

Capítulo 0

Conceptos básicos de la construcción con madera

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

Autores:

JUAN QUEIPO DE LLANO MOYA
BEATRIZ GONZÁLEZ RODRIGO
MARIANA LLINARES CERVERA
CARLOS VILLAGRÁ FERNÁNDEZ
VIRGINIA GALLEGU GUINEA

También han colaborado: Teresa Carrascal García, Elena Frías López, María Jesús Gavira Galocha, Daniel Jiménez González, Pilar Linares Alemparte, Amelia Romero Fernández, Virginia Sánchez Ramos, José Antonio Tenorio Ríos

Unidad de Calidad en la Construcción
Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

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:

Fotografía de portada: GRUPO HOLTZA
Dibujos y esquemas: los autores

ISBN: 978-84-693-1288-9
Depósito legal: M-17442-2010

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

Con la financiación del

PREFACIO

Con la aprobación el 17 de marzo de 2006 (RD 314/2006) del Código Técnico de la Edificación (CTE), ha comenzado una nueva etapa en la construcción en la que la reglamentación es más completa y en donde se han normalizado, a nivel nacional, las estructuras con madera (DB SE-M).

El CTE desarrolla los requisitos básicos de la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE), establecidos en forma de exigencias básicas en prestaciones, proporcionando métodos y soluciones para cumplir estas. Sin embargo, el propio CTE establece la opción de cumplir los requisitos básicos de la LOE mediante el uso de las denominadas soluciones alternativas y el empleo de la información contenida en los denominados "documentos reconocidos del CTE". Estas soluciones alternativas son las que se apartan parcial o totalmente de las descritas en los Documentos Básicos del CTE y que el proyectista puede utilizar siempre y cuando cuente con el consentimiento del promotor y justifique adecuadamente el cumplimiento de las exigencias.

Los documentos reconocidos son documentos de carácter técnico (especificaciones, guías técnicas, códigos de buenas prácticas, etc.), sin carácter reglamentario, que contando con el reconocimiento expreso del Ministerio de la Vivienda facilitan la aplicación del CTE. De esta enumeración queda excluido lo que se refiere a un producto particular o bajo patente. Son, en definitiva, documentos de apoyo que permiten alcanzar de una forma flexible y eficiente el objetivo de mejorar la calidad de los edificios.

El proyecto de Construir con Madera edita esta serie de publicaciones, bajo el paraguas común de la denominación de "Guía de construir con madera", con el objetivo de plantear soluciones constructivas con madera que cumplan los requisitos establecidos por el CTE y de proporcionar toda la información que el proyectista necesita conocer sobre los distintos elementos constructivos fabricados con materiales de madera o productos derivados de la misma. Las 6 publicaciones contenidas dentro de la citada "Guía de la madera", que nacen con el objetivo de transformarse a medio plazo en documentos reconocidos del CTE, se configuran como herramienta fundamental en fase de proyecto ya que de hecho constituyen una compilación y ampliación de los actuales contenidos de los Documentos Básicos del CTE. Los objetivos particulares de estas publicaciones son:

- Presentar las características propias de la madera como material de construcción y sus usos más adecuados.
- Describir y evaluar técnicamente los productos de madera, o derivados de ésta, empleados en la construcción.

- Describir y evaluar las prestaciones de los sistemas y detalles constructivos basados en la madera.
- Proporcionar sistemas y detalles constructivos que cumplan las exigencias del CTE.
- Establecer conceptos generales de calidad, recepción y puesta en obra.
- Establecer condiciones para un adecuado uso, mantenimiento y conservación de lo elementos construidos con madera.

Las seis publicaciones que integran la "Guía de construir con madera" son las siguientes:

Capítulo 0. Conceptos básicos de la construcción con madera

Capítulo 1. Productos de madera para la construcción

Capítulo 2. Durabilidad.

Capítulo 3. Seguridad frente al fuego.

Capítulo 4. Uniones.

Capítulo 5. Ejecución, control y mantenimiento. Patología.



