado sobre distintos soportes, con diferentes sistemas de anclaje... Para su comparación, se admite que toda clase con índices iguales o más favorables que los de otra clase satisface las condiciones de ésta.

Clasificaciones específicas de reacción al fuego para determinadas familias de productos:

Para algunas familias de productos, como es el caso de los suelos, los productos lineales para el aislamiento térmico

de tuberías, y los cables eléctricos, se establecen clasificaciones específicas:

Suelos

Clase: $A1_{FL}, A2_{FL}, B_{FL}, C_{FL}, D_{FL}, E_{FL}, F_{FL}$

Humo: s1, s2

Clase	$A1_{FL}$	$A2_{FL}$	B_{FL}	C_{FL}	D_{FL}	E_{FL}	F_{FL}
Humo							

Figura 3.3. Combinación de los parámetros de clasificación de suelos

Productos lineales para aislamiento térmico de tuberías

Clase: $A1_L, A2_L, B_L, C_L, D_L, E_L, F_L$

Humo: s1, s2, s3

Gotas: d0, d1, d2

Clase	$A1_L$	$A2_L$	B_L	C_L	D_L	E_L	F_L
Humo							
Gotas							

Figura 3.4. Combinación de los parámetros de clasificación productos lineales de aislamiento térmico

Cables eléctricos

Clase: $A_{CA}, B1_{CA}, B2_{CA}, C_{CA}, F_{CA}$

Humo: s1, s1a, s1b, s2, s3

Gotas: d0, d1, d2

Acidez: a1, a2, a3

Clase	A_{CA}	$B1_{CA}$	$B2_{CA}$	C_{CA}	F_{CA}
Humo					
Gotas					
Acidez					

Figura 3.5. Combinación de los parámetros de clasificación de cables

Las definiciones de los parámetros y subparámetros establecidos para estas familias de productos difieren de las establecidas para la clasificación general, pero puede seguirse el mismo criterio de comparación entre dos materiales o productos de la misma familia expuesto anteriormente, según el cual se admite que toda clase con índices iguales o más favorables que los de otra clase satisface las condiciones de ésta.

Clasificación de las cubiertas o de los recubrimientos de cubiertas según su reacción ante un fuego exterior:

En el RD 110/2008, de 1 de febrero, se prevén cuatro métodos de ensayo para cubiertas, llamados ensayos 1, 2, 3 y 4, diferentes y no correlacionados entre sí, que responden a distintos escenarios de riesgo de incendio. Dado que no existe una correspondencia entre dichos métodos, no hay una jerarquía aceptada entre las clasificaciones y no es posible su comparación.

En el territorio español es aplicable únicamente el ensayo 1, que corresponde a la acción de una pavesa en llamas, y que puede dar lugar a las siguientes clases: $B_{ROOF}(t1)$ y $F_{ROOF}(t1)$. Esta última clase, igual que en la clasificación general, significa que el material o producto ensayado no presenta ningún comportamiento determinado, bien sea porque no cumple las condiciones que tienen que darse para que pueda clasificarse como $B_{ROOF}(t1)$, o bien porque no haga falta ensayarlo.

3.1.2. Resistencia al fuego

Conceptualmente, la nueva clasificación de resistencia al fuego no comporta un cambio tan sustancial como en el caso de la reacción al fuego, pero se produce un cambio tanto en la nomenclatura como en los métodos de ensayo.

Los parámetros de clasificación de resistencia al fuego están relacionados con la función que tienen los diferentes elementos constructivos en el conjunto del edificio (por ejemplo si son elementos sustentantes, separadores de sectores de incendio...).

Hay tres características principales del comportamiento de resistencia al fuego, que son:

R representa la capacidad portante de un elemento estructural, es decir, la capacidad de dicho elemento de soportar durante un período de tiempo y sin pérdida de la estabilidad estructural la exposición al fuego en una o más caras, bajo acciones mecánicas definidas;

E representa la integridad de un elemento constructivo con función separadora, es decir, la capacidad de no

dejar paso a llamas o gases calientes que puedan producir la ignición de la cara no expuesta al fuego del mismo o de cualquier material adyacente a esa superficie. El fallo del criterio de capacidad portante también se considera fallo de la integridad;

I representa el aislamiento de un elemento constructivo con función separadora, es decir, la capacidad de dicho elemento de soportar la exposición al fuego en un solo lado, de forma que no se supere una temperatura determinada en la cara no expuesta al fuego.

En el caso concreto de las puertas y cierres de huecos existen dos clases de aislamiento: I_1 e I_2 . Estas dos clases consisten en dos definiciones de aislamiento diferentes en función de la temperatura alcanzada en el marco de la puerta durante el ensayo, resultando la clase I_1 más estricta, de modo que cumplir I_1 implica cumplir I_2 , pero no al revés. La clase exigida en el DB SI es siempre la I_2 .

Estos parámetros van acompañados de un valor que es el período de tiempo en minutos durante el cual se mantienen los requisitos de comportamiento: 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 o 360.

Por otro lado, existen unas características adicionales opcionales que pueden evaluarse: radiación, aspectos mecánicos, aptitud de cierre automático y estanquidad frente al humo. La necesidad de efectuar la clasificación conforme a estas características opcionales depende de la reglamentación nacional y puede especificarse en ciertas condiciones y para determinados elementos.

Por ejemplo, las puertas resistentes al fuego deben llevar también un distintivo **C**, relativo a la calidad del cierre automático, que puede clasificarse con valores de 1 a 5. En el DB SI se exige siempre el valor 5, que es el más exigente y equivale a 200.000 ciclos de funcionamiento.

Las puertas resistentes al fuego no tienen Marcado CE pero sí sus componentes, que deben ensayarse conforme a las siguientes normas:

Sistemas de cierre automático:	UNE EN 1154:2003
Coordinación de puertas:	UNE EN 1158:2003
Retención electromagnética:	UNE EN 1155:2003
Apertura manilla/pulsador:	UNE EN 179:2003VC1
Apertura barra horizontal:	UNE EN 1125:2003VC1
Bisagras:	UNE EN 1935:2002
Cerraduras:	UNE EN 12209:2004

3.2. EXIGENCIAS DEL CTE

3.2.1. Reacción al fuego

Según se apunta en el apartado 2, Conceptos generales. *La acción de incendio*, en el DB SI se limitan la contribución al incendio y la inflamabilidad de los materiales de construcción, así como su capacidad para desprender humo o partículas incandescentes cuando el material arde. La clasificación de reacción al fuego de los materiales se determina mediante estos factores.

La reacción al fuego de los elementos constructivos debe satisfacer las condiciones que se establecen a continuación, según lo exigido en las secciones correspondientes del DB SI.

SI 1. Propagación interior

Exigencia: se limitará el riesgo de propagación del incendio por el interior del edificio.

Los elementos constructivos deben cumplir las condiciones de reacción al fuego que se establecen en la tabla 3.1. extraída del DB SI.

Se ha eliminado de esta tabla el "Uso Aparcamiento" por considerarse infrecuente el uso de la madera como revestimiento en este tipo de edificios.

SI 2. Propagación exterior

Exigencia: se limitará el riesgo de propagación del incendio por el exterior, tanto en el edificio considerado como a otros edificios.

Los materiales que ocupen más de un 10% del acabado exterior de fachadas y de las superficies interiores de las cámaras ventiladas tendrán una clasificación de reacción al fuego al menos B-s3, d2 hasta una altura de 3,5 m, como mínimo, en fachadas cuyo arranque inferior sea accesible al público y en toda la altura de la fachada cuando ésta exceda de 18 m, con independencia de dónde se encuentre su arranque.

Los materiales que ocupen más del 10% del revestimiento o acabado exterior de las zonas de cubierta situadas a menos de 5 m de distancia de la proyección vertical de cualquier zona de fachada, del mismo o de otro edificio, cuya resistencia al fuego no sea al menos EI 60, incluida la cara superior de los voladizos cuyo saliente exceda

Tabla 3.1. Clases de reacción al fuego de los elementos constructivos

Situación del elemento	Revestimientos ⁽¹⁾	
	De techos y paredes ^{(2) (3)}	De suelos ⁽²⁾
Zonas ocupables ⁽⁴⁾	C-s2,d0	E _{FL}
Pasillos y escaleras protegidos	B-s1,d0	C _{FL} -s1
Recintos de riesgo especial	B-s1,d0	B _{FL} -s1
Espacios ocultos no estancos: tales como patinillos, falsos techos y suelos elevados (excepto los existentes dentro de las viviendas), etc., o que, siendo estancos, contengan instalaciones susceptibles de iniciar o de propagar un incendios	B-s3,d0	B _{FL} -s2 ⁽⁵⁾

- (1) Siempre que superen el 5% de la superficie total del conjunto de las paredes, del conjunto de los techos o del conjunto de los suelos del recinto considerado.
- (2) Incluye las tuberías y conductos que transcurren por las zonas que se indican sin recubrimiento resistente al fuego. Cuando se trate de tuberías con aislamiento térmico lineal, la clase de reacción al fuego será la que se indica, pero incorporando el subíndice L.
- (3) Incluye aquellos materiales que constituyan una capa contenida en el interior del techo o pared y que no esté protegida por una capa que sea EI 30 como mínimo.
- (4) Incluye tanto las de permanencia de personas como las de circulación que no sean protegidas. Excluye el interior de viviendas. En *uso Hospitalario* se aplicarán las mismas condiciones que en *pasillos y escaleras protegidos*.
- (5) Se refiere a la parte inferior de la cavidad. Por ejemplo, en la cámara de los falsos techos se refiere al material situado en la cara superior de la membrana. En espacios con clara configuración vertical (por ejemplo, patinillos), así como cuando el falso techo esté constituido por una celosía, retícula o entramado abierto, con una función acústica, decorativa, etc., esta condición no es aplicable.

de 1 m, así como los lucernarios, claraboyas y cualquier otro elemento de iluminación o ventilación, deben pertenecer a la clase de reacción al fuego B_{ROOF} (t1).

3.2.2. Resistencia al fuego

Como ya se ha dicho en el apartado 2, Conceptos generales. La acción de incendio, en el DB SI el requisito de resistencia al fuego suficiente que deben cumplir los elementos constructivos se expresa como el tiempo que deben ser capaces de soportar esos elementos en un incendio, definido por una temperatura en un sector dada por la curva de fuego normalizada. El tiempo durante el cual los elementos constructivos deben soportar el incendio viene definido, únicamente, por el uso del sector considerado y la altura de evacuación del edificio.

La resistencia al fuego de los elementos constructivos debe satisfacer las condiciones que se establecen a continuación, según lo exigido en las secciones correspondientes del DB SI.

SI 1. Propagación interior

Exigencia: se limitará el riesgo de propagación del incendio por el interior del edificio.

Si el elemento no tiene función compartimentadora ni es sustentante (muro de carga o arriostramiento), no debe cumplir ninguna condición de resistencia al fuego.

Si separa sectores colindantes, se considera que su resistencia al fuego es suficiente si alcanza la clase indicada en la tabla 3.2 extraída del DB SI.

Se ha eliminado de esta tabla el "Uso Aparcamiento" por considerarse infrecuente el uso de la madera para sectorizar este uso.

Independientemente de lo anterior, los elementos que separan viviendas entre sí deben ser al menos EI 60. En uso residencial público, toda habitación para alojamiento debe tener paredes al menos EI 60. Asimismo, en uso comer-

Tabla 3.2. Resistencia al fuego de las paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendio⁽¹⁾

Elemento	Resistencia al fuego			
	Plantas bajo rasante	Plantas sobre rasante en edificio con altura de evacuación:		
		h ≤ 15 m	15 < h ≤ 28 m	h > 28 m
Paredes y techos ⁽²⁾ que separan al sector considerado del resto del edificio, siendo su <i>uso previsto</i> ⁽³⁾ :				
-Sector de riesgo mínimo en edificio de cualquier uso	(no se admite)	EI 120	EI 120	EI 120
-Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	EI 120	EI 60	EI 90	EI 120
-Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	EI 120 ⁽⁴⁾	EI 90	EI 120	EI 180
Puertas de paso entre sectores de incendio	EI ₂ t-C5, siendo t la mitad del tiempo de <i>resistencia al fuego</i> requerido a la pared en la que se encuentre, o bien la cuarta parte cuando el paso se realice a través de un <i>vestíbulo de independencia</i> y de dos puertas.			

(1) Considerando la acción del fuego en el interior del sector, excepto en el caso de los sectores de riesgo mínimo, en los que únicamente es preciso considerarla desde el exterior del mismo.

Un elemento delimitador de un sector de incendios puede precisar una resistencia al fuego diferente al considerar la acción del fuego por la cara opuesta, según cuál sea la función del elemento por dicha cara: compartimentar una zona de riesgo especial, una *escalera protegida*, etc.

(2) Cuando el techo separe de una planta superior debe tener al menos la misma *resistencia al fuego* que se exige a las paredes, pero con la característica REI en lugar de EI, al tratarse de un elemento portante y compartimentador de incendios. En cambio, cuando sea una cubierta no destinada a actividad alguna, ni prevista para ser utilizada en la evacuación, no precisa tener una función de compartimentación de incendios, por lo que sólo debe aportar la *resistencia al fuego* R que le corresponda como elemento estructural, excepto en las franjas en las que se requiera para limitar la propagación exterior, en las que dicha resistencia debe ser REI.

(3) La *resistencia al fuego* del suelo es función del uso al que esté destinada la zona existente en la planta inferior.

(4) El 180 si la *altura de evacuación* del edificio es mayor de 28 m.

cial, los elementos que separan diferentes establecimientos entre sí deben ser al menos EI 60 en los casos que se especifican:

- en establecimientos o centros comerciales que puedan compartimentarse en sectores de incendio de hasta 10.000 m² construidos (aquellos que ocupen en su totalidad un edificio íntegramente protegido con una instalación automática de extinción y cuya altura de evacuación no exceda de 10 m);
- en establecimientos o centros comerciales en los que las zonas destinadas al público puedan constituir un único sector de incendio (aquellos que ocupen en su totalidad un edificio exento íntegramente protegido con una instalación automática de extinción y dispongan en cada planta de salidas de edificio aptas para la evacuación de todos los ocupantes de las mismas).

Las cubiertas destinadas a alguna actividad o que estén previstas para ser utilizadas en evacuación precisan de una función de compartimentación de incendios, similar a la de las particiones interiores horizontales. En caso de no darse las anteriores condiciones, es decir, que no estén destinadas a actividad alguna ni estén previstas para ser utilizadas en evacuación, las cubiertas no precisan tener una función de compartimentación de incendios, por lo que sólo deben aportar la resistencia al fuego R que les corresponda como elementos estructurales, excepto en las franjas que se señalan para cumplir frente a propagación exterior.

Para los elementos que delimitan locales de riesgo especial integrados en los edificios, se considera que su resistencia al fuego es suficiente si alcanza la clase indicada en la tabla 3.3 extraída del DB SI.

Los locales de riesgo especial no tienen por qué ser inusuales en edificios de madera. Por ejemplo, un garaje en una casa unifamiliar se clasifica como local de riesgo especial bajo, según la tabla 2.1 de la sección SI1 del DB SI.

Si el elemento delimita una escalera protegida o especialmente protegida, un pasillo protegido o un vestíbulo de independencia, debe aportar una resistencia al fuego EI 120.

SI 2. Propagación exterior

Exigencia: se limitará el riesgo de propagación del incendio por el exterior, tanto en el edificio considerado como a otros edificios.

Las medianerías o muros colindantes con otro edificio deben ser al menos EI 120.

Para limitar el riesgo de propagación exterior horizontal del incendio a través de las fachadas, ya sea entre dos edificios, o bien en un mismo edificio, entre dos sectores de incendio del mismo, entre una zona de riesgo especial alto y otras zonas o hacia una escalera o pasillo protegido desde otras zonas, los puntos de ambas fachadas que no sean al menos EI 60 deben estar separados la distancia *d* en proyección horizontal que se indica a continuación, como mínimo, en función del ángulo α formado por los planos exteriores de dichas fachadas. Para valores intermedios del ángulo α , la distancia *d* puede obtenerse por interpolación lineal.

α	0° ⁽¹⁾	45°	60°	90°	135°	180°
<i>d</i> (m)	3,00	2,75	2,50	2,00	1,25	0,50

(1) Refleja el caso de fachadas enfrentadas paralelas

Tabla 3.3. Condiciones de las zonas de riesgo especial integradas en edificios

Característica	Riesgo bajo	Riesgo medio	Riesgo alto
Resistencia al fuego de las paredes y techos ⁽¹⁾ que separan la zona del resto del edificio ⁽²⁾	EI 90	EI 120	EI 180
Puertas de comunicación con el resto del edificio	EI ₂ 45-C5	2 x EI ₂ 30-C5	2 x EI ₂ 45-C5

- (1) Cuando el techo separe de una planta superior debe tener al menos la misma *resistencia al fuego* que se exige a las paredes, pero con la característica REI en lugar de EI, al tratarse de un elemento portante y compartimentador de incendios. En cambio, cuando sea una cubierta no destinada a actividad alguna, ni prevista para ser utilizada en la evacuación, no precisa tener una función de compartimentación de incendios, por lo que sólo debe aportar la *resistencia al fuego* R que le corresponda como elemento estructural, excepto en las franjas en las que se requiera para limitar la propagación exterior, en las que dicha resistencia debe ser REI.

- (2) Considerando la acción del fuego en el interior del *recinto*. La *resistencia al fuego* del suelo es función del uso al que esté destinada la zona existente en la planta inferior.