INDICE

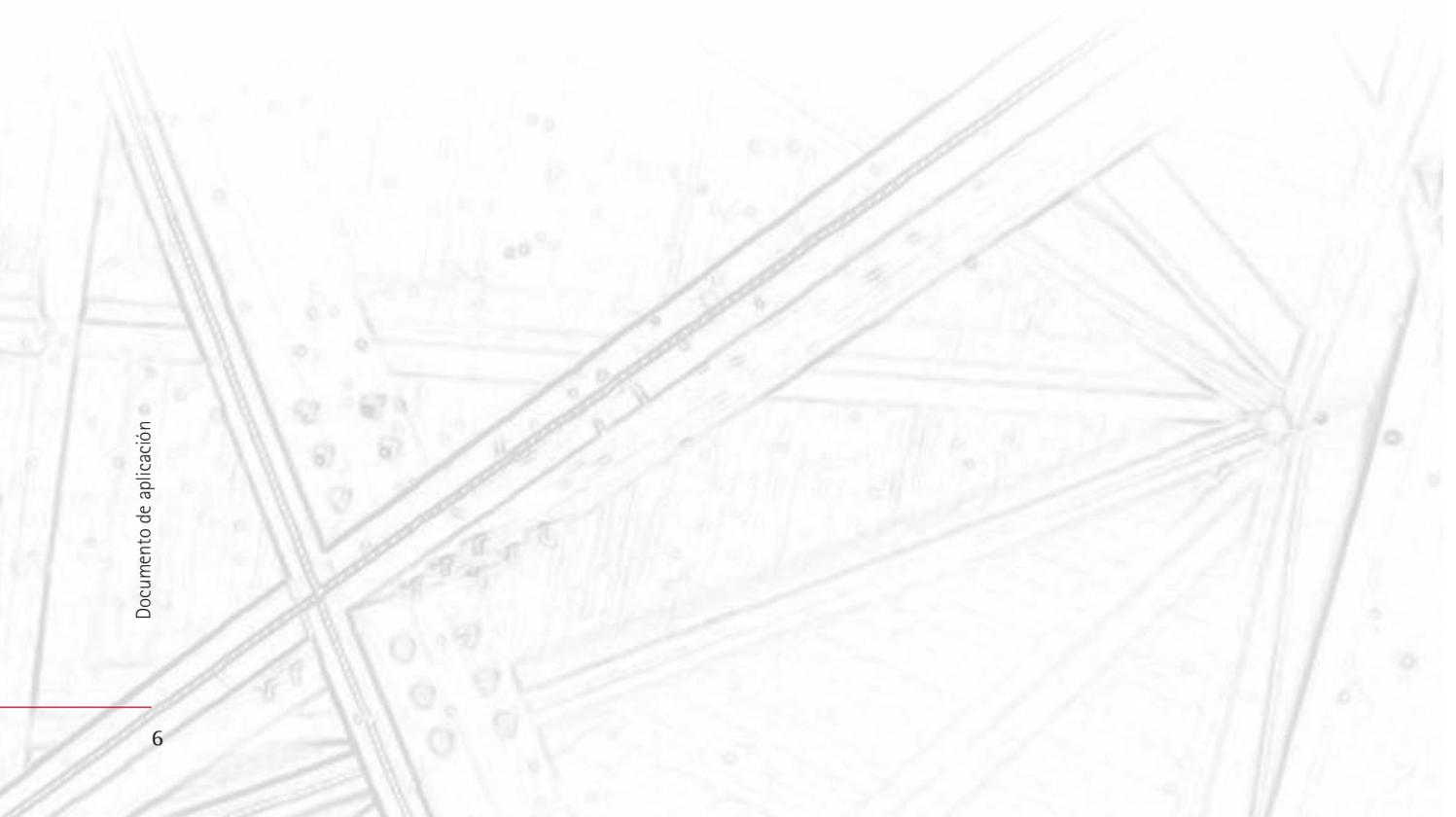
INTRODUCCIÓN	5
1. GENERALIDADES	7
- Objeto y ámbito de aplicación	7
- Cuadro de exigencias por elemento	7
2. CONSIDERACIONES GENERALES	9
- Introducción	9
- Beneficios de la producción de madera: bosques y plantaciones	9
- Características de la madera como material de construcción	10
- Tipos de edificación	11
3. CARACTERÍSTICAS Y PRESTACIONES DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON MADERA.	15
- Introducción	15
- Nociones básicas del material	15
- Comportamiento mecánico	16
- Comportamiento al fuego	26
- <i>Reacción de la madera sometida a un incendio</i>	26
- <i>Resistencia de la madera sometida a un incendio</i>	27
- <i>Capacidad portante</i>	27
- <i>Integridad y aislamiento</i>	30
- Comportamiento acústico	33
- Comportamiento térmico y ahorro de energía del sistema constructivo con madera	37
- Comportamiento en relación con la salubridad	40
- Comportamiento en relación con la seguridad de utilización	41
4. CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA EL PROYECTO Y EJECUCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON MADERA	43
- Conceptos básicos de diseño con productos de madera	43
- Elección del material según sus características y prestaciones	43
- <i>Elemento lineal</i>	43
- <i>Elemento superficial</i>	45
- <i>Elemento de unión</i>	47
- Consideraciones básicas para la recepción, almacenamiento y ejecución de edificios en madera	50
5. SISTEMAS DE CERTIFICACIÓN DE PRODUCTOS CONSTRUCTIVOS DE MADERA O DERIVADOS: EL MERCADO CE	51
Relación de Normas mencionadas en el presente texto	53
Anexo A. Tablas de cálculo para vigas biapoyadas	55
Anexo B. Ejemplo de un proyecto de madera	61