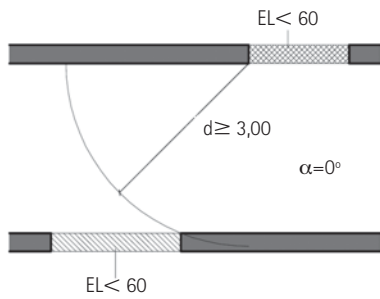


Figura 3.6. Fachadas enfrentadas

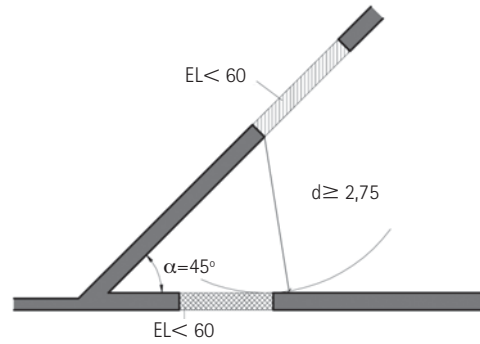


Figura 3.7. Fachadas a 45°

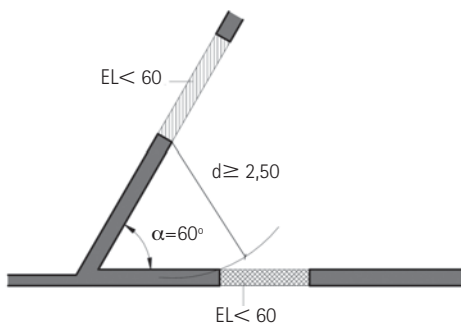


Figura 3.8. Fachadas a 60°

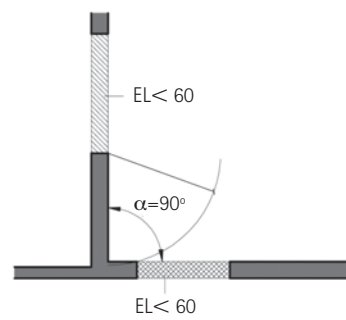


Figura 3.9. Fachadas a 90°

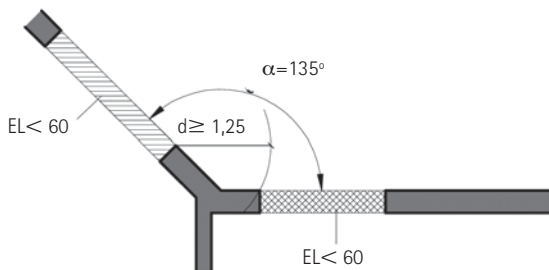


Figura 3.10. Fachadas a 135°

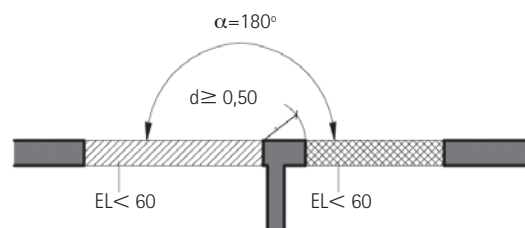


Figura 3.11. Fachadas a 180°

Para limitar el riesgo de propagación vertical del incendio por fachada entre dos sectores de incendio, entre una zona de riesgo especial alto y otras zonas más altas del edificio, o bien hacia una escalera o pasillo protegido desde otras zonas, dicha fachada debe ser al menos EI 60 en una franja de 1 m de altura, como mínimo, medida sobre el plano de la fachada. En caso de existir elementos salientes aptos para impedir el paso de las llamas, la altura de dicha franja podrá reducirse en la dimensión del citado saliente.

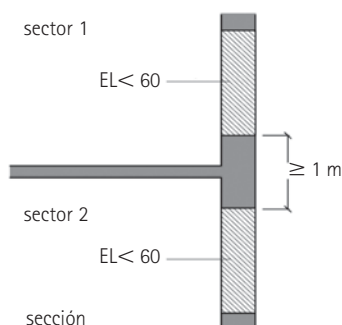


Figura 3.12. Encuentro forjado-fachada

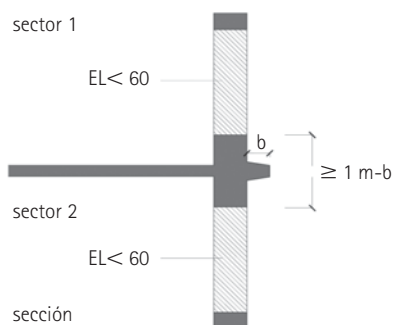


Figura 3.13. Encuentro forjado-fachada con saliente

Con el fin de limitar el riesgo de propagación exterior del incendio por la cubierta, ya sea entre dos edificios colindantes, ya sea en un mismo edificio, ésta tendrá una resistencia al fuego REI 60, como mínimo, en una franja de 0,50 m de anchura medida desde el edificio colindante, así

como en una franja de 1,00 m de anchura situada sobre el encuentro con la cubierta de todo elemento compartimentador de un sector de incendio o de un local de riesgo especial alto. Como alternativa a la condición anterior puede optarse por prolongar la medianería o el elemento compartimentador 0,60 m por encima del acabado de la cubierta.

En el encuentro entre una cubierta y una fachada que pertenezcan a sectores de incendio o a edificios diferentes, la altura h sobre la cubierta a la que deberá estar cualquier zona de fachada cuya resistencia al fuego no sea al menos EI 60 será la que se indica a continuación, en función de la distancia d de la fachada, en proyección horizontal, a la que esté cualquier zona de la cubierta cuya resistencia al fuego tampoco alcance dicho valor.

d (m)	≥2,50	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50	0
h (m)	0	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	5,00

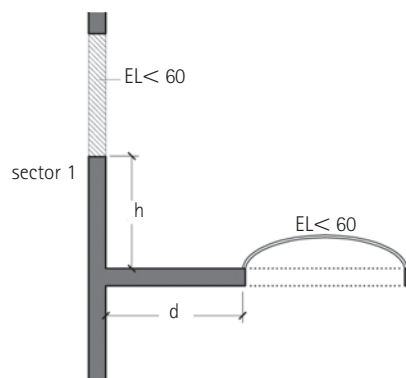


Figura 3.14. Encuentro cubierta-fachada

SI 6. Resistencia al fuego de la estructura

Exigencia: la estructura portante mantendrá su resistencia al fuego durante el tiempo necesario para que puedan cumplirse las exigencias básicas de SI 1 a SI 5.

Se considera que la resistencia al fuego de un elemento estructural principal del edificio es suficiente si alcanza la clase indicada en las tablas 3.4 o 3.5 extraídas del DB SI, que se adjuntan a continuación, según sea el caso.

Tabla 3.4. Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales

Uso del sector de incendio considerado	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante	
		altura de evacuación del edificio	
		≤15 m	≤28 m
Vivienda unifamiliar ⁽¹⁾	R 30	R 30	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120	R 90	R 120

(1) En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

Se ha eliminado de esta tabla el "Uso Aparcamiento" por considerarse infrecuente el uso de la madera en este caso.

Los elementos estructurales de una escalera protegida o de un pasillo protegido que estén contenidos en el recinto de éstos serán como mínimo R30. Cuando se trate de escaleras especialmente protegidas, no se exige resistencia al fuego a los elementos estructurales.

A los elementos estructurales secundarios, tales como los cargaderos o los de las entreplantas de un local, se les exige la misma resistencia al fuego que a los elementos principales si su colapso puede ocasionar daños personales o comprometer la estabilidad global, la evacuación o la compartimentación en sectores de incendio del edificio. En otros casos no precisan cumplir ninguna exigencia de resistencia al fuego.

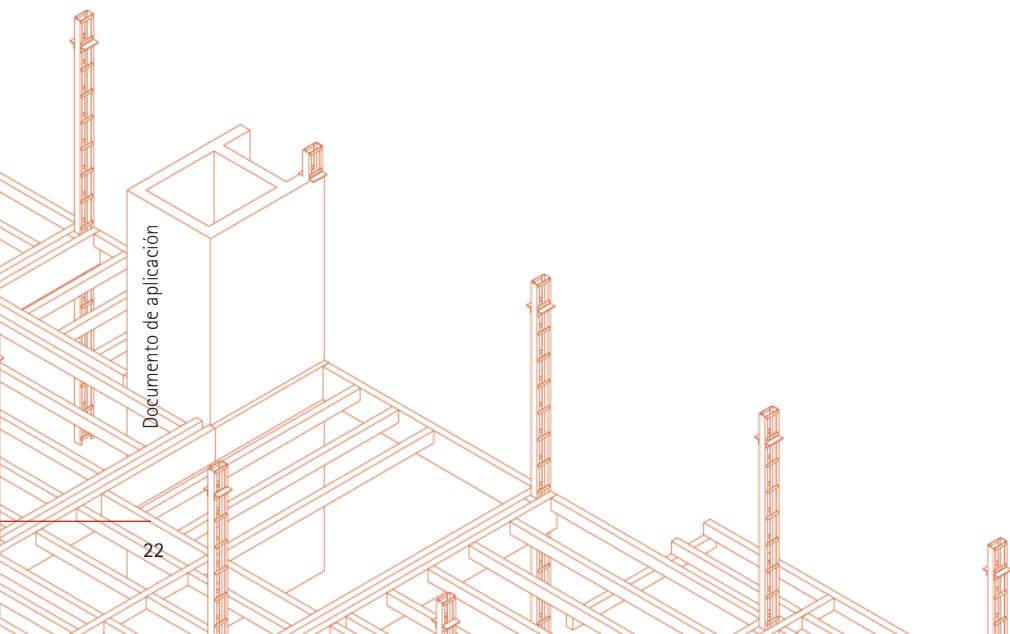
Las estructuras de cubiertas ligeras no previstas para ser utilizadas en la evacuación de los ocupantes y cuya altura respecto de la rasante exterior no exceda de 28 m, así como los elementos que únicamente sustenten dichas cubiertas, podrán ser R 30 cuando su fallo no pueda ocasionar daños graves a los edificios o establecimientos próximos, ni comprometer la estabilidad de otras plantas inferiores o la compartimentación de los sectores de incendio. A tales efectos, puede entenderse como ligera aquella cubierta cuya carga permanente no exceda de 1 kN/m².

Las exigencias SI 3 "Evacuación de ocupantes", SI 4 "Instalaciones de protección contra incendios" y SI 5 "Intervención de bomberos" no afectan directamente a los elementos constructivos, aunque sí de forma global al edificio.

Tabla 3.5. Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales de zonas de riesgo especial integradas en los edificios

Característica	Riesgo especial bajo	Riesgo especial medio	Riesgo especial alto
Resistencia al fuego de la estructura portante ⁽¹⁾	R 90	R 120	R 180

(1) No será inferior al de la estructura portante de la planta del edificio excepto cuando la zona se encuentre bajo una cubierta no prevista para evacuación y cuyo fallo no suponga riesgo para la estabilidad de otras plantas ni para la compartimentación contra incendios, en cuyo caso puede ser R 30.



Documento de aplicación

4. REACCIÓN AL FUEGO DE LA MADERA

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA SIN TRATAR

En el Real Decreto 312/2005, modificado posteriormente por el Real Decreto 110/2008, se clasifican determinados productos y/o materiales en función de sus características de reacción al fuego sin necesidad de ensayo.

En las tablas 4.1 a 4.7 que figuran a continuación aparece la clasificación de distintos tipos de madera y productos derivados de la madera, teniendo en cuenta sus condiciones de uso final, así como otras características.

Tabla 4.1. Clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los tableros derivados de la madera

Producto	Norma del producto	Condiciones de uso final ⁽⁶⁾	Densidad mínima (kg/m ³)	Espesor mínimo (mm)	Clase (excl. los suelos)	Clase (suelos)
Tablero de partículas aglomeradas con cemento ⁽¹⁾	UNE-EN 634-2:2007	sin espacio de aire detrás del tablero	1000	10	B-s1,d0	B _f -s1
Tablero de fibras duro ⁽¹⁾	UNE-EN 622-2:1997	sin espacio de aire detrás del tablero derivado de la madera	900	6	D-s2,d0	D _f -s1
Tablero de fibras duro ⁽³⁾	UNE-EN 622-2:1997	con espacio de aire confinado inferior o igual a 22 mm detrás del tablero derivado de la madera	900	6	D-s2,d2	-
Tablero de partículas ^{(1) (2) (5)}	UNE-EN 312:2004	sin espacio de aire detrás del tablero derivado de la madera	600	9	D-s2,d0	D _f -s1
Tablero de fibras, duro y semiduro ^{(1) (2) (5)}	UNE-EN 622-2:1997 UNE-EN 622-3:1997					
MDF ^{(1) (2) (5)}	UNE-EN 622-5:1997					
OSB ^{(1) (2) (5)}	UNE-EN 300:1997					
Tablero contrachapado ^{(1) (2) (5)}	UNE-EN 636:2004	-"	400	9	D-s2,d0	D _f -s1
Tablero de madera maciza ^{(1) (2) (5)}	UNE-EN 13353:2003	-"		12		
Tablero de lino ^{(1) (2) (5)}	UNE-EN 15197:2004	-"	450	15	D-s2,d0	D _f -s1
Tablero de partículas ^{(3) (5)}	UNE-EN 312:2004	con espacio de aire confinado o espacio de aire libre inferior o igual a 22 mm detrás del tablero derivado de la madera	600	9	D-s2,d2	-
Tablero de fibras, duro y semiduro ^{(3) (5)}	UNE-EN 622-2:1997 UNE-EN 622-3:1997					
MDF ^{(3) (5)}	UNE-EN 622-5:1997					
OSB ^{(3) (5)}	UNE-EN 300:1997					

Producto	Norma del producto	Condiciones de uso final ⁽⁶⁾	Densidad mínima (kg/m ³)	Espesor mínimo (mm)	Clase (excl. los suelos)	Clase (suelos)
Tablero contrachapado ^{(3),(5)}	UNE-EN 636:2004	"-"	400	9	D-s2,d2	-
Tablero de madera maciza ^{(3),(5)}	UNE-EN 13353:2003			12		
Tablero de partículas ^{(4),(5)}	UNE-EN 312:2004	con espacio de aire confinado detrás del tablero derivado de la madera	600	15	D-s2,d0	D _{fi} -s1
Tablero de fibras semiduro ^{(4),(5)}	UNE-EN 622-3:1997					
MDF ^{(4),(5)}	UNE-EN 622-5:1997					
OSB ^{(4),(5)}	UNE-EN 300:1997					
Tablero contrachapado ^{(4),(5)}	UNE-EN 636:2004	"-"	400	15	D-s2,d1	D _{fi} -s1
Tablero de madera maciza ^{(4),(5)}	UNE-EN 13353:2003				D-s2,d0	
Tablero de lino ^{(4),(5)}	UNE-EN 15197:2004	"-"	450	15	D-s2,d0	D _{fi} -s1
Tablero de partículas ^{(4),(5)}	UNE-EN 312:2004	Con espacio de aire abierto detrás del tablero derivado de la madera	600	18	D-s2,d0	D _{fi} -s1
Tablero de fibras semiduro ^{(4),(5)}	UNE-EN 622-3:1997					
MDF ^{(4),(5)}	UNE-EN 622-5:1997					
OSB ^{(4),(5)}	UNE-EN 300:1997					
Tablero contrachapado ^{(4),(5)}	UNE-EN 636:2004	"-"	400	18	D-s2,d0	D _{fi} -s1
Tablero de madera maciza ^{(4),(5)}	UNE-EN 13353:2003					
Tablero de lino ^{(4),(5)}	UNE-EN 15197:2004	"-"	450	18	D-s2,d0	D _{fi} -s1
Tablero de partículas ⁽⁵⁾	UNE-EN 312:2004	cualquiera	600	3	E	E _{fi}
OSB ⁽⁵⁾	UNE-EN 300:1997					
MDF ⁽⁵⁾	UNE-EN 622-5:1997	"-"	400	3	E	E _{fi}
			250	9	E	E _{fi}
Tablero contrachapado ⁽⁵⁾	UNE-EN 636:2004	"-"	400	3	E	E _{fi}
Tablero de fibras duro ⁽⁵⁾	UNE-EN 622-2:1997	"-"	900	3	E	E _{fi}
Tablero de fibras semiduro ⁽⁵⁾	UNE-EN 622-3:1997	"-"	400	9	E	E _{fi}
Tablero de fibras blando	UNE-EN 622-4:1997	"-"	250	9	E	E _{fi}

- (1) Instalado sin cámara de aire y directamente sobre productos de clase A1 o A2-s1,d0 con una densidad mínima de 10 kg/m³ o al menos sobre productos de clase D-s2,d2 con una densidad mínima de 400 kg/m³.
- (2) Podrá incluirse un sustrato de material aislante de celulosa, de clase E como mínimo, si se instala directamente sobre el tablero derivado de la madera, pero no para los suelos.
- (3) Instalado sobre una cámara de aire posterior. La cara opuesta de la cámara debe incorporar, como mínimo, productos de la clase A2-s1,d0 que tengan una densidad mínima de 10 kg/m³.
- (4) Instalado sobre una cámara de aire posterior. La cara opuesta de la cámara debe incorporar, como mínimo, productos de la clase D2-s2,d2 que tengan una densidad mínima de 400 kg/m³.
- (5) Se incluyen en esta clase los tableros rechapados y recubiertos con melamina y fenol, excluyendo los utilizados en suelos.
- (6) En el caso de que no existieran cámaras de aire, se puede instalar entre los tableros derivados de la madera y el sustrato una barrera de vapor con un espesor igual o inferior a 0,4 mm y con una masa igual o inferior a 200 g/m².

Tabla 4.2. Clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los paneles decorativos estratificados obtenidos por presión elevada (paneles decorativos HPL)⁽¹⁾

Producto	Detalle del producto	Densidad mínima ⁽²⁾ (kg/m ³)	Espesor total mínimo (mm)	Clase (excluidos los suelos)
Paneles compactos HPL no-RF de interior ⁽²⁾	HPL compacto conforme a EN 438-4 tipo CGS	1350	6	D-s2,d0
Paneles de compuesto compactos HPL no-RF de interior con sustrato de madera	Paneles de compuesto HPL no-RF conforme a las exigencias de EN 438-3, adheridos a ambas caras de un núcleo de madera no-RF, de un grosor mínimo de 12 mm y conforme a UNE-EN 13986:2002, mediante acetato de polivinilo (PVA) o adhesivo termoestable aplicado a razón de 60 a 120 g/m ²	Densidad mínima del núcleo de madera 600 Mínima densidad de HPL 1350	Núcleo de madera 12 mm, con HPL ≥ 0,5 mm adherido por ambas caras	D-s2,d0

(1) Fijados directamente (es decir, sin capa de aire) a un material que tenga una reacción al fuego, como mínimo, de A2-s1,d0 o más favorable y una densidad, como mínimo, de 600 kg/m³, o bien montados sobre una estructura reforzada de soporte, de madera o metálica, con una capa de aire sin ventilación (es decir, abiertos únicamente en la parte superior), como mínimo, de 30mm y con una clasificación de reacción al fuego de la capa que constituye el reverso de la cavidad así formada de A2-s1,d0 o más favorable.

(2) Cumplen la norma EN 438-7.

Tabla 4.3. Clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los productos de madera para uso estructural⁽¹⁾

Producto	Detalle del producto	Densidad media mínima ⁽²⁾ (kg/m ³)	Espesor mínimo (mm)	Clase
Madera estructural	Madera estructural graduada de manera visual o mecánica con secciones transversales rectangulares realizadas con sierra, cepillo u otros métodos, o bien con secciones transversales redondas	350	22	D-s2,d0

(1) Aplicable a todas las especies de madera cubiertas por las normas de producto.

(2) Conforme a UNE-EN 13238:2002.

Tabla 4.4. Clasificación de las propiedades de reacción al fuego de las maderas laminadas encoladas⁽¹⁾

Producto	Norma del producto	Densidad media mínima ⁽²⁾ (kg/m ³)	Espesor mínimo (mm)	Clase
Madera laminada encolada	UNE-EN 14080:2006	380	40	D-s2,d0

(1) Aplicable a todas las especies y colas que entran en el ámbito de la norma del producto.

(2) Acondicionados de conformidad con la norma UNE-EN 13238:2002.

Tabla 4.5. Clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los revestimientos de suelo laminados

Tipo de revestimiento de suelo ⁽¹⁾	Norma del producto	Densidad mínima (kg/m ³)	Espesor mínimo (mm)	Clase
Revestimientos de suelo laminados	UNE-EN 13329:2001	800	6,5	E _{fl}

(1) Revestimientos de suelo depositados sueltos sobre cualquier sustrato con base de madera \geq D-s2,d0, o cualquier sustrato de clase A2-s1,d0.

Tabla 4.6. Clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los suelos de madera y parqueté

Producto ^{(1) (6)}	Información del producto ⁽³⁾	Densidad media mínima ⁽⁴⁾ (kg/m ³)	Espesor mínimo (mm)	Condiciones de uso final	Clase
Suelos de madera y parqueté	Suelos de madera maciza de roble y haya con acabado superficial	Haya: 680 Roble: 650	8	Encolado al sustrato ⁽⁵⁾	C _{fi} -s1
	Suelos de madera maciza de roble, haya y picea con acabado superficial	Haya: 680 Roble: 650 Picea: 450	20	Con o sin cámara de aire inferior	
	Suelos de madera maciza con acabado superficial no especificados arriba	390	8 20	Sin cámara de aire inferior Con o sin cámara de aire inferior	D _{fi} -s1
Parqueté	Parqueté multicapa con capa superior de roble de 5 mm de grosor como mínimo y con acabado superficial	650 (Capa superior)	10	Encolado al sustrato ⁽⁵⁾	C _{fi} -s1
			14 ⁽²⁾	Con o sin cámara de aire inferior	
	Parqueté multicapa con acabado superficial y no especificado arriba	500	8	Encolado al sustrato	D _{fi} -s1
			10 14 ⁽²⁾	Sin cámara de aire inferior Con o sin cámara de aire inferior	
Revestimiento de suelo rechapado con madera	Revestimiento de suelo rechapado con acabado superficial	800	6 ⁽²⁾	Sin cámara de aire inferior	D _{fi} -s1

(1) Montado de acuerdo con la Norma UNE-EN ISO 9239-1:2002 y Erratum: 2004, sobre un sustrato de clase D-s2,d0 como mínimo y con una densidad mínima de 400 kg/m³, o sobre cámara de aire.

(2) En el caso de los parquetés con un espesor igual o superior a 14 mm o de los revestimientos de suelo realizados sin cámara de aire debajo puede incluirse una capa intermedia de Clase E como mínimo, con un grosor máximo de 3 mm.

(3) Los tipos y densidades superficiales de los revestimientos incluidos son: acrílico poliuretano o cera entre 50/100 g/m² y aceite entre 20-60 g/m².

(4) Acondicionado de acuerdo con la norma UNE-EN 13238:2002 (50% Hr, 23 °C)

(5) Sustrato de clase A2-s1,d0, como mínimo.

(6) Se aplica también a los peldaños de escalera.

Tabla 4.7. Clasificación de las propiedades de reacción al fuego de los revestimientos murales interiores y exteriores de madera maciza

Producto ⁽¹⁰⁾	Información del producto ⁽⁴⁾	Densidad media mínima ⁽⁵⁾ (kg/m ³)	Espesores mínimos, total/mínimo ⁽⁶⁾ (mm)	Condiciones de uso final ⁽³⁾	Clase
Revestimientos murales interiores y exteriores ⁽¹⁾	Piezas de madera con o sin machihembrado y con o sin mecanización superficial	390	9/6	Con o sin cámara de aire posterior	D-s2,d0
			12/8		D-s2,d0
Revestimientos murales interiores y exteriores ⁽²⁾	Piezas de madera con o sin machihembrado y con o sin mecanización superficial	390	9/6	Con cámara de aire posterior ≤ 20 mm	D-s2,d0
			18/12	Con o sin cámara de aire posterior	
Lamas de madera ⁽⁷⁾	Piezas de madera colocadas sobre un bastidor ⁽⁸⁾	390	18	Todas las caras al aire ⁽⁹⁾	D-s2,d0

- (1) Fijadas sobre rastreles de madera, con cámara de aire cerrada o rellena con un sustrato de clase A2-s1,d0 como mínimo, con una densidad de al menos 10 kg/m³, o relleno con un sustrato de material aislante de celulosa, como mínimo de la Clase E, y con o sin barrera de vapor posterior. El producto de madera estará diseñado de forma que se pueda colocar sin juntas abiertas.
- (2) Fijadas sobre rastreles de madera, con o sin cámara de aire posterior. El producto de madera estará diseñado de manera que se pueda colocar sin juntas abiertas.
- (3) Puede incluirse una cámara de aire detrás del producto como posible ventilación, mientras que una cámara cerrada de aire no permite dicha ventilación. El sustrato situado detrás de la cámara de aire será de clase A2-s1,d0 como mínimo, con una densidad de al menos 10 kg/m³ para piezas de madera verticales y con una cámara cerrada de aire de 20 mm como máximo, el sustrato situado detrás podrá ser como mínimo de la clase D-s2,d0.
- (4) Las juntas incluyen todos los tipos, por ejemplo, a tope o machihembradas.
- (5) Acondionadas conforme a la norma UNE-EN 13238:2002.
- (6) La superficie mecanizada de la cara expuesta del revestimiento será menor o igual del 20% de la superficie sin mecanizar, o del 25% si se miden ambas caras, la expuesta y la no expuesta. En las uniones tope, se considera como grosor la superficie de contacto de la unión. Como se observa en la figura 4.1, que se muestra a continuación.

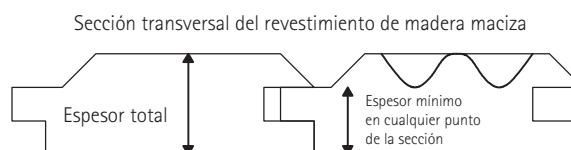
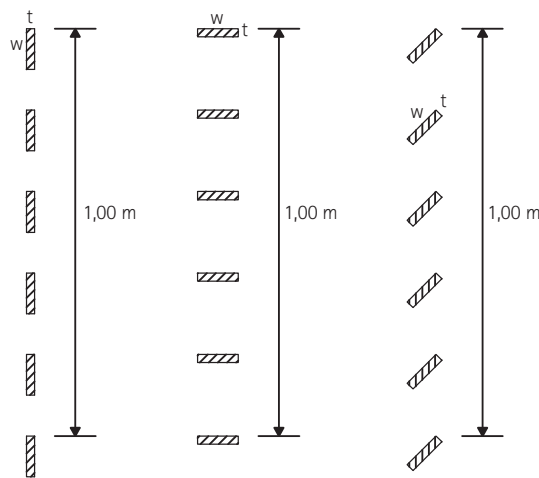


Figura 4.1

- (7) Piezas de madera rectangulares, con o sin aristas redondeadas, montadas horizontal o verticalmente sobre un bastidor y con todas las caras al aire, utilizadas principalmente en la proximidad de otros elementos de edificación, tanto en aplicaciones de interior como de exterior.
- (8) La superficie máxima de exposición (todas las caras de las piezas rectangulares de madera y del bastidor de madera) será menor o igual al 110% de la superficie a mecanizar; véase la figura 4.2.
- (9) Los elementos de la edificación situados a una distancia inferior a 100 mm de las lamas de madera (excluyendo su bastidor) deberán ser, como mínimo, de la clase A2-s1,d0; para distancias entre 100 y 300 mm, será como mínimo de la clase B-s1,d0; y para distancias superiores a 300 mm, de clase D-s2,d0.
- (10) También se aplica a las escaleras.

Superficie máxima expuesta de las lamas de madera $2n(t+w)+a \leq 1,10$



n = piezas de madera por metro
t = grosor de cada pieza de madera, en metros
w = anchura de cada pieza de madera, en metros
a = superficie expuesta del marco de soporte de madera
(en su caso), en m², por m² de cinta de madera

Figura 4.2

4.2 IGNIFUGACIÓN DE LA MADERA

Como se ha apuntado en el apartado 2, Conceptos generales. *La acción de incendio*, la reglamentación actual limita tanto la contribución al incendio y la inflamabilidad de los materiales de construcción como su capacidad de desprender humo o partículas de material incandescentes cuando dichos materiales arden. Estos factores determinan su clasificación de reacción al fuego.

En las tablas del punto 4.1, puede observarse que la madera y los productos derivados de la madera sin tratar van a tener normalmente una clasificación de reacción al fuego D-s2,d0, dependiendo del tipo de madera, la densidad, el

grosor y las condiciones de uso final del producto. Esto significa que se trata de un material o producto combustible con una inflamabilidad y una contribución al fuego relativamente altas (D), que produce una cantidad moderada de humo cuando arde (s2) y que no desprende gotas o partículas inflamadas en una fase inicial del incendio (d0).

Esta clasificación no es suficiente en muchos casos para cumplir los requisitos del CTE mediante la aplicación del DB SI, dependiendo de la situación del material en el edificio (en techos, paredes o suelos de zonas ocupables, vías de evacuación protegidas, espacios ocultos, en fachadas...). Sin embargo, mediante la aplicación de tratamientos ignifugantes puede mejorarse la clasificación de reacción

al fuego de la madera, puesto que al retrasarse el proceso de combustión se reducen la inflamabilidad y la emisión de calor del material en caso de incendio. No obstante, esta mejora en la clasificación principal puede no corresponderse con la cantidad de humo producida que, al ralentizarse el proceso de combustión, tiende a ser mayor.

Se han realizado estudios que evalúan el comportamiento frente al fuego de la madera tratada con ignífugantes que ya existen en el mercado, en los que se han obtenido clasificaciones de reacción al fuego B y C en las muestras analizadas, así como índices de producción de humo s1 y s2. Las distintas clasificaciones obtenidas dependen de los parámetros antes mencionados (tipo de madera, densidad, grosor y condiciones de uso final) así como de las características del ignífugante aplicado.

Por otro lado, y de manera indirecta, al ralentizarse el proceso de combustión, la aplicación de tratamientos ignífugantes también puede incidir en el aumento del tiempo de resistencia al fuego de los elementos constructivos de madera, si bien este valor no parece modificarse significativamente y su incremento sólo podría cuantificarse mediante ensayo. La aplicación de ignífugantes no evita la descomposición y carbonización de la madera, siendo el espesor de la zona carbonizada muy similar en piezas tratadas y sin tratar. La mejora está asociada, como ya se ha comentado, a la reducción de la inflamabilidad y de la emisión de calor.

Según su mecanismo de actuación los productos ignífugantes, con carácter general, pueden agruparse en los siguientes tipos:

- **se funden y recubren las partículas de madera**

Estos ignífugantes, generalmente obtenidos a partir de boratos y silicatos, tienen temperaturas de fusión inferiores a la de la combustión de la madera. Al alcanzarlas, se adhieren a la pieza rellenando sus poros, evitando así la penetración del oxígeno hacia las capas interiores y la formación de gases inflamables.

- **se descomponen liberando sustancias que reducen la inflamabilidad**

Dependiendo de la sustancia liberada durante el proceso de combustión, pueden diferenciarse los siguientes tipos de productos ignífugantes:

- **liberan agua**

Ciertos productos ignífugantes se caracterizan por la higroscopicidad de sus componentes, es decir, por su

capacidad para absorber la humedad del ambiente. Ante el efecto de las altas temperaturas alcanzadas durante un posible incendio, se liberará el agua previamente absorbida junto con el agua de cristalización propia del producto. Así, la capacidad del ignífugante para disminuir la emisión de gases inflamables durante el proceso de combustión dependerá de su capacidad de absorción.

- **liberan compuestos orgánicos**

Existen productos que, mediante la reacción de sus componentes con la madera, generan compuestos orgánicos. Éstos, al ser lo suficientemente estables a altas temperaturas, retrasan el proceso de combustión de la madera.

- **liberan gases no combustibles**

Son productos que sometidos a altas temperaturas producen gases no combustibles. La presencia de estos gases no combustibles hace que, durante el proceso de combustión, disminuya la concentración de gases combustibles y, como consecuencia, la inflamabilidad. Estos ignífugantes suelen contener elementos halógenos como flúor, cloro, bromo y yodo.

- **forman espuma**

Las pinturas y barnices intumescentes aumentan su volumen expuestos a altas temperaturas, generando una capa aislante en la superficie de la pieza. Durante el proceso de combustión, como ocurre con otros tipos de ignífugantes, estos productos liberan gases no combustibles, lo que hace disminuir la inflamabilidad.

- **colaboran en la carbonización de la madera**

Algunos ignífugantes potencian la carbonización del material con objeto de incrementar el aislamiento que proporciona la capa carbonizada a las capas interiores de la pieza. Durante este proceso, el agente ignífugante puede aumentar la emisión de vapor de agua, disminuyendo la formación de gases combustibles y el riesgo de inflamabilidad.

- **forman película en la superficie de la madera**

Son pinturas cuya capacidad ignífugante consiste en evitar el contacto de la capa externa de la pieza con el oxígeno, retardando así el proceso de combustión. La aplicación de estos tratamientos a los elementos de madera no sólo puede mejorar su clasificación de reacción al fuego sino también incrementar su resistencia.

Según su composición puede decirse que los ignifugantes más utilizados para el tratamiento de la madera, utilizada como acabado en espacios interiores, son los compuestos a base de **sales inorgánicas** solubles en agua y obtenidas, generalmente, a base de fósforo, boro o cloro. Estos productos no son igual de efectivos cuando se aplican a madera expuesta al exterior, ya que pueden perder parte de su concentración en sales por deslavado.

Tratada con ignifugantes a base de sales inorgánicas, la madera presenta una mayor higroscopicidad que sin tratar, es decir, su capacidad para acumular agua extraída del ambiente aumenta. Este incremento en el índice de humedad dependerá del tipo de madera, la sección de la pieza, los componentes químicos del ignifugante utilizado y la concentración de estos agentes químicos en el material.

La capacidad del elemento ignifugado para acumular agua se acusa especialmente si se encuentra en un entorno con humedad relativa alta. Cuando se prevea el uso de la madera en estas condiciones, será conveniente que la higroscopicidad del producto aplicado sea baja, con objeto de evitar posibles efectos adversos tales como formación de manchas, alteraciones en barnices aplicados con posterioridad, etc.

Los productos compuestos por sales inorgánicas también pueden reaccionar con los elementos metálicos no inoxidables integrados en la construcción, por lo que deberá tenerse especial cuidado en el diseño y protección de fijaciones y anclajes.

Por otro lado, los ignifugantes que contienen elementos halógenos desprenden gases especialmente tóxicos durante la combustión, lo que obliga a utilizar en su composición sustancias que rebajen la toxicidad.

Otros ignifugantes, como los obtenidos a partir de **compuestos orgánicos**, al ser insolubles en agua, presentan un mejor comportamiento aplicados a la madera expuesta a un ambiente exterior. La resistencia de estos productos al deslavado es superior a la que ofrecen otros tratamientos. Ello no quita que también puedan producirse deslavados cuando la exposición a la intemperie del elemento ignifugado sea total o muy prolongada, aunque su efectividad seguirá siendo mejor que la de los productos compuestos por sales inorgánicas.

La aplicación de ignifugantes a partir de compuestos orgánicos, por su baja higroscopicidad, es recomendable en zonas con índices de humedad altos. Dentro de estos productos se encuentran, por ejemplo, las resinas obtenidas a partir de urea.

Con carácter general, algunos tratamientos ignifugantes, además de aportar sus propiedades retardantes, pueden ofrecer cierta protección ante el ataque de hongos e insectos.

Según el procedimiento de aplicación del tratamiento ignifugante a la madera se pueden establecer los siguientes métodos:

• ignifugación en profundidad

La madera maciza puede ignifugarse en profundidad mediante un tratamiento aplicado en autoclave o bien mediante la inmersión en caliente de las piezas. Con el sistema de inmersión se consiguen unas profundidades de penetración del orden de 10 a 20mm, que son inferiores a las que se alcanzan con el procedimiento de autoclave. En todo caso, la penetración de los agentes ignifugantes dependerá, además del sistema utilizado, del tipo de madera, de su estructura interna de la madera y del contenido de humedad de la pieza.