INTRODUCCIÓN

La presente publicación constituye el capítulo 0 de la "Guía de construir con madera", en el que se introduce a la madera como material de construcción, así como a los sistemas constructivos asociados a la misma, considerando en todo momento las exigencias establecidas por la normativa actual de la edificación. Constituye, pues, una primera aproximación al material y sus sistemas constructivos más habituales que, posteriormente, puede ser ampliada acudiendo a los distintos capítulos de esta Guía en los que se abordan monográficamente aspectos relevantes del material y de la construcción con madera.

Para facilitar el uso de la madera en la construcción, en este capítulo introductorio se presentan métodos simplificados y aproximados para determinar los detalles constructivos más adecuados para las diferentes situaciones y exigencias así como para seleccionar los mejores productos a emplear en cada situación. Los métodos propuestos cumplen todos ellos con las exigencias del CTE en lo referente a seguridad estructural, seguridad en situación de incendio, seguridad de utilización, salubridad, protección frente al ruido y ahorro de energía.



1. GENERALIDADES

1.1. OBJETO Y ÁMBITO DE APLICACIÓN

El objeto de la presente publicación es proporcionar al proyectista el conocimiento básico sobre la madera como material de construcción, así como del comportamiento, en relación con las distintas prestaciones exigidas en el Código Técnico de la Edificación (CTE), de diferentes sistemas constructivos resueltos con productos de madera o derivados. El documento se configura como herramienta en fase de proyecto para la ayuda en el diseño, elección del material, predimensionado de elementos y resolución de los detalles constructivos básicos que aseguren las prestaciones establecidas en el CTE.

El ámbito de aplicación de este documento son principalmente edificios de viviendas y edificación pública en donde la madera sea el elemento estructural.

1.2 CUADRO DE EXIGENCIAS POR ELEMENTO

El Código Técnico de la Edificación presenta una serie de exi-

gencias que afectan a los edificios. En la *Tabla 0.1.* se indica cuales son estas exigencias para cada uno de los elementos constructivos resueltos con madera.

Los documentos de referencia son los siguientes:

DB SE	Documento Básico de Seguridad Estructural: Bases de Cálculo. Establece reglas y procedimientos para cumplir las exigencias básicas de seguridad estructural.
DB SE-AE	Documento Básico de Seguridad Estructural: Acciones en la Edificación. Establece las bases de cálculo de la seguridad estructural
DB SE-M	Documento Básico de Seguridad Estructural: Madera. Regula la seguridad estructural en madera.
DB SE-A	Documento Básico de Seguridad Estructural:

Tabla 0.1. Documentos del CTE que pueden afectar a cada uno de los elementos constructivos con madera

DB	Exigencia	Elemento						
		Fachadas	Medianerías	Particiones interiores verticales	Particiones interiores horizontales	Cubiertas	Suelos en contacto con cámaras sanitarias	Suelos en contacto con el aire exterior
SE	SE 1							
	SE 2							
SE-AE	SE 1							
	SE 2							
SE-M	SE 1							
	SE 2							
SE-A ⁽¹⁾	SE 1							
SI	SI-1							
	SI-2							
	SI-6							
SUA	SUA-1					(2)		
HS	HS-1		(3)					
HE	HE-1							
HR							(4)	

SE 1 Resistencia y estabilidad.