El tratamiento tradicional de ignifugación en autoclave no se recomienda para su aplicación a determinados productos de madera como tableros de partículas, al valorarse los siguientes aspectos:

- Los agentes químicos del compuesto ignifugante pueden no ser compatibles con las características de los adhesivos utilizados como conglomerantes del tablero.
- El comportamiento estructural del tablero puede empeorar, tanto por la presión a la que es sometido durante el tratamiento como por la acción de los propios agentes químicos del compuesto.

Por esta razón, para la utilización de tratamientos retardantes en los tableros de partículas, el diseñador debería verificar los efectos de los mismos antes de su inclusión en el proyecto.

Con el fin de evitar las posibles incompatibilidades que se han mencionado anteriormente, en los tableros de partículas los productos ignifugantes suelen añadirse a las partículas que lo conforman o, al igual que en los tableros de fibras de densidad media, al adhesivo.

En tableros contrachapados, así como en piezas de madera laminada, la ignifugación por vacío y presión se realiza previa al encolado mediante la impregnación de las chapas.

Cabe señalar que se están desarrollando nuevos sistemas de autoclave, como los prismáticos de carga superior, con

objeto de mejorar el procedimiento utilizado tradicionalmente. Los avances introducidos podrían hacer que este método resultase adecuado para la aplicación de tratamientos ignifugantes a un mayor número de productos de madera.

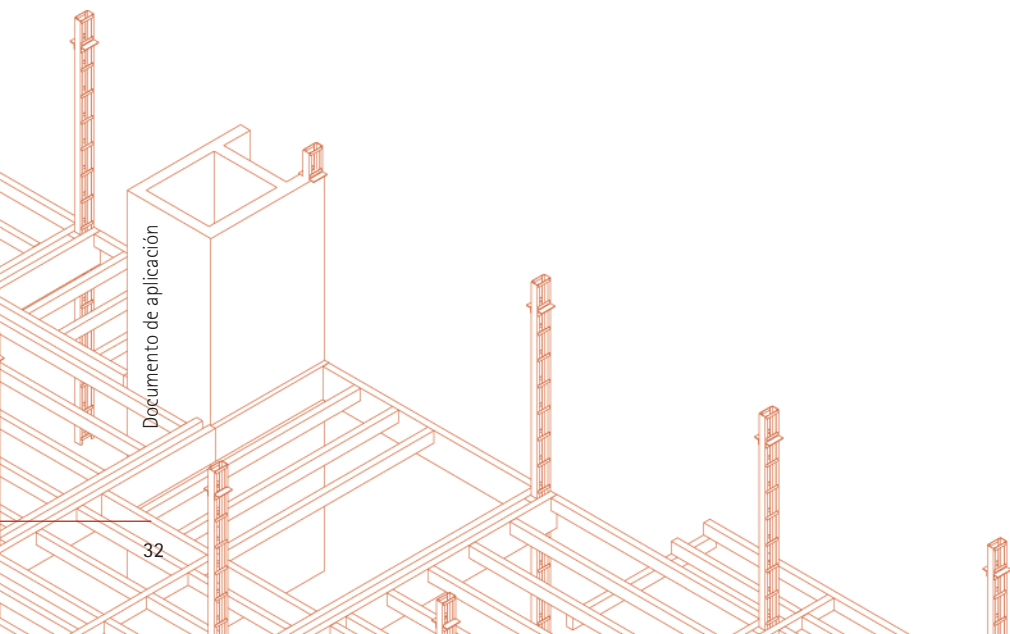
• ignifugación superficial

El tratamiento superficial de la madera puede realizarse mediante la aplicación tanto de barnices y pinturas intumescentes como de sales inorgánicas disueltas en agua.

Los productos intumescentes se hinchan ante la acción del fuego formando una capa aislante que protege el

elemento retrasando su combustión. La durabilidad de estos sistemas sólo puede garantizarse por un plazo de 5 a 10 años, transcurrido el cual deben renovarse. Existen barnices intumescentes transparentes que pueden utilizarse para proteger la madera manteniendo las características estéticas naturales del material.

La utilización de sales inorgánicas disueltas en agua y aplicadas a la madera mediante inmersión de la pieza o pulverizado es otra posibilidad de tratamiento superficial, aunque su eficacia no es muy elevada al ser reducida la cantidad de sales depositadas. Este tratamiento no debe aplicarse en madera expuesta al exterior ya que las sales son lavables.



5. RESISTENCIA AL FUEGO DE LA MADERA. COMPARTIMENTACIÓN

5.1. GENERALIDADES. TIEMPO DE AISLAMIENTO REQUERIDO

En este capítulo se describe el procedimiento a seguir en el caso de que a los elementos se les exija función separadora (criterio EI), independientemente de si tienen o no función portante (criterio R). Las disposiciones constructivas se refieren por lo tanto a elementos generalmente superficiales (entramados de muros y forjados).

Se asume que el requisito de integridad (E) se verifica si se cumple el requisito de aislamiento (I) y los paneles permanecen anclados a su soporte (entramado de muro o forjado) durante toda la duración del incendio en la cara no expuesta. Por lo tanto, en este apartado se propone un método para la verificación del criterio I. Las condiciones necesarias para garantizar el anclaje se dan en el apartado 6.3.3.5.

De manera análoga a lo que sucede con las exigencias generales de seguridad, debe verificarse la inecuación:

$$t_{ins} \geq t_{req}$$

en la que t_{ins} es el tiempo, en minutos, para el cual el elemento separador cumple con el criterio de aislamiento, y t_{req} es la exigencia de tiempo requerida en cada caso.

El valor de t_{ins} se calcula con la expresión

$$t_{ins} = \sum_i t_{ins,0,i} \cdot k_{pos,i} \cdot k_{j,i}$$

donde $t_{ins,0,i}$ es el tiempo de aislamiento básico de la capa "i", $k_{pos,i}$ es el coeficiente de posición correspondiente, y $k_{j,i}$ el coeficiente de junta. Cada uno de estos valores se determinará de acuerdo con los apartados siguientes. Esta expresión es válida aun en el caso de elementos con revestimiento por un lado solamente.

5.2. TIEMPO DE AISLAMIENTO BÁSICO

Los valores de tiempo de aislamiento básico, en minutos, se pueden tomar de la tabla 5.1. Estos valores son válidos para tiempos inferiores a 60 minutos para cada capa.

Tabla 5.1. Tiempo de aislamiento básico, $t_{ins,0,i}$ (minutos)

Tipo de recubrimiento	$t_{ins,0,i}$
Contrachapado ($\rho \geq 450\text{kg/m}^3$)	$0,95 \cdot h_p$
Tableros de fibras o partículas ($\rho \geq 600\text{kg/m}^3$)	$1,1 \cdot h_p$
Paneles de madera ($\rho \geq 400\text{kg/m}^3$)	$0,5 \cdot h_p$
Placas de yeso (tipo A, F, R o H)	$1,4 \cdot h_p$
Lana de roca	$0,2 \cdot h_{ins} \cdot k_{dens}$
Fibra de vidrio	$0,1 \cdot h_{ins} \cdot k_{dens}$
Cavidad vacía (entre 45 y 200 mm)	5

h_p es el espesor del panel (madera o yeso) en mm.

h_{ins} es el espesor de la lana de roca o de la fibra de vidrio en mm.

k_{dens} es un coeficiente del material aislante. Se toma de la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Coeficiente k_{dens} para materiales aislantes

Tipo de material	Densidad (kg/m ³)	k_{dens}
Fibra de vidrio	15	0,9
	20	1,1
	26	1,2
Lana de roca	26	1,0
	50	1,1

Para valores de densidad intermedios, k_{dens} se puede interpolar linealmente.

5.3 COEFICIENTE DE POSICIÓN

El coeficiente de posición de un revestimiento de una sola capa se obtiene de la tabla 5.3. Dicha tabla se divide en dos partes, en función de si el panel está en la cara expuesta al fuego o en la no expuesta. Para ambos casos, el valor del coeficiente depende del relleno del entramado.

Si el elemento considerado es un forjado expuesto al fuego por la cara inferior, los valores de la tabla 5.3 deben multiplicarse por 0,8. El coeficiente de posición de una cavidad vacía o de un panel de aislamiento térmico es $k_{pos}=1$.

Tabla 5.3. Coeficiente de posición $k_{pos,i}^{(2)}$ para recubrimientos de una sola capa

Tipo de recubrimiento	Espesor (mm)	Cara expuesta		Cara no expuesta				
		Relleno del entramado		Relleno del entramado				
		Lana de roca/ fibra de vidrio	vacío	Fibra de vidrio	Espesores de lana de roca ⁽¹⁾			vacío
45 a 95 mm	145 mm				195 mm			
Contrachapado ($\rho \geq 4,5\text{kN/m}^3$)	9 a 25	$\min \left \frac{0,02 \cdot h_p + 0,54}{1} \right $	0,8	$0,07 \cdot h_p - 0,17$	1,5	3,9	4,9	0,6
Tableros de fibras o partículas ($\rho \geq 6,0\text{kN/m}^3$)	9 a 25	$\min \left \frac{0,02 \cdot h_p + 0,54}{1} \right $	0,8	$0,07 \cdot h_p - 0,17$	1,5	3,9	4,9	0,6
Paneles de madera ($\rho \geq 4,0\text{kN/m}^3$)	15	$\min \left \frac{0,02 \cdot h_p + 0,54}{1} \right $	0,8	0,45	1,5	3,9	4,9	0,6
	19	$\min \left \frac{0,02 \cdot h_p + 0,54}{1} \right $		0,67				
Placas de yeso (tipo A, F, R o H)	9 a 15	$\min \left \frac{0,02 \cdot h_p + 0,54}{1} \right $	0,8	$0,07 \cdot h_p - 0,17$	1,5	3,9	4,9	0,7

h_p es el espesor del panel en mm.

(1) Para valores intermedios, se puede interpolar linealmente.

(2) Si el elemento considerado es un forjado expuesto al fuego por la cara inferior, los valores de la $k_{pos,i}$ deben multiplicarse por 0,8.

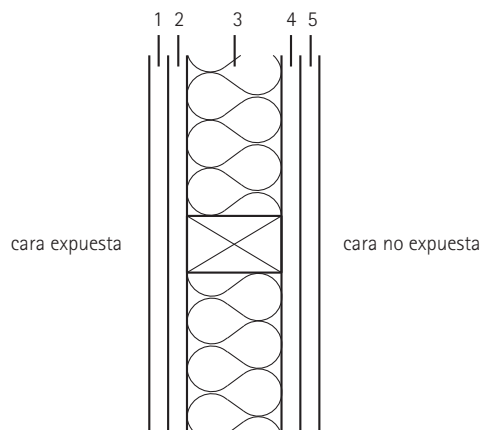
Para entramados de muros recubiertos con varias capas, los coeficientes de posición deben tomarse de

la tabla 5.4. La posición de cada capa se describe en la figura 5.1.

Tabla 5.4. Coeficiente de posición $k_{pos,i}$ para muros con recubrimientos de varias capas

Disposición constructiva		Número de capa				
Capa	Materiales	1	2	3	4	5
1,2,4,5	Panel de madera o derivados	0,7	0,9	1,0	0,5	0,7
3	Vacío					
1,2,4,5	Panel de yeso tipo A o H	1,0	0,8	1,0	0,8	0,7
3	Vacío					
1,5	Panel de yeso tipo A o H	1,0	0,8	1,0	0,8	0,7
2,4	Panel de madera o derivados					
3	Vacío					
1,5	Panel de madera o derivados	1,0	0,6	1,0	0,8	0,7
2,4	Panel de yeso tipo A o H					
3	Vacío					
1,2,4,5	Panel de madera o derivados	0,7	0,6	1,0	1,0	1,5
3	Lana de roca					
1,2,4,5	Panel de yeso tipo A o H	1,0	0,6	1,0	0,9	1,5
3	Lana de roca					
1,5	Panel de yeso tipo A o H	1,0	0,8	1,0	1,0	1,2
2,4	Panel de madera o derivados					
3	Lana de roca					
1,5	Panel de madera o derivados	1,0	0,6	1,0	1,0	1,5
2,4	Panel de yeso tipo A o H					
3	Lana de roca					

Figura 5.1. Disposición de las capas de revestimiento



5.4. COEFICIENTE DE JUNTA

El coeficiente de junta, k_j , se toma igual a 1 en los siguientes casos:

- cuando tras la junta se coloque un cubrejuntas de, al menos, el mismo espesor que el panel exterior, o un elemento estructural;

- cuando el revestimiento se haga con tableros de madera maciza;

- en las juntas entre elementos de aislamiento.

En los demás casos, el valor del coeficiente k_j se tomará de las tablas 5.5 o 5.6.

Tabla 5.5. Coeficiente de junta k_j para tableros derivados de madera

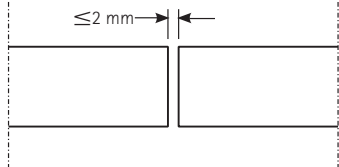
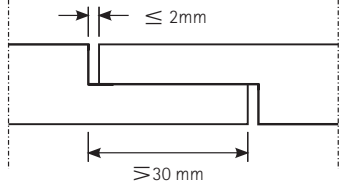
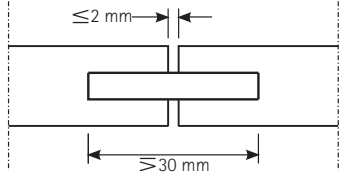
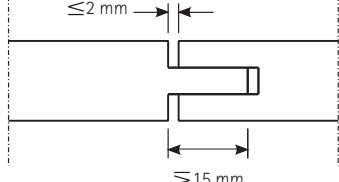
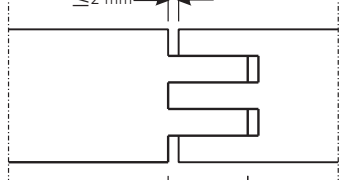
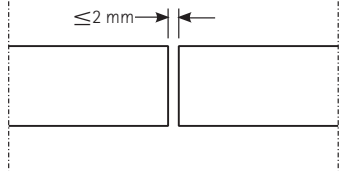
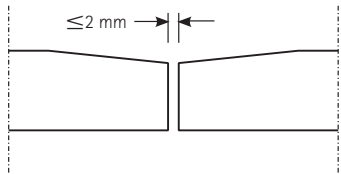
Tipo de junta	k_j
	0,2
	0,3
	0,4
	0,4
	0,6

Tabla 5.6. Coeficiente de junta k_j para paneles de yeso

Tipo de junta	Tipo de yeso	k_j	
		Juntas llenas	Juntas abiertas
	A, H o F	1,0	0,2
	A, H o F	1,0	0,15

En la tabla 5.7, se han calculado los tiempos de aislamiento totales para distintas combinaciones de revestimientos exteriores de una capa. Los coeficientes de posición empleados son los correspondientes a entramados de muro. Se pueden emplear para forjados multiplicando, conservadoramente, el tiempo obtenido en la tabla por 0,8. Para el cálculo de los tiempos de la tabla, se han adoptado las siguientes simplificaciones:

- Los tiempos calculados se han determinado suponiendo el coeficiente de junta, k_j , igual a la unidad.
- se ha considerado una densidad de la fibra de vidrio de 15 kg/m^3 ;
- se ha considerado una densidad de la lana de roca 26 kg/m^3 ;
- en el caso de cámaras vacías, el espesor varía entre 45 y 200 mm.

Véase tabla 5.7. en página siguiente

Tabla 5.7. Tiempos de aislamiento para distintas configuraciones de revestimientos y aislamientos

		Cara no expuesta																																		
		Espesor recubrimiento cara no expuesta						Espesor recubrimiento cara no expuesta						Espesor recubrimiento cara no expuesta																						
Revestimiento	Espesor	9		12		15		18		21		24		27		30		33																		
		Lana de roca	Fibra de vidrio	Lana de roca	Fibra de vidrio	Lana de roca	Fibra de vidrio	Lana de roca	Fibra de vidrio	Lana de roca	Fibra de vidrio	Lana de roca	Fibra de vidrio	Lana de roca	Fibra de vidrio	Lana de roca	Fibra de vidrio	Lana de roca	Fibra de vidrio																	
		Espesor lana (mm)		Espesor fibra (mm)		Espesor lana (mm)		Espesor fibra (mm)		Espesor lana (mm)		Espesor fibra (mm)		Espesor lana (mm)		Espesor fibra (mm)		Espesor lana (mm)		Espesor fibra (mm)																
Contrachapado	9	45	60	75	90	45	60	75	90	45	60	75	90	45	60	75	90	45	60	75	90															
	12	27	30	33	36	14	15	16	18	18	32	35	38	41	18	19	21	22	20	36	39	42	45	22	24	25	26	22	40	43	46	49	28	30	31	32
	15	30	33	36	39	16	18	19	20	21	35	38	41	44	21	22	24	25	22	39	42	45	48	25	26	28	29	24	43	46	49	52	31	32	34	35
	18	33	36	39	42	19	21	22	24	23	38	41	44	47	24	25	27	28	24	42	45	48	51	28	29	31	32	26	46	49	52	55	34	36	37	38
Tableros	9	40	43	46	49	23	24	26	27	25	42	45	48	51	27	29	30	31	27	45	48	51	54	31	33	34	36	28	50	53	56	59	38	39	40	42
	12	30	33	36	39	15	17	18	19	21	36	39	42	45	20	22	23	24	22	40	43	46	49	25	27	28	29	24	45	48	51	54	32	34	35	36
	15	34	37	40	43	18	20	21	22	23	39	42	45	48	24	25	26	28	25	44	47	50	53	28	30	31	32	27	48	51	54	57	35	37	38	39
	18	37	40	43	46	22	23	25	26	26	43	46	49	52	27	28	30	31	28	47	50	53	56	32	33	35	36	30	52	55	58	61	39	40	42	43
Paneles	9	44	47	50	53	26	27	29	30	29	47	50	53	56	31	32	34	35	30	51	54	57	60	36	37	39	40	32	56	59	62	65	43	44	46	47
	12	21	24	27	30	12	13	14	15	12	21	24	27	30	13	14	15	16	13	23	26	29	32	15	16	17	18	14	25	28	31	34	19	20	21	22
	15	20	23	26	29	13	14	15	16	13	23	26	29	32	14	15	16	17	14	24	27	30	33	15	16	17	18	15	27	30	33	36	19	20	21	22
	18	22	25	28	31	14	15	16	17	14	24	27	30	33	15	16	17	18	15	26	29	32	35	13	14	15	16	16	28	31	34	37	14	15	17	18
Paneles yeso	9	24	27	30	33	16	17	18	19	16	27	30	33	36	17	18	19	20	17	28	31	34	37	17	19	20	21	18	31	34	37	40	18	20	21	22
	12,5	36	39	42	45	18	20	21	22	25	44	47	50	53	25	26	28	29	27	49	52	55	58	31	32	34	35	27	49	52	55	58	31	32	34	35
	15	41	44	47	50	23	25	26	27	29	49	52	55	58	30	31	32	34	31	54	57	60	63	36	37	39	40	31	54	57	60	63	36	37	39	40
	18	45	48	51	54	27	28	30	31	32	52	55	58	61	34	35	36	38	34	58	61	64	67	40	41	42	44	34	58	61	64	67	40	41	42	44

6. RESISTENCIA AL FUEGO DE LA MADERA. CAPACIDAD PORTANTE

6.1. GENERALIDADES

En el caso de comprobaciones de las exigencias relativas al Requisito Básico de Seguridad en caso de Incendio, el procedimiento es muy parecido al que debe seguirse para las comprobaciones de Seguridad Estructural a temperatura ambiente.

De nuevo, se trata de comparar el efecto de las acciones con la resistencia en caso de incendio. El caso del fuego es un poco diferente al del resto de acciones accidentales, ya que no se trata de una acción en sí misma, sino que lo que produce es una pérdida en las capacidades resistentes de los materiales, pérdida de sección en el caso de la madera.

En cualquier caso, se trata de verificar la inecuación:

$$E_{fi,d} < R_{fi,d}$$

En el resto del apartado se determina el valor de los dos términos de la inecuación.

Para determinar la resistencia de una estructura o elemento estructural de madera, la norma EN-1995-1-2

(Eurocódigo 5) propone dos métodos: el método de la sección residual y el método de la resistencia y rigidez reducidas. Simplificando, se puede decir que ambos son similares al método de la isoterma 500 que se emplea en las estructuras de hormigón armado.

En ambos casos, hay que determinar un límite de la zona carbonizada, para posteriormente evaluar la resistencia de la zona sin carbonizar, que se hará de manera distinta según el método empleado. En general, para escuadrias grandes (mayores de 5cm) se pueden emplear ambos métodos. En escuadrias pequeñas, como las de los entramados ligeros, el método de las propiedades reducidas es el más indicado, ya que es frecuente que el método de la sección reducida "acabe" con toda la sección. Para mejorar su comportamiento, es recomendable que los espacios entre piezas se rellenen con material aislantes. En este caso podría considerarse que la exposición al fuego se produce por una sola cara, siempre y cuando pueda asegurarse que estos elementos aislantes permanecerán en su sitio una vez que falle la protección exterior. En la figura 6.1 se muestra de forma esquemática la distribución del aislante en las cavidades de los entramados.

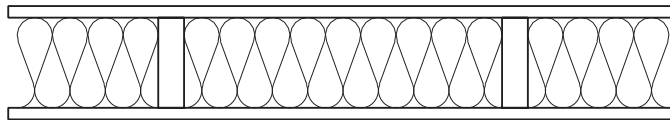


Figura 6.1. Entramados con cavidades llenas de aislamiento

6.2. EFECTO DE LAS ACCIONES

De acuerdo con el DB SE, se debe calcular el efecto de las acciones en caso de situación extraordinaria. De esta forma, la combinación de acciones que hay que emplear es la siguiente:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \gamma_p \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

En el caso de situaciones extraordinarias, los coeficientes parciales de seguridad de las acciones se igualan a 1. Si eliminamos

el término de la acción del pretensado y de la acción accidental, la expresión anterior queda:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} \cdot G_{kj} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Es decir, hay que calcular el efecto que producen las acciones con estas nuevas combinaciones. Salvo para edificios situados por encima de 1.000 m, o edificios con distintos tipos de sobrecarga de uso, el coeficiente ψ_2 es 0, lo que hace que la combinación de acciones más desfavorable sea la que considera la sobrecarga de uso como acción principal, multiplicada

por su coeficiente de simultaneidad ψ_1 , sin acciones concomitantes.

Con este grupo de acciones, se deben determinar los momentos ($M_{Sd,fi}$), axiles ($N_{Sd,fi}$) y cortantes ($V_{Sd,fi}$) a los que estará sometida la estructura, o lo que es lo mismo, E_{fi} .

6.3. CAPACIDAD RESISTENTE

6.3.1. Propiedades de los materiales

En caso de incendio, se considera que las características mecánicas de los materiales en la parte no carbonizada de la madera permanecen constantes durante el incendio. Además, tanto la resistencia como el módulo de elasticidad a considerar en caso de incendio es la resistencia (o módulo) característica multiplicada por un coeficiente k_{fi} , que se toma de la tabla 6.1.

Tipo de madera	k_{fi}
Madera maciza	1,25
Madera laminada encolada	1,15
Tableros derivados de la madera	1,15
Madera microlaminada	1,10
Uniones con elementos laterales de madera y tableros derivados de madera	1,15
Uniones con placas de acero externas	1,05

Tabla 6.1. Valor del coeficiente k_{fi}

Por otro lado, el coeficiente de modificación, k_{mod} , debe sustituirse por el coeficiente de modificación en caso de incendio, $k_{mod,fi}$, que depende del tipo de método empleado para determinar la capacidad resistente. El valor que adoptará este coeficiente se describe más adelante, según cada caso. El coeficiente parcial de seguridad del material en situaciones accidentales es $\gamma_{M,fi} = 1,0$. Expresado globalmente en forma de ecuación, cualquier resistencia de la madera (a flexión, a compresión, a tracción, etc.) se calculará como:

$$f_{d,fi} = K_{mod,fi} \frac{K_{fi} \cdot f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

6.3.2. Método de la sección eficaz

El método que se propone en el anejo E del DB SI es el de la sección eficaz. La idea fundamental es que en el transcurso del incendio, se carboniza una parte de la sección de madera, cuya resistencia se desprecia, quedando una parte de la sección "sana", de la que se considera que no ha perdido propiedades resistentes. Este modelo se puede observar esquemáticamente en la figura 6.2.

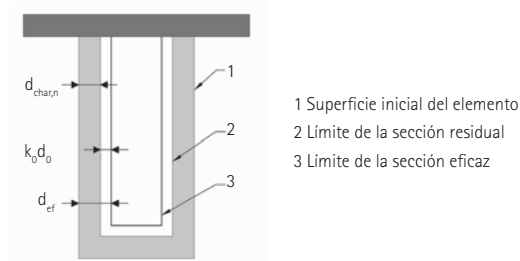


Figura 6.2. Sección eficaz de un elemento de madera en caso de incendio

En el espesor total de la zona que se desprecia (d_{ef}), se incluye la zona carbonizada, de profundidad d_{char} , al que se añade un espesor adicional, de espesor $k_0 d_0$. El término d_{char} incluye la zona de pirólisis y, en su caso, los efectos de redondeo de las esquinas, mientras que el segundo término simplifica la pérdida de capacidad resistente en la zona contigua a la parte quemada. Esto se representa mediante la ecuación:

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 d_0$$

Una vez que se tenga determinada la sección resistente, descontada la zona carbonizada, se puede determinar la capacidad resistente, tanto a flexión como a compresión o a cortante. Aunque en la figura se representa el esquema de una viga, el método es igualmente válido para soportes u otros elementos estructurales. Sólo hay que tener en cuenta las caras expuestas al fuego en cada caso.

La profundidad de la zona carbonizada, d_{char} , se determina según el apartado 6.3.4.

El valor del producto $k_0 d_0$ depende de si la sección que estamos considerando se encuentra o no protegida por tableros de madera o placas de yeso laminado, ya que depende de los tiempos de carbonización del elemento de protección. Estos tiempos se determinan en el apartado 6.3.6.4. Hay que tener en cuenta lo siguiente:

- se adoptará $d_0 = 7$ mm para todos los casos

- en superficies no protegidas o con protecciones con $t_{ch} \leq 20$ min., $k_0 = 1$ para tiempos superiores a 20 min y $k_0 = t/20$ para tiempos entre $t = 0$ y $t = 20$ min.
- en superficies protegidas con $t_{ch} > 20$ min., $k_0 = 1$ para tiempos superiores a t_{ch} y $k_0 = t/t_{ch}$ para tiempos entre $t = 0$ y $t = t_{ch}$.

Cuando se emplee el método de la sección reducida, el coeficiente de modificación en caso de incendio, $k_{mod,fi} = 1$ en todos los casos.

6.3.3. Método de la resistencia y rigidez reducidas

Este método no se encuentra recogido en el DB SI, aunque es perfectamente válido emplearlo al venir de una norma reconocida como es la EN-1995-1-2 (Eurocódigo 5, parte 1-2). Sólo es de aplicación en caso de fuego por tres o

cuatro caras, o en secciones circulares expuestas en todo su perímetro. El método consiste en determinar una sección reducida, eliminando la parte de la madera carbonizada, ($d_{char,t}$), y evaluar la capacidad resistente de la parte sin carbonizar. Al igual que antes, la profundidad de la zona carbonizada se determina según el apartado 6.3.4. La resistencia de la madera sin carbonizar, se modifica por un coeficiente de modificación, $k_{mod,fi}$ que depende del factor de forma de la sección quemada, es decir, la relación perímetro expuesto de la zona residual/área de la zona residual. El valor de este factor de forma debe calcularse con las dimensiones en metros.

A diferencia del método de la sección reducida, el valor del coeficiente $k_{mod,fi}$ es variable, y depende de las diferentes resistencias de la madera (a flexión, a compresión y a tracción). Para tiempos superiores a 20 minutos, el valor de los distintos $k_{mod,fi}$ se puede determinar a partir de las expresiones de la tabla 6.2.

Tipo de esfuerzo	$k_{mod,fi}$
Resistencia a flexión	$1 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r}$
Resistencia a compresión	$1 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r}$
Resistencia a tracción	$1 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r}$

P: perímetro de la sección residual.

A_r : área de la sección residual.

Tabla 6.2. Valor del coeficiente $k_{mod,fi}$ para el método de las propiedades reducidas

En el instante inicial ($t=0$), se considera que $k_{mod,fi} = 1$. Para tiempos entre 0 y 20 minutos, para elementos no protegidos, se puede interpolar linealmente entre 1 y el valor correspondiente de $k_{mod,fi}$ a tiempo $t=20$.

6.3.4. Profundidad de la zona carbonizada, d_{char}

La profundidad de la zona carbonizada, d_{char} , en cada dirección depende del tiempo (t) que dure el incendio y la velocidad de carbonización de la madera, β :

$$d_{char} = \beta \cdot t$$

A su vez, la velocidad de carbonización depende del tipo de madera, de si la exposición se produce por uno o varios

lados, y de si el elemento estructural está o no protegido, y del tipo de protección. En el caso de elementos protegidos, la carbonización puede empezar porque falle el elemento de protección, o bien porque éste sea consumido por el propio incendio. El instante en que el elemento protegido comienza a carbonizarse se denomina $t_{char,t}$ y el instante en que falla la protección recibe el nombre de t_p .

6.3.4.1. Velocidad de carbonización

La velocidad de carbonización depende del tipo de madera y de si la exposición al fuego se produce por uno o varios lados.

Si se considera la carbonización de un elemento en varias direcciones (fuego por varias caras), se emplea una

velocidad de carbonización nominal, β_n , que tiene en cuenta los redondeos producidos en las esquinas y las fendas. Si lo que se está analizando es la carbonización en una sola dirección (fuego por una sola cara), se debe

emplear la velocidad de carbonización básica, β_0 , que sólo tiene en cuenta el avance del fuego en la madera. Las distintas velocidades de carbonización, β , se tomarán de la tabla 6.3.

Tabla 6.3. Velocidades de carbonización

	β_n (mm/min)	β_0 (mm/min)
Coníferas y haya Madera laminada encolada con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ Madera maciza con densidad característica $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,70 0,80	0,65 0,65
Fronosas Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica de 290 kg/m^3 (1) Madera maciza o laminada encolada de frondosas con densidad característica $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,70 0,55	0,65 0,5
Madera microlaminada Con una densidad característica $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,70	0,65

(1) Para maderas con densidades entre 290 y 450 kg/m^3 , la velocidad se puede interpolar linealmente.

De esta forma, si el elemento que estamos considerando está expuesto al fuego por varias caras, habrá que determinar la profundidad de carbonización nominal $d_{char,n}$:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

Si el fuego sólo avanza por una cara, entonces calculamos la profundidad básica:

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t$$

6.3.5. Elementos no protegidos

En este caso, se considera que la madera se consume a un ritmo constante, que depende únicamente del tipo de madera y del número de caras expuestas. Esquemáticamente, se puede observar en la figura 6.3. Los valores de velocidad de carbonización se toman de la tabla 6.3, según corresponda.

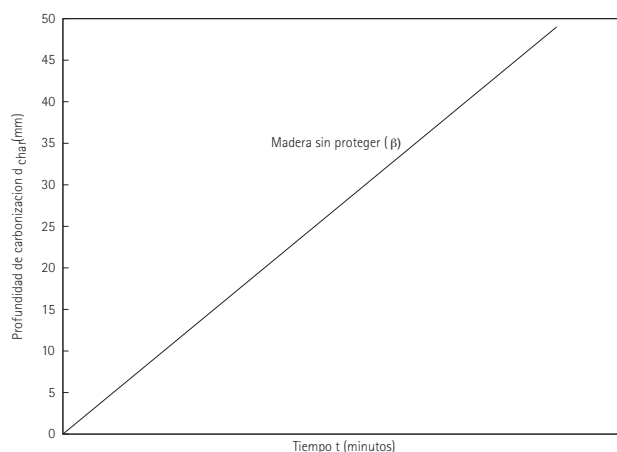


Figura 6.3. Profundidad de carbonización de la madera sin proteger

6.3.6. Elementos protegidos

En el caso de que el elemento estructural se encuentre protegido, pasará un tiempo antes de que comience a carbonizarse. Este tiempo se denomina tiempo de carbonización, t_{char} . En función del tipo de elemento protector (madera, lana de roca o yeso), puede suceder que éste se carbonice completamente o que falle antes de consumirse completamente. Al instante en que falla el elemento de protección se le denomina t_f .

6.3.6.1. Protección con tableros de madera

En el caso de elementos protegidos con tableros de madera se considera que el fallo del elemento de protección se produce en el momento en que comienza a carbonizarse el elemento protegido. Dicho de otra manera $t_{char} = t_f$. Para asegurar este comportamiento, los elementos de fijación deben calcularse de acuerdo con el apartado 6.3.6.4.

La carbonización del elemento protegido se produce en dos fases, una vez alcanzado el tiempo de carbonización (t_{char}). En la primera, la velocidad de carbonización es el doble de la que correspondería al elemento sin proteger (2β). Esta velocidad se mantiene hasta que se alcanza una profundidad de carbonización de 25 mm o hasta que alcance la profundidad de carbonización correspondiente a la madera sin proteger, momento a partir del cual la velocidad de carbonización corresponde a la de la madera sin proteger (figura 6.4).

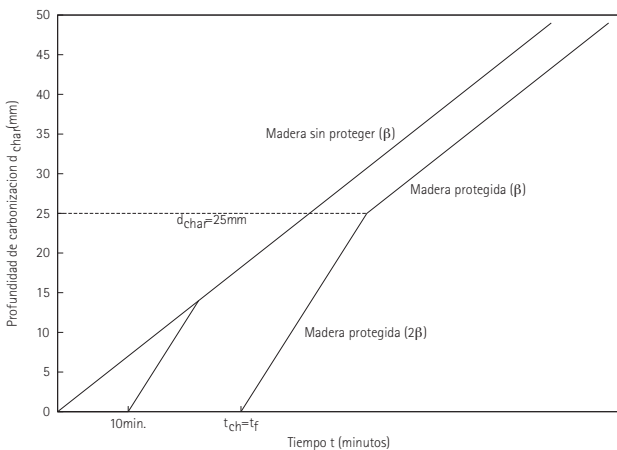


Figura 6.4. Profundidad de carbonización de la madera protegida con tableros de madera

6.3.6.2. Protección con lana de roca

Cuando el elemento protector es lana de roca, el elemento protegido comienza a carbonizarse antes de que se produzca el fallo en la lana. Al igual que en el caso anterior, el elemento protegido comienza a carbonizarse a partir del instante t_{char} , en tres fases en este caso. La primera fase corresponde al intervalo entre que comienza la carbonización del elemento protegido y el fallo del elemento de protección. Durante este tiempo, la lana de roca protege al elemento estructural, haciendo que tenga una velocidad de carbonización menor de la que tendría si no estuviera protegido. En esta fase, la velocidad de carbonización es $k_2 \cdot \beta$, siendo k_2 un coeficiente reductor de la velocidad de carbonización de la madera sin proteger. El valor del coeficiente k_2 se obtiene de la tabla 6.4. A partir de este momento, y hasta que se alcanza una profundidad de carbonización en el elemento protegido de 25 mm, la velocidad de carbonización es de 2β . Una vez se alcanza esta profundidad, la velocidad de carbonización corresponde a la de la madera sin proteger (figura 6.5).