SE 2 Aptitud de servicio.

(1) Afecta a las uniones metálicas.

(2) Afecta sólo a cubiertas practicables.

(3) Afecta sólo a las medianerías que vayan a quedar descubiertas porque no se ha edificado en los solares colindantes o porque la superficie de las mismas excede a las de las colindantes.

(4) Afecta sólo en los siguientes casos:

- Entre recintos protegidos colindantes horizontales, pertenecientes a distintas unidades de uso.
- Entre un recinto protegido colindante horizontal con un recinto de instalaciones o recinto de actividades.

	Acero. Regula la seguridad estructural del acero, empleado en algunas uniones entre elementos de madera.	DB HE 1	Documentos Básico de Ahorro de Energía, limitación de la demanda energética. Establece los parámetros que deben tener muros, suelos, fachadas, particiones y cubiertas para limitar las pérdidas energéticas de los edificios.
DB SI 1	Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio, propagación interior. Establece los parámetros de diseño y requisitos de los elementos para para limitar el riesgo de propagación del incendio por el interior del edificio.	DB HE 2, 3, 4, 5	Documentos Básico de Ahorro de Energía. Establece las instalaciones necesarias para proporcionar un ahorro energético de la edificación. Este documento afecta básicamente al diseño de la edificación.
DB SI 2	Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio, propagación exterior. Establece los parámetros de diseño y requisitos de los elementos para para limitar el riesgo de propagación del incendio por el exterior, tanto en el edificio considerado como a otros edificios.	DB HR	Documento Básico, protección frente al ruido. Establece los parámetros que deben tener muros, suelos, fachadas, particiones y cubiertas para asegurar una protección adecuada de la edificación ante el ruido.
DB SI 6	Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio, resistencia al fuego de la estructura. Establece los valores de resistencia que mantendrá la estructura durante el tiempo necesario para que puedan cumplirse el resto de exigencias básicas del DB SI.		
DB SI Anexo D	Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio, Resistencia al fuego de los Elementos de Acero. Regula la seguridad estructural frente a un incendio de las uniones metálicas entre elementos de madera.		
DB SI Anexo E	Documento Básico de Seguridad en caso de Incendio, Resistencia al fuego de las Estructuras de Madera. Regula la seguridad estructural frente a un incendio de las estructuras de madera.		
DB SUA	Documento Básico de Seguridad de Utilización y Accesibilidad. Establece los parámetros mínimos o máximos para limitar el riesgo de que los usuarios sufran daños durante el uso normal del edificio y asegurar la accesibilidad. Establece los parámetros de diseño del edificio.		
DB HS 1	Documento Básico Salubridad, protección frente a la humedad. Establece los parámetros que deben tener muros, suelos, fachadas y cubiertas para limitar el riesgo derivado de la penetración de agua en el edificio. Este documento afecta en la construcción de sistemas constructivos con elementos estructurales de madera o derivados		
DB HS 2, 3, 4, 5	Documento Básico Salubridad. Establece los parámetros de diseño para asegurar que en el edificio se den condiciones adecuadas de recogida y evacuación de residuos, la calidad de agua interior, el suministro y la evacuación de agua. Estos documentos afectan básicamente al diseño de la edificación.		

Normas Europeas

Además afectan a la construcción con madera los documentos europeos:

- *Eurocódigo 1*: Bases de proyectos y acciones en estructuras. (EN 1991)
- *Eurocódigo 3*: Diseño de estructuras metálicas. En su parte EN 1993-1-8. Diseño de las uniones.
- *Eurocódigo 5*: Proyecto de estructuras de madera. En su parte UNE-EN 1995-1-1. Reglas generales y reglas para edificación y de EN 1995-1-2. Estructuras sometidas al fuego.

2. CONSIDERACIONES GENERALES

2.1. INTRODUCCIÓN

La madera ha sido un material tradicionalmente empleado en la edificación. Los antiguos sistemas constructivos con madera han ido evolucionando a lo largo de los siglos de forma distinta en función de las condiciones climáticas y sociales de cada zona. Por dicho motivo pueden apreciarse desde sistemas con madera muy simples a sistemas altamente sofisticados y exigentes. En todo caso, en muchos lugares la madera sigue y debe seguir jugando un papel importante en el proceso edificatorio.