6.3.6.3. Protección con placas de yeso laminado

La protección de los elementos estructurales puede hacerse con placas de yeso laminado, siendo el modelo de comportamiento idéntico al de las protecciones con lana de roca descritas en el apartado anterior.

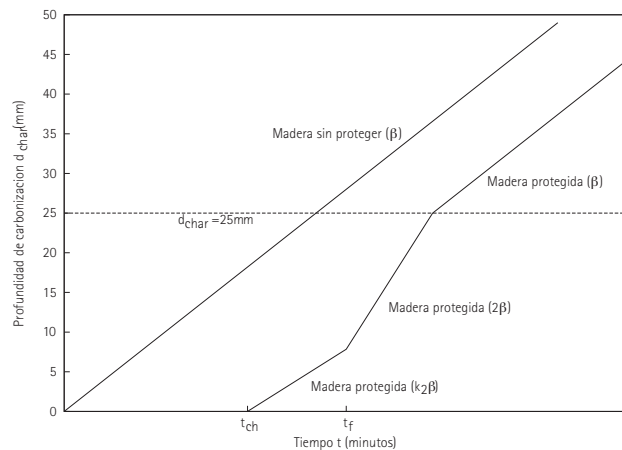


Figura 6.5. Profundidad de carbonización de la madera protegida con lana de roca

Tabla 6.4. Velocidad de carbonización de los tableros de protección, β_0

Tipo de protección	k_2
Lana de roca ⁽¹⁾⁽²⁾	
$h_{ins}=20$ mm	1
$h_{ins} \geq 45$ mm	0,6
Placas de yeso laminado ⁽³⁾	$1-0,018h_p$

h_{ins} es el espesor de la lana de roca; h_p el espesor de la placa de yeso.

(1) La densidad debe ser mayor de 26kg/m^3 , y deben mantener la cohesión hasta 1000°C .

(2) Para valores entre 20 y 45 mm. se puede interpolar linealmente.

(3) Si sólo se coloca una placa de yeso, esta deberá ser de tipo F. Si se colocan dos, la exterior será de tipo F y la interior de tipo A o H.

Las placas de yeso laminado pueden disponerse en una o dos capas. Si se emplea una única capa de protección, ésta será obligatoriamente de yeso del tipo F. Si se emplean dos, la exterior será necesariamente de tipo F y la interior de tipo A o H.

6.3.6.4. Tiempos de carbonización y de fallo de los elementos de protección

Una vez que tenemos determinadas las velocidades de carbonización, necesitamos conocer los puntos en que éstas van cambiando, esto es, t_{char} y t_r .

Tiempo de carbonización, t_{char}

En el caso de vigas o soportes protegidos con uno o varios tableros de madera, el instante de carbonización depende del espesor total de los mismos (h_p) y de la velocidad de carbonización de los tableros de protección (β_0), según la expresión:

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_0}$$

β_0 puede tomarse de la tabla 6.5, siendo la densidad habitual 450kg/m^3 .

Los elementos de entramado (muros o forjados), en general, son especialmente sensibles a la acción del incendio debido a que se emplean escuadrías pequeñas. En estos casos, el tiempo de carbonización debe corregirse a la baja, a partir de la expresión:

$$t_{ch} = \frac{h_p}{\beta_0} - 4$$

Si la protección se realiza con mantas de lana de roca, el tiempo de carbonización se determina mediante la expresión:

$$t_{ch} = 0,07(h_{ins} - 20)\sqrt{\rho_{ins}}$$

siendo:

h_{ins} espesor del material aislante en milímetros;
 ρ_{ins} densidad del material aislante en kg/m^3 .

Tabla 6.5. Velocidad de carbonización, β_0 , de los tableros de protección de madera

Espesor (mm)	Densidad			
	250kg/m^3	350kg/m^3	450kg/m^3	550kg/m^3
5	2,7	2,3	2,0	1,8
10	1,9	1,7	1,5	1,3
15	1,6	1,4	1,2	1,1
≥ 20	1,4	1,2	1,0	1,0

En el caso de que la protección se lleve a cabo con placas de yeso laminado, el instante en que se inicia la carbonización depende de la proximidad del elemento protegido a las juntas entre paneles. Si está lejos de las juntas, o si, estando cerca, estas están selladas o miden menos de 2 mm, el tiempo de fallo se determina mediante la expresión:

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14$$

siendo h_p el espesor del panel de yeso. Si las juntas tienen una apertura mayor de 2mm, la expresión anterior debe corregirse a la baja:

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 23$$

Cuando la protección consiste de dos capas de placas de yeso laminado, se pueden emplear las expresiones anteriores siempre que se garantice que las dos capas permanecerán unidas y fallarán simultáneamente. La proximidad a las juntas se considerará en estos casos respecto a la capa exterior.

En la tabla 6.6, se dan los tiempos de carbonización, t_{ch} , para distintos espesores y materiales.

Tiempo de fallo

El fallo del revestimiento de protección contra el fuego puede ocurrir por los siguientes motivos:

- carbonización o degradación mecánica del material del revestimiento;
- insuficiente longitud de penetración de los elementos de fijación en la zona no carbonizada de la madera;
- separación o distancias inadecuadas de los elementos de fijación.

El tiempo de fallo de placas de yeso laminado de tipo F debe determinarse mediante ensayos, y será el fabricante del panel el que proporcione dicho tiempo en las especificaciones técnicas del producto.

Tabla 6.6. Tiempos de carbonización de los paneles de protección

Espesor (mm)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Tableros de madera										
250 kg/m ³	1,86	5,27	9,68	14,91	20,83	27,39	34,51	42,16	50,31	58,93
350 kg/m ³	2,20	6,24	11,46	17,64	24,65	32,40	40,83	49,89	59,53	69,72
450 kg/m ³	2,50	7,07	12,99	20,00	27,95	36,74	46,30	56,57	67,50	79,06
550 kg/m ³	2,76	7,82	14,36	22,11	30,90	40,62	51,19	62,54	74,62	87,40
Lana de roca										
20 kg/m ³					1,57	3,13	4,70	6,26	7,83	9,39
50 kg/m ³					2,47	4,95	7,42	9,90	12,37	14,85
100 kg/m ³					3,50	7,00	10,50	14,00	17,50	21,00
150 kg/m ³					4,29	8,57	12,86	17,15	21,43	25,72
200 kg/m ³					4,95	9,90	14,85	19,80	24,75	29,70
Paneles yeso										
Cerca de juntas		14,00	28,00	42,00	56,00	70,00	84,00	98,00	112,00	126,00
Lejos de juntas		5,00	19,00	33,00	47,00	61,00	75,00	89,00	103,00	117,00

Cuando se empleen como elementos de protección paneles de madera, o placas de yeso laminado de tipo A o H, o no se disponga de datos experimentales, se considerará que el tiempo de fallo es el mismo que el tiempo de carbonización, $t_f = t_{char}$. Por lo tanto, debe asegurarse que los elementos de fijación penetran, al menos, 10 mm en la zona no carbonizada ($l_a \geq 10$ mm). De esta forma, la longitud requerida del elemento de fijación se determinará mediante la expresión siguiente:

$$l_{f,req} = h_p + d_{char,0} + l_a$$

siendo:

- h_p espesor del tablero;
- $d_{char,0}$ profundidad de carbonización en el elemento de madera;
- l_a longitud mínima de penetración del elemento de fijación en la zona no carbonizada de la madera. Al menos debe tomarse $l_a = 10$ mm.

6.3.7. Resistencia a flexión

Si tenemos una viga sometida a fuego por tres caras, el área residual, para un tiempo determinado es

$$\begin{aligned} b_{fi,\theta} &= b - 2d_{ef} \\ h_{fi,\theta} &= h - d_{ef} \end{aligned}$$

El momento máximo que aguanta la sección es:

$$M_{Rd,fi,\theta} = f_{d,fi} \cdot W_{fi,\theta} = f_{d,fi} \cdot b_{fi,\theta} \cdot h_{fi,\theta}^2 / 6$$

Lo único que queda comprobar por tanto es que:

$$M_{Rd,fi,\theta} > M_{Sd,fi}$$

En la tabla 6.8 se han tabulado los valores de tiempo, en minutos, que resisten las secciones de madera laminada y microlaminada en función del canto, ancho, y el nivel de carga respecto de la carga de rotura.

6.3.8 Resistencia a corte

Por lo general, las tensiones de cortante en vigas son bajas. Por lo tanto, y adoptando el criterio del DB SI, no es necesaria la comprobación a corte en caso de incendio de elementos de madera (apartado E.3.1). Sin embargo, en casos especiales en los que el criterio de dimensionado haya sido el del esfuerzo cortante, puede ser necesaria la comprobación en caso de incendio.

6.3.9. Resistencia a flexocompresión

El análisis es similar al que debe realizarse para el caso de elementos en flexión. Básicamente se trata de comprobar la capacidad resistente de la pieza teniendo en cuenta las cargas en caso de incendio ($N_{Sd,fi}$) y el cambio en la geometría de la sección. En el caso de un soporte sometido a fuego por las cuatro caras, esta es:

$$\begin{aligned} b_{fi,\theta} &= b - 2d_{rf} \\ h_{fi,\theta} &= h - 2d_{ef} \\ A_{fi,\theta} &= b_{fi,\theta} \cdot h_{fi,\theta} \end{aligned}$$

La verificación a realizar es:

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{\chi_{cc} f_{c,0,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} + K_m \frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,z,d,fi}} &\leq 1 \\ \frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{\chi_{cc} f_{c,0,d,fi}} + K_m \frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{f_{m,y,d,fi}} + \frac{\sigma_{m,z,d,fi}}{f_{m,z,d,fi}} &\leq 1 \end{aligned}$$

En las expresiones anteriores χ_{cc} es el coeficiente de pandeo calculado con la geometría del soporte en caso de incendio. χ_{cc} se puede tomar de la tabla 6.1 del DB SE-M, o de la tabla 6.7 de este documento. La diferencia entre ambas tablas es que la del DB está calculada con un módulo de elasticidad $E_{0,k}$, para dimensionado bajo combinación de acciones características, y la de este apartado está calculada con $E_{0,medio}$, más afinado para las situaciones accidentales.

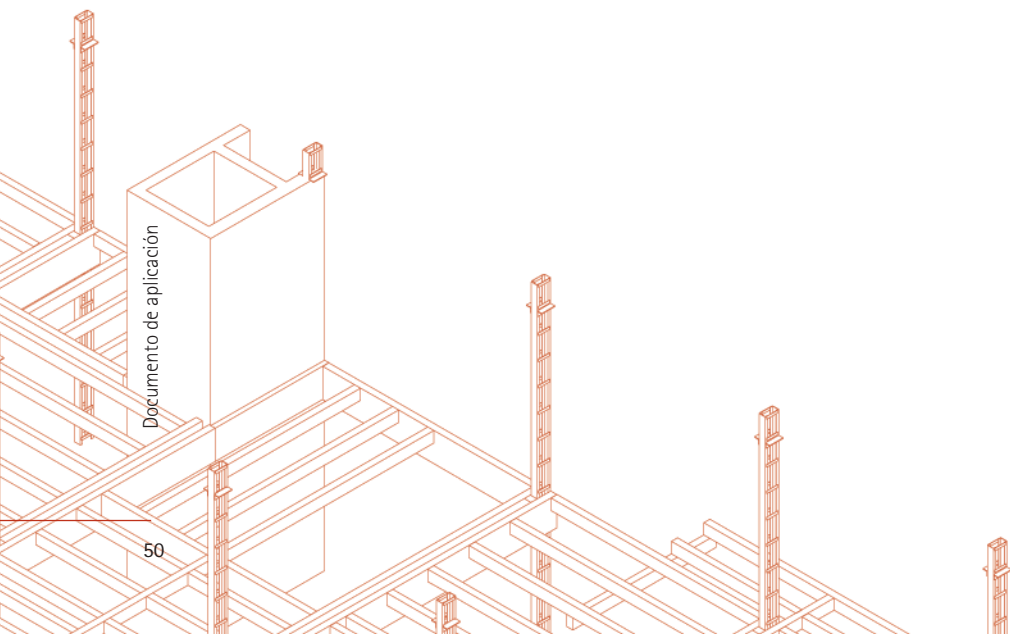
Tabla 6.7. Valores del factor de pandeo χ_c ($\chi_{c,y}$ o $\chi_{c,z}$) para la diferentes clases resistentes de madera maciza y laminada en función de la esbeltez mecánica y la clase resistente

Clase resistente	Esbeltez mecánica de la pieza																		
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200
C14	1,00	0,96	0,91	0,85	0,75	0,64	0,53	0,44	0,37	0,31	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10
C16	1,00	0,97	0,92	0,86	0,77	0,67	0,56	0,47	0,39	0,33	0,28	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11
C18	1,00	0,97	0,93	0,87	0,79	0,69	0,59	0,49	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12
C20	1,00	0,97	0,93	0,87	0,79	0,69	0,59	0,49	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12
C22	1,00	0,97	0,93	0,87	0,79	0,69	0,59	0,49	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12
C24	1,00	0,97	0,93	0,88	0,80	0,71	0,61	0,51	0,43	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12
C27	1,01	0,97	0,94	0,89	0,81	0,72	0,62	0,53	0,45	0,38	0,33	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13
C30	1,00	0,97	0,93	0,88	0,80	0,71	0,60	0,51	0,43	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12
C35	1,00	0,97	0,93	0,88	0,80	0,71	0,60	0,51	0,43	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15	0,13	0,12
C40	1,01	0,97	0,94	0,88	0,81	0,72	0,62	0,52	0,44	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12
C45	1,01	0,98	0,94	0,89	0,82	0,73	0,63	0,53	0,45	0,39	0,33	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13
C50	1,01	0,98	0,94	0,89	0,82	0,73	0,63	0,53	0,45	0,38	0,33	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13
D30	1,00	0,96	0,91	0,85	0,75	0,64	0,53	0,44	0,37	0,31	0,27	0,23	0,20	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10
D35	1,00	0,96	0,90	0,83	0,72	0,60	0,50	0,41	0,34	0,29	0,25	0,21	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09
D40	1,00	0,96	0,91	0,84	0,74	0,63	0,52	0,43	0,36	0,30	0,26	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10
D50	1,00	0,97	0,92	0,87	0,78	0,68	0,57	0,48	0,40	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11
D60	1,01	0,97	0,93	0,88	0,81	0,71	0,61	0,52	0,44	0,37	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12
D70	1,01	0,98	0,94	0,90	0,83	0,75	0,65	0,56	0,47	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,18	0,16	0,15	0,13
GL24h	1,00	0,98	0,96	0,92	0,86	0,76	0,63	0,52	0,43	0,36	0,31	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12
GL28h	1,00	0,98	0,96	0,92	0,86	0,75	0,63	0,52	0,43	0,36	0,31	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,13	0,11
GL32h	1,00	0,98	0,96	0,92	0,85	0,75	0,62	0,51	0,43	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11
GL36h	1,00	0,98	0,96	0,92	0,86	0,75	0,63	0,52	0,43	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,17	0,16	0,14	0,13	0,11
GL24c	1,00	0,99	0,97	0,94	0,89	0,81	0,70	0,59	0,49	0,41	0,35	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15	0,13
GL28c	1,00	0,99	0,96	0,93	0,88	0,79	0,67	0,56	0,47	0,39	0,34	0,29	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12
GL32c	1,00	0,99	0,96	0,93	0,88	0,78	0,67	0,55	0,46	0,39	0,33	0,28	0,25	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12
GL36c	1,00	0,99	0,96	0,93	0,87	0,78	0,66	0,55	0,45	0,38	0,32	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12

Tabla 6.8. Tiempos de resistencia al fuego (en minutos) para vigas de madera laminada y microlaminada GL24

Ancho	Nivel de carga	Canto																																								
		40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	96	100	104	108	112	116	120	124	128	132	136	140	144	148	152												
8	60%	14	14	14	14	14	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15											
	55%	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17										
	50%	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18								
	45%	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20							
	40%	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23						
	35%	25	25	25	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26					
10	30%	28	28	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29						
	60%	17	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18					
	55%	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20				
	50%	22	22	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23			
	45%	25	26	26	26	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27			
	40%	29	29	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30			
12	35%	33	33	33	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34				
	30%	37	37	37	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38			
	60%	20	20	20	20	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21		
	55%	23	24	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
	50%	27	28	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	
	45%	31	32	32	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	
14	40%	36	36	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37		
	35%	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
	30%	45	45	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46
	60%	23	24	24	24	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
	55%	28	28	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	
	50%	32	33	34	34	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	
45%	37	38	38	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	
40%	42	43	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	
35%	47	48	49	49	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50		
30%	53	53	54	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55			

60%	27	27	28	29	29	30	30	31	31	31	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	33	33	33	33	33	33	
55%	32	33	33	34	34	35	35	36	36	37	37	37	37	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39	39
50%	37	38	39	39	40	40	41	41	42	42	43	43	43	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	44	45	45
45%	43	43	44	45	45	46	46	47	47	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	49	49	50	50	50	50	50	50	50
40%	48	49	50	51	51	52	52	53	53	54	54	54	54	55	55	55	55	55	55	55	55	55	56	56	56	56	56	56	56
35%	54	55	56	57	57	58	58	59	59	59	60	60	60	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61
30%	60	61	62	63	63	64	64	65	65	66	66	66	66	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
60%	30	31	32	32	33	34	34	35	35	35	36	36	36	37	37	37	37	37	37	37	37	37	38	38	38	38	38	38	38
55%	36	37	38	38	39	40	40	41	41	42	42	42	43	43	43	43	43	43	43	43	43	44	44	44	44	44	44	44	45
50%	42	43	44	44	45	46	46	47	47	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	49	49	50	50	50	50	50	50	51	51
45%	48	49	50	51	51	52	52	53	53	54	54	54	55	55	55	55	55	55	55	55	55	56	56	56	56	56	56	56	56
40%	54	55	56	57	58	58	59	59	60	60	61	61	62	62	62	62	62	62	62	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63
35%	61	62	63	64	64	65	66	66	67	67	68	68	68	69	69	69	69	69	69	69	69	70	70	70	70	70	70	70	70
30%	68	69	70	71	71	72	73	73	73	74	74	75	75	76	76	76	76	76	76	76	76	76	77	77	77	77	77	77	77
60%	33	34	35	36	37	37	38	39	39	40	40	40	41	41	42	42	42	42	42	42	42	42	43	43	43	43	43	43	43
55%	39	41	42	43	43	44	45	45	46	46	47	47	48	48	48	48	48	48	48	48	48	49	49	49	49	49	49	49	50
50%	46	47	48	49	50	51	51	52	52	53	54	54	55	55	55	55	55	55	55	55	55	56	56	56	56	56	56	56	56
45%	52	54	55	56	57	58	58	59	59	60	61	61	62	62	62	62	62	62	62	62	62	63	63	63	63	63	63	63	63
40%	59	61	62	63	64	65	66	66	67	67	68	68	69	69	69	69	69	69	69	69	69	70	70	70	70	70	70	70	70
35%	67	68	69	71	71	72	73	74	74	75	75	76	76	77	77	77	77	77	77	77	77	78	78	78	78	78	78	78	78
30%	74	76	77	78	79	80	81	81	82	82	83	83	84	84	85	85	85	85	85	85	85	86	86	86	86	86	86	86	86
60%	36	38	39	40	40	41	42	42	43	43	44	44	45	45	46	46	46	46	46	46	46	47	47	47	47	47	47	47	48
55%	43	44	45	47	47	48	49	50	51	51	52	52	53	53	54	54	54	54	54	54	54	55	55	55	55	55	55	55	56
50%	50	51	53	54	55	56	56	57	58	58	59	59	60	60	61	61	61	61	61	61	61	62	62	62	62	62	62	62	63
45%	57	59	60	61	62	63	64	65	65	66	66	67	68	68	69	69	69	69	69	69	69	70	70	70	70	70	70	70	71
40%	65	66	68	69	70	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	76	76	76	76	76	76	77	77	77	77	77	77	77	79
35%	73	74	76	77	78	79	80	81	81	82	83	83	84	84	85	85	85	85	85	85	85	86	86	86	86	86	86	86	87
30%	81	83	84	86	87	88	89	89	90	90	91	91	92	92	93	93	93	93	93	93	94	94	94	94	94	94	94	95	96
60%	39	41	42	43	44	45	45	46	47	47	48	48	49	49	50	50	50	50	50	50	51	51	51	51	51	51	51	51	53
55%	46	48	49	50	51	52	53	54	55	55	56	56	57	57	58	58	58	58	58	58	59	59	59	59	59	59	59	59	61
50%	54	55	57	58	59	60	61	62	63	63	64	65	65	66	66	66	66	66	66	66	67	67	67	67	67	67	67	67	69
45%	61	63	65	66	67	69	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75	75	75	75	75	76	76	76	76	76	76	76	76	78
40%	70	72	73	75	76	77	78	79	80	81	82	82	83	83	84	84	84	84	84	84	85	85	85	85	85	85	85	85	87
35%	78	80	82	84	85	86	87	88	89	89	90	91	91	92	92	92	92	92	92	92	93	93	93	93	93	93	93	94	96
30%	87	89	91	93	94	95	96	97	98	99	100	100	101	101	101	101	101	101	101	101	102	102	102	102	102	102	102	102	104



Documento de aplicación

7.EJEMPLOS

7.1. VIGA SIN PROTECCIÓN

Para este ejemplo, consideraremos una viga de madera laminada sin protección. Los datos geométricos son los siguientes:

Luz de la viga: 6 m
 Distancia entre vigas: 5 m
 Canto: $h=600$ mm
 Ancho: $b=180$ mm
 Tipo de madera GL24
 Densidad: $3,2\text{ kN/m}^3$
 Límite elástico: 24 N/mm^2
 $E_m: 11,6\text{ kN/mm}^2$
 $E_{os}: 9,4\text{ kN/mm}^2$
 $k_{fi}: 1,15$

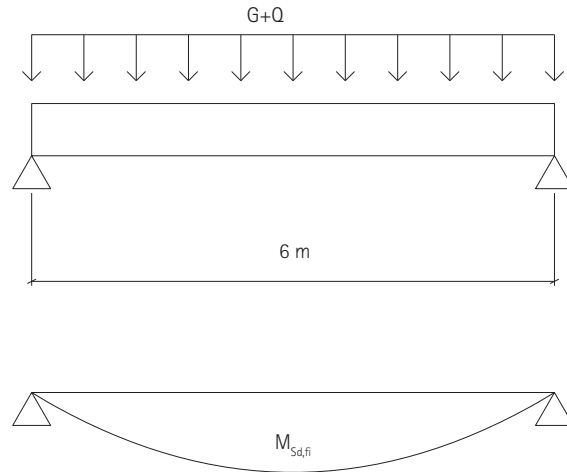


Figura 7.1. Geometría de la viga y diagrama de momentos

Evaluación de las acciones

Cargas permanentes (G)	
Peso de los forjados y elementos de entrevigado	3 kN/m^2
Peso propio de la estructura	$0,35\text{ kN/m}$
Coefficiente parcial de seguridad	$\gamma_G=1$
Carga en servicio	$G_k=3\cdot 5+0,35=15,35\text{ kN/m}$
Cargas variables (Q)	
Sobrecarga de uso	2 kN/m^2
Coefficiente parcial de seguridad	$\gamma_Q=1$
Carga en servicio	$Q_k=2\cdot 5=10\text{ kN/m}$

Con estas cargas, bajo la combinación de acciones característica, el momento solicitación en situación normal, $M_{Sd}=160,75\text{ mkN}$ (la carga lineal sobre la viga, $q_{Sd}=35,72\text{ kN/m}$). Calculamos el momento en situación extraordinaria. La combinación de cargas a aplicar es:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Como sólo tenemos una carga variable, el sumatorio del segundo término desaparece, quedando:

$$\sum_{j \geq 1} G_{kj} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}$$

En el caso de viviendas, el coeficiente de simultaneidad, $\psi_{1,1}=0,5$. Quedando entonces la carga a considerar:

$$q_{S,fi}=(15+0,35)+0,5\cdot 10=20,35\text{ kN/m}$$

que produce un momento solicitación

$$M_{s,fi} = 91,6 \text{ m kN}$$

Respuesta de la estructura (método de la sección residual)

La exigencia de tiempo que debe aguantar la estructura es R60, es decir, tenemos que calcular la sección residual de la viga al cabo de 60 minutos y compararla con el momento solicitación en caso de incendio.

El método de la sección residual se basa en determinar la profundidad de la madera quemada y descontarla de la sección original. Dicha profundidad viene dada por la expresión:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0$$

La profundidad de la madera carbonizada ($d_{char,n}$) depende del tipo de madera y de si tiene o no tiene protección. En el caso de la madera sin proteger, viene dada por la expresión

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

donde β_n es la velocidad de carbonización de la madera ($\beta_n = 0,7$ para madera laminada, nuestro caso) y t es el tiempo del incendio (60 min.). Entonces:

$$d_{char,n} = 0,7 \cdot 60 = 42 \text{ mm}$$

$k_0 = 1$ para tiempos superiores a 20 minutos, y d_0 toma el valor fijo de 7 mm. Entonces, la profundidad eficaz de carbonización d_{ef} queda:

$$d_{ef} = 42 + 7 \cdot 1 = 49 \text{ mm}$$

Descontamos entonces esta profundidad quemada de la sección:

$$\begin{aligned} b_{fi} &= b - 2 \cdot d_{ef} = 82 \text{ mm} \\ h_{fi} &= h - d_{ef} = 551 \text{ mm} \end{aligned}$$

Con esta nueva geometría, el módulo resistente del la sección es $W_{fi} = 4149214 \text{ mm}^3$ (frente a los 10800000 mm^3 de la sección original). El momento resistente de esta sección es

$$\begin{aligned} M_{R,fi} &= W_{fi} \cdot f_{m,0,fi} = W_{fi} \cdot f_{m,0} \cdot k_{fi} / \gamma_m = \\ &4149214 \cdot 24 \cdot 1,15 / 1 = 114,54 \text{ m kN} > M_{s,d,fi} \end{aligned}$$

Es decir, que la sección cumple con la exigencia R60.

Si lo analizamos en términos de tensiones, $\sigma_{s,d,fi} = 20,06 \text{ N/mm}^2$, lo que representa, respecto al límite elástico un 32% y un 92% de la capacidad resistente respectivamente.

Respuesta de la estructura (método de la resistencia reducida)

Vamos a comprobar ahora la capacidad resistente de la viga si la evaluamos por el método de las propiedades reducidas. Como se explicó en el apartado 6, se trata de descontar la zona carbonizada y modificar las propiedades de la sección sin carbonizar. En este caso, la profundidad eficaz de carbonización es:

$$d_{ef} = d_{char,n}$$

Como $d_{char,n}$ sólo depende del tipo de madera, toma el mismo valor que en el método anterior:

$$d_{ef} = 42 \text{ mm}$$

Igual que antes, descontamos entonces la zona quemada de la sección, que en este caso es menor:

$$\begin{aligned} b_{fi} &= b - 2 \cdot d_{ef} = 96 \text{ mm} \\ h_{fi} &= h - d_{ef} = 558 \text{ mm} \end{aligned}$$

Con esta geometría, calculamos el factor de forma:

$$\rho / A_r = (0,096 + 0,558 \cdot 2) / (0,096 \cdot 0,058) = 22,62$$

Con este valor, se calcula el coeficiente $k_{mod,fi}$ para la resistencia a flexión de la madera:

$$k_{mod,fi} = 1 - 24,41 / 200 = 0,886$$

Luego, la resistencia a flexión de la madera es:

$$f_{m,d,fi} = 0,886 \cdot 24 \cdot 1,15 / 1 = 24,47 \text{ N/mm}^2$$

El módulo resistente de la sección reducida es $W = 4981824 \text{ mm}^3$, con lo que el momento respuesta de la sección es

$$M_{R,fi} = W_{fi} \cdot f_{m,d,fi} = 121,94 \text{ m kN} > M_{s,d,fi}$$

7.2. VIGA PROTEGIDA

Hagamos el mismo cálculo que en la viga anterior, salvo que en esta ocasión vamos a protegerla con un tablero de contrachapado de 25 mm de espesor y densidad $\rho = 4,5 \text{ kN/m}^3$.

El procedimiento es análogo al caso anterior, sólo que en este caso va a variar la profundidad de la zona quemada d_{char} . Al estar protegida, la acción del fuego sobre el elemento estructural se retrasa, en función del tipo de protección y su espesor. En el caso de protecciones de tableros de madera, se considera que el instante en el que fallan es el que acaban de carbonizarse y comienza la carbonización del elemento protegido.

Lo primero, por tanto, es determinar el tiempo que tarda en quemarse la protección. Este tiempo viene dado por la expresión:

$$t_{ch} = t_f = \frac{h_p}{\beta_0}$$

en la que h_p es el espesor del contrachapado y β_0 su velocidad de carbonización. Esta se determina con la tabla E.3, de la cual se obtiene que $\beta_0 = 1 \text{ mm/min}$. El tiempo en que tarda en carbonizarse y fallar el elemento de protección es entonces:

$$t_{ch} = t_{f0} = \frac{30}{1} = 30 \text{ min}$$

A partir de este momento, el elemento estructural (nuestra viga del ejemplo), comienza a carbonizarse a una velocidad β_n , doble a la que se carbonizaría si ni estuviera protegido. Como hemos visto antes,

$$\beta_n = 2 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ mm/min}$$

Este ritmo de carbonización se mantiene hasta que se alcance una profundidad de 25mm o hasta que llegue al nivel de carbonización que hubiera tenido de no estar protegida. Calculamos en qué instante se produciría cada una de estas dos situaciones.

El primer caso se describe por

$$t = 25 / 1,4 + 30 = 47 \text{ min}$$

Para el segundo, si observamos las pendientes de las curvas, vemos que el instante en que se cruzan las dos rectas es

$$t = 2 \cdot t_f = 52 \text{ min}$$

Es decir, que se alcanzan antes los 25mm de madera carbonizada. Como la exigencia es de 60min, tenemos que sumar todavía la profundidad de la zona carbonizada correspondiente los 13 minutos que faltan:

$$d_{char} = 0,7 \cdot 13 + 25 = 34,1 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta que $d_0 \cdot k_0$ sigue siendo 7 mm

$$d_{ef} = 34,1 + 7 = 41,1 \text{ mm}$$

La determinación de los distintos valores para obtener d_{char} se puede observar en la figura 7.2.

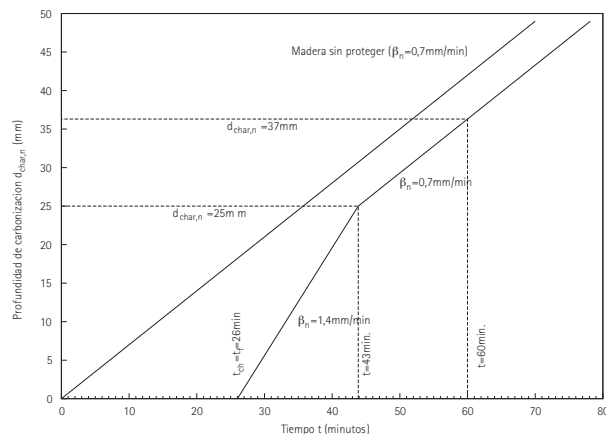


Figura 7.2. Determinación de la profundidad de carbonización en madera protegida

Comprobación de la capacidad resistente

Igual que en el caso anterior, descontamos la profundidad eficaz de carbonización de la sección:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{ef} = 97,8 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - d_{ef} = 558,9 \text{ mm}$$

Con esta nueva geometría, el módulo resistente de la sección es $W_{fi} = 5091618 \text{ mm}^3$ (frente a los 10800000 mm^3 de la sección original). La resistencia a flexión de la madera laminada es:

$$f_{m,d,fi} = 24 \cdot 1,15 / 1 = 27,6 \text{ N/mm}^2$$

El momento resistente de esta sección es

$$M_{R,fi} = W_{fi} \cdot f_{m,d,fi} = 5165164 \cdot 27,6 = 140,52 \text{ m kN} > M_{Sd,fi}$$

7.3. SOPORTE

Vamos ahora a comprobar la respuesta estructural en caso de incendio de un elemento sometido a deformaciones de

segundo orden. En este caso, el método es el mismo que en los casos anteriores, con la salvedad de que hay que hacer la comprobación a nivel de pieza, no sólo de sección. Esta comprobación se hace de la misma manera que en situación a temperatura ambiente.

Supongamos que el soporte pertenece a una vivienda con una altura inferior a 15. La exigencia por tanto es R30. El coeficiente de simultaneidad de las acciones para acciones accidentales, $\psi_1=0,5$.

Geometría

Altura: $L=3000$ mm
 Ancho: $b=150$ mm
 Canto: $h=150$ mm
 Área tributaria: $12,25$ m² (3,5 m x 3,5 m)
 Tipo de madera C24
 Densidad: $3,2$ k N/m³
 Límite elástico: 21 N/mm²
 E_m : $11,6$ kN/mm²
 $E_{0,5}$: $9,4$ kN/mm²
 $k_{mod,fi}=1,25$

Evaluación de las acciones

Cargas permanentes (G)	
Peso de los forjados y elementos de entrevigado	2kN/m ²
Coefficiente parcial de seguridad	$\gamma_G=1$
Carga en servicio	$G_k=2$ kN/m ²
Cargas variables (Q)	
Sobrecarga de uso	2kN/m ²
Coefficiente parcial de seguridad	$\gamma_Q=1$
Carga en servicio	$Q_k=2$ kN/m ²

Las acciones se combinan en situación extraordinaria de la siguiente manera:

$$q_{s,fi}=2 \cdot 12,25 + 0,5 \cdot 2 \cdot 12,25 = 36,75 \text{ kN}$$

Determinación de la capacidad resistente (método de la sección residual)

De la misma manera que en los casos anteriores, hay que calcular la sección reducida para el tiempo de la exigencia (R30). Igual que antes

$$d_{ef}=0,8 \cdot 30 + 7 \cdot 1 = 31 \text{ mm}$$

Con esta profundidad eficaz de carbonización, queda una sección residual de 88x88mm.

La condición para comprobar el estado límite último de que un soporte sometido a compresión simple es:

$$\frac{\sigma_{c,0,d,fi}}{\chi_{c,fi} \cdot f_{c,0,d,fi}} \leq 1$$

$\chi_{c,fi}$ es el factor de pandeo en caso de incendio, es decir, el factor de pandeo del soporte con sección reducida en el instante que marque la exigencia. $\sigma_{c,0,d,fi}$ es la tensión de compresión perpendicular a la fibra en caso de situación accidental y $f_{c,0,d,fi}$ es el límite elástico a compresión perpendicular a la fibra del material en situación de incendio.

$\chi_{c,fi}$ depende de la geometría de la pieza en situación de incendio. Su valor se puede determinar con tabla 6.5 a partir de la esbeltez mecánica λ_y y la clase resistente. La esbeltez mecánica se determina a partir de las expresiones:

$$\lambda_y = \frac{L_{k,y}}{i_y} \quad L_{k,y} = \beta_y \cdot L \quad i_y = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

En nuestro caso, para la sección reducida:

$$I = 4997461 \text{ mm}^4$$

$$A = 7744 \text{ mm}^2$$

$$i = 25,40 \text{ mm}$$

El factor β_y se obtiene, para las condiciones usuales del anejo G del DB SE-M. Para una pieza articulada-articulada, $\beta_y = 1$

$$L_{k,y} = 1 \cdot 3000 = 3000 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{3000}{25,40} = 118,1 \quad \chi_{c,fi} = 0,22$$

La tensión de trabajo, $\sigma_{c,0,d,fi}$ se obtiene dividiendo la carga en situación accidental entre al área residual:

$$\sigma_{c,0,d,fi} = \frac{36,75 \cdot 10^3}{7744} = 4,74 \text{ N/mm}^2$$

luego

$$\frac{4,74}{0,22 \cdot 21 \cdot 1,25} = 0,82 < 1$$

Es decir, el soporte cumple con el criterio R30.

7.4. ENTRAMADOS

En este ejemplo vamos a analizar tres casos de resistencia al fuego, que son los que corresponden al ejemplo del documento "Guía de la madera". En todos los casos, las características de la madera son:

Tipo de madera C24
 Densidad madera maciza: 320 kg/m^3
 Densidad tablero OSB: 550 kg/m^3
 Límite elástico: 21 N/mm^2
 $k_{mod,fi} = 1,25$

Caso 1. Entramado ligero de cubierta

La cubierta del edificio del ejemplo se divide en dos partes, una con entramado ligero y otra con viguetas de escuadras mayores. Las cargas consideradas son las siguientes:

Cargas permanentes (G)	
Peso del cerramiento y elementos de entrevigado	1,5 kN/m ²
Coefficiente parcial de seguridad	$\gamma_G = 1$
Cargas variables (Q)	
Sobrecarga de uso	0,4 kN/m ²
Carga de viento	0,4 kN/m ²
Carga de nieve	0,7 kN/m ²
Coefficiente parcial de seguridad	$\gamma_Q = 1$

La disposición constructiva de la parte con entramado ligero es la que se muestra en la figura 7.3. Es el cerramiento de una vivienda unifamiliar, así que la exigencia que ha de cumplir es R30.

Si efectuamos las combinaciones de acciones de acuerdo con el documento DB SE, obtenemos:

$$q_{s,fi} = 1,5 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,5 + (0,4 \cdot 0 + 0,7 \cdot 0) = 1,70 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{s,fi} = 1,5 \cdot 1 + 0,4 \cdot 0,5 + (0,4 \cdot 0 + 0,7 \cdot 0) = 1,70 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{s,fi} = 1,5 \cdot 1 + 0,7 \cdot 0,5 + (0,4 \cdot 0 + 0,5 \cdot 0) = 1,85 \text{ kN/m}^2$$

en las que la combinación más desfavorable es la que corresponde a la carga de nieve como acción variable principal. Con esta carga, la sección más desfavorable de la cubierta (calculada, conservadoramente, como viga biapoyada), está sometida a un momento:

$$M_{sd,fi} = 16,4 \text{ m kN}$$

El tiempo de carbonización, t_{ch} , del panel de yeso laminado se obtiene a partir de la expresión:

$$t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 = 2,8 \cdot 18 - 14 = 36,4 \text{ min}$$

Como la exigencia es menor (R30), podemos concluir que durante el tiempo exigido, el elemento estructural ni siquiera llegará a carbonizarse, con lo que mantendrá intacta toda su capacidad resistente.

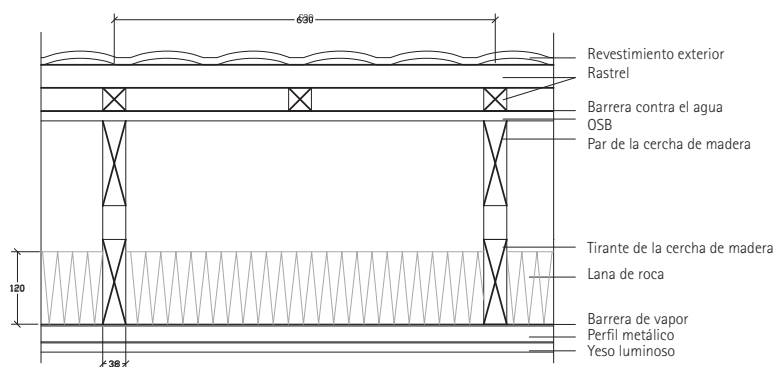
Caso 2. Viguetas de cubierta

En este caso, las cargas son las mismas que se han determinado en el caso anterior. La estructura está formada por viguetas de madera de escuadría 12x24 cm. Separadas 1,20m. La clase de madera es C24 y la luz de cálculo 5,20m.

Con esta geometría, el momento máximo que tienen que resistir las viguetas en caso de incendio es:

$$M_{sd,fi} = 1,85 \cdot 1,2 \cdot 5,22 / 8 = 7,50 \text{ kNm}$$

Figura 7.3. Descripción del entramado de cubierta



Las viguetas son elementos sin proteger sometidos a fuego por tres caras, luego el cálculo es análogo al del ejemplo 1. Determinamos profundidad eficaz de carbonización, d_{ef} con la expresión:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0 = 0,8 \cdot 30 + 1 \cdot 7 = 31 \text{ mm.}$$

Lo que nos da la sección residual:

$$b_{fi} = b - 2 \cdot d_{ef} = 120 - 2 \cdot 31 = 58 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - d_{ef} = 240 - 31 = 209 \text{ mm}$$

Con esta nueva geometría, el módulo resistente de la sección es $W_{fi} = 422249 \text{ mm}^3$ (frente a los 1152000 mm^3 de la sección original). El momento resistente de esta sección es

$$M_{Rd,fi} = W_{fi} \cdot f_{c0,fi} = W_{fi} \cdot f_{c0} \cdot k_{fi} / \gamma_m =$$

$$422249 \cdot 24 \cdot 1,25 / 1 = 12,66 \text{ m kN} > M_{Sd,fi}$$

Es decir, que cumple con la exigencia R30.

Caso 3. Entramado ligero de fachada

La carga que transmite la cubierta a cada montante del entramado de fachada es:

$$N_{Sd} = 1,85 \cdot 0,63 \cdot 8,42 / 2 = 4,91 \text{ kN}$$

Al igual que en el caso de las vigas, comenzamos determinando el tiempo de carbonización del elemento de protección. Como en este caso tenemos dos tableros, uno de yeso y otro OSB, determinamos los tiempos de cada uno de ellos por separado y los sumamos:

$$t_{ch,yeso} = 2,8 \cdot h_p - 14 = 2,8 \cdot 12,5 - 14 = 21$$

$$t_{ch,OSB} = h_p / \beta_0 = 8 / 1,43 - 4 = 1,59 \text{ min}$$

$$t_{ch} = 21 + 1,59 = 22,59 \text{ min}$$

Con estos tiempos, el entramado tiene que aguantar, al menos 7,41 minutos. Calculamos entonces la profundidad eficaz de carbonización que se alcanzará en ese tiempo.

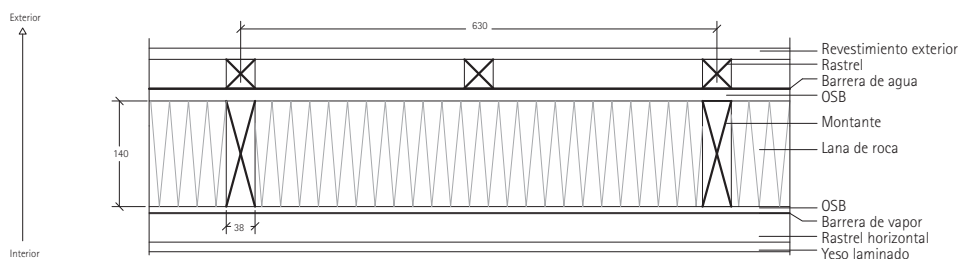


Figura 7.4. Descripción del entramado de fachada

Tras alcanzar el tiempo de carbonización, la madera se quema a velocidad $2\beta_0'$, considerando solamente que el fuego ataca a cada listón por una cara, ya que el entramado está completamente relleno de material aislante mineral.

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 d_0 = 0,65 \cdot 7,41 + 1 \cdot 7 = 11,82 \text{ mm.}$$

La sección residual, por tanto, es:

$$b_{fi} = b = 38 \text{ mm}$$

$$h_{fi} = h - d_{ef} = 140 - 11,82 = 128,18 \text{ mm}$$

Si comprobamos la capacidad resistente de la sección residual a compresión, sin tener en cuenta efectos de pandeo, ya que los montantes están totalmente arriostrados por el OSB de la cara no expuesta:

$$N_{Rd} = 38 \cdot 128,11 \cdot 21 \cdot 1,25 / 1 = 127,7 \text{ kN} > N_{Sd}$$

7.5. SECTORIZACIÓN

Caso 1

Vamos a realizar el cálculo de los tiempos de aislamiento para distintas soluciones constructivas de entramados de madera, de acuerdo con las formulaciones propuestas en el capítulo 5. Como simplificación, se asume que el coeficiente de junta en todos los casos es igual a la unidad.

El primer caso es el de un entramado sin relleno, con la geometría descrita en la figura 7.5.

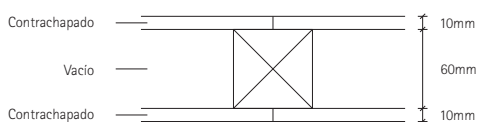


Figura 7.5. Descripción del entramado

Según el apartado 5.1, el tiempo de aislamiento de una solución de varias capas viene dado por la expresión:

$$t_{ins} = \sum_i t_{ins,0,i} \cdot k_{pos,i} \cdot k_{j,i}$$

Lo primero es determinar el tiempo de aislamiento básico de cada capa. El de los paneles se calcula con la expresión:

$$t_{ins,0,contrachapado} = 0,95 \cdot h_p = 0,95 \cdot 10 \text{ mm} = 9,5 \text{ min.}$$

y el de las cámaras vacías (entre 45 y 200 mm):

$$t_{ins,0,vacio} = 5 \text{ min.}$$

Lo siguiente es determinar el coeficiente de posición de cada capa. Estos coeficientes se toman de la tabla 5.3:

$$k_{pos,panel_expuesto} = 0,8$$

$$k_{pos,vacio} = 1$$

$$k_{pos,panel_no_expuesto} = 0,6$$

Por lo tanto, el tiempo de aislamiento total que tiene el panel es:

$$t_{ins} = 9,5 \cdot 0,8 \cdot 1 + 5 \cdot 1 \cdot 1 + 9,5 \cdot 0,6 \cdot 1 = 18,3 \text{ min.}$$

Si determinamos el tiempo de aislamiento a partir de la tabla 5.5, no tenemos los espesores de tableros de 10 mm. Tomando como espesor 9 mm en ambos casos, con la cámara vacía, el tiempo que aparece en la tabla es de 16 min.

Caso 2

En este caso, la dimensión del entramado es la misma, pero el interior se rellena con una lana de roca con densidad $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$.

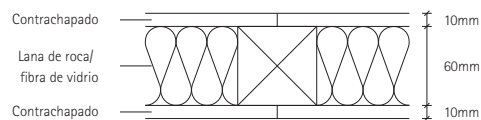


Figura 7.6. Descripción del entramado

El tiempo básico de aislamiento de los tableros es el mismo que en ejemplo anterior:

$$t_{ins,0,contrachapado} = 0,95 \cdot h_p = 0,95 \cdot 10 \text{ mm} = 9,5 \text{ min.}$$

El tiempo básico de la lana de roca se calcula de acuerdo con:

$$t_{ins,0,lana \text{ de roca}} = 0,2 \cdot h_{ins} \cdot k_{dens}$$

k_{dens} es un coeficiente que depende de la densidad de la capa de aislante y del tipo (lana de roca o fibra de vidrio). Este coeficiente, según la tabla 5.2, toma valores entre 1,0 y 1,1. Interpolando linealmente, para $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$, $k_{dens} = 1,016$.

Por lo tanto:

$$t_{ins,0, \text{ lana de roca}} = 0,2 \cdot 60 \cdot 1,016 = 12,2 \text{ min.}$$

Cuando el relleno del entramado es material aislante, los coeficientes de posición de los tableros cambian. Para el tablero en la cara expuesta:

$$k_{\text{pos, tablero expuesto}} = \min \left(\frac{0,02h_p + 0,54}{1} \right) = 0,74$$

$$k_{\text{pos, panel no expuesto}} = 1,5$$

$$k_{\text{pos, lana de roca}} = 1$$

Luego el tiempo total de aislamiento de esta solución es:

$$t_{ins} = 9,5 \cdot 0,74 \cdot 1 + 12,2 \cdot 1 \cdot 1 + 9,5 \cdot 1,5 \cdot 1 = 33,48 \text{ min.}$$

Si el mismo tiempo lo buscamos en la tabla 5.6, obtendremos que $t_{ins} = 30 \text{ min.}$

Caso 3

En este caso, la solución es la misma que en el ejemplo anterior, cambiando la lana de roca del interior por aislamiento de fibra de vidrio de densidad $\rho = 20 \text{ kg/m}^3$. La geometría es la descrita en la figura 7.4.

El tiempo básico de aislamiento de los tableros de madera no cambia, pero aislamiento viene dado por la expresión:

$$t_{ins,0, \text{ fibra de vidrio}} = 0,1 \cdot 60 \cdot 1,1 = 6,6 \text{ min.}$$

El coeficiente de posición del tablero en la cara no expuesta también cambia, al haber variado el material de relleno de la cámara:

$$k_{\text{pos, tablero no expuesto}} = 0,07 \cdot h_p - 0,17 = 0,53$$

Capa	Material	$t_{ins,0,i}$	$k_{pos,i}$	$k_{j,i}$	$t_{ins,i}$
1	Yeso laminado (cara expuesta)	17,5	1	1	17,5
2	Contrachapado	9,5	0,8	1	7,6
3	Vacio	5	1	1	5
4	Contrachapado	9,5	0,8	1	7,6
5	Yeso laminado (cara no expuesta)	17,5	0,7	1	12,25
t_{ins}					49,95 min

El tiempo de aislamiento total entonces es:

$$t_{ins} = 9,5 \cdot 0,74 \cdot 1 + 6,6 \cdot 1 \cdot 1 + 9,5 \cdot 0,53 \cdot 1 = 18,66 \text{ min.}$$

El tiempo obtenido en la tabla 5.6 para este caso es de 15 min.

Caso 4

En este caso, vamos a evaluar una solución constructiva con revestimientos de varias capas, primero con la cámara vacía, y posteriormente con la cámara rellena de material aislante. La primera solución es la que se representa en la figura 7.7.

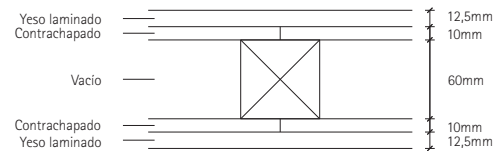
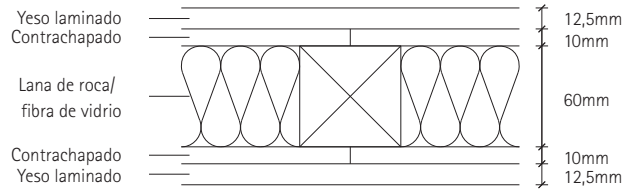


Figura 7.7. Descripción del entramado

Los tiempos básicos de aislamiento de cada capa ya los tenemos calculados de los ejemplos anteriores. lo que cambia en cada caso es el coeficiente de posición, que se toma de la tabla 5.4. Si agrupamos los tiempos básicos y los coeficientes de posición y de junta.

Si la cámara se rellena de lana de roca (figura 7.8), la solución mejora visiblemente, no sólo por el tiempo de aislamiento que aporta la lana, sino porque los coeficiente de posición de la cara no expuesta también aumentan.

Figura 7.8. Descripción del entramado



Capa	Material	$t_{ins,0,i}$	$k_{pos,i}$	$k_{j,i}$	$t_{ins,i}$	
1	Yeso laminado (cara expuesta)	17,5	1	1	17,5	
2	Contrachapado	9,5	0,8	1	7,6	
3	Lana de roca	12,2	1	1	12,5	
4	Contrachapado	9,5	1	1	9,5	
5	Yeso laminado (cara no expuesta)	17,5	1,2	1	21	
					t_{ins}	67,8min

PATROCINADORES



Gobierno Vasco - Mesa Intersectorial de la Madera

Junta de Castilla y León - Mesa Intersectorial de la Madera

Xunta de Galicia - CIS Madeira

Generalitat Valenciana - FEVAMA

CONFEMADERA - Confederación Española de Empresarios de la Madera

ANFTA - Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros

AFCCM - Asociación de Fabricantes y Constructores de Casas de Madera

PROHOLZ

Construmat - Salón Internacional de la Construcción

Feria de Valencia - Maderalia

Vivir con Madera

Colaboradores

BRAURON S.A. Molduras

CETEBAL. Centre Tecnològic Balear de la Fusta

NUTECMA S.L.

IPEMA. Innovaciones, Proyectos y Estructuras en Madera

ELABORADOS Y FABRICADOS GÁMIZ, S.A.

HOLTZA Grupo. Construcción en madera

ANEPROMA. Asociación Nacional de Empresas de Protección de la Madera

INCAFUST. Institut Català de la Fusta

AITIM. Asociación de Investigación Técnica de Industrias de la Madera

ZURTEK. Ingeniería, fabricación y construcción en madera

PROTEVI, SL. Construcciones en madera

GARCIA VARONA. Fabricación de tarimas y madera estructural

THERMOCHIP, División Prefabricados Cupa Group

FINNFOREST IBÉRICA, S.L.

ROTHOBLAAS. Sistemas de fijación para estructuras y construcción en madera

BIOHAUS GOIERRI S.L. Hacia una construcción sostenible

WOODARQ. Art in Wood Construction

CEMER. Consorcio Escuela de la Madera de la Consejería de Empleo de la Junta de Andalucía

AYUNTAMIENTO DE CUENCA MADERAS, S.A. Pino Laricio estructural

MADERAS EL ESPINAR, S.A. Madera estructural de Pino Silvestre

MADERAS POLANCO, S.A.

RADISA, S.A. Ingeniería y productos técnicos de madera para la construcción

MADERAS MENUR S.L. Proyectos en Madera

HUNDEGGER Ibérica S.L. Maquinaria C.N.C. para estructuras y construcción en madera

Con la financiación del