En nuestro país, la falta de un suministro regular de madera, unida al rápido desarrollo de la industria de otros materiales como el acero y el hormigón armado, han sido algunas de las causas de que, en el último siglo, la utilización de la madera en el campo estructural haya disminuido, con la consiguiente pérdida de experiencia constructiva con este material. De la importancia que la madera ha tenido en el pasado dan feahiente muestra los cientos de edificaciones históricas y cascos urbanos que han hecho uso de este material como elemento estructural. La falta de un suministro regular de madera (especialmente patente en España en los últimos 50 años), junto con la ausencia de una normativa oficial que amparase al proyectista en sus cálculos y diseños, han traído consigo el paulatino desuso del material. De hecho, hasta marzo del 2006 no había ninguna normativa nacional de referencia obligada que regulara el cálculo estructural de madera. Esta situación ha cambiado drásticamente en el último decenio con la aparición del Eurocódigo 5 y más recientemente con la del Código Técnico de la Edificación y muy especialmente con la del Documento Básico de Seguridad Estructural Estructuras de Madera (DB SE-M), precisamente en un momento, en el los gobiernos europeos, para alcanzar los compromisos del Protocolo de Kyoto, están promocionado el uso de la madera en la construcción, basándose en su gran capacidad fijadora de CO₂ y su positivo efecto en la reducción de la huella ecológica dejada por el proceso edificatorio.

2.2. BENEFICIOS DE LA PRODUCCIÓN DE MADERA: BOSQUES Y PLANTACIONES

La madera que se usa en la construcción en España proviene de bosques y plantaciones forestales gestionados de forma sostenible que, incluso, en muchos casos incorpora una certificación externa emitida por terceras partes (PEFC, FSC, etc.) que acredita que las prácticas realizadas tanto en la gestión

forestal como en toda la cadena de custodia asociada al proceso de transformación se han llevado a cabo siguiendo estrictos criterios de protección medioambiental y social. Es por dicho motivo por lo que, y sin género de dudas, puede afirmarse que la madera es un material renovable (a la vez que reciclable) cuyo uso creciente no sólo no esquilma y compromete la persistencia de nuestros bosques sino que, además, genera efectos medioambientales positivos tanto en nuestro clima (por su efecto sobre los ciclos del agua, de los nutrientes y del carbono atmosférico) como en la seguridad y salubridad de las edificaciones en las que es incorporado. Por dicho motivo puede afirmarse que el incremento en el consumo de madera produce efectos medioambientales y sociales positivos y crecientes, al fomentar la reforestación de grandes superficies de terreno antiguamente dedicadas a la agricultura y hoy completamente abandonadas.

Para conseguir desterrar ideas equivocadas, conviene retener algunos conceptos de interés:

- **Fijación del CO₂ de la atmósfera.** Los bosques secundarios y plantaciones forestales son uno de los grandes sumideros de dióxido de carbono que existen a nivel mundial (en 2004 los bosques españoles fijaron el 18,8% del CO₂ total emitido a nivel nacional). El árbol a través de la fotosíntesis capta ("respira") CO₂ atmosférico, exhalando oxígeno y almacenando el dióxido de carbono en la estructura de la propia madera. Según el Centro Nacional de Desarrollo de la Madera de Francia (CNDM) una tonelada de madera empleada en la edificación significa 1,6 toneladas de CO₂ retiradas de la atmósfera (por sí misma almacena 1 tonelada, el resto viene del efecto sustitutorio de otros materiales emisores). Como cifra de referencia puede decirse que una plantación forestal, como término medio, fija anualmente por hectárea de superficie todo el CO₂ emitido anualmente por seis coches. Las cifras anteriores revelan de forma clara que el consumo de madera actúa, de forma activa, contra el principal de los gases responsables del efecto invernadero.
- **Regulación del ciclo hidrológico.** Las raíces de los árboles absorben el agua y los minerales del terreno, bombeándolos por toda la estructura vascular interior (en forma de savia bruta) hasta las hojas, donde se lleva a cabo la fotosíntesis. Parte del agua bombeada desde el terreno hasta la copa de los árboles es evaporada a través de los estomas de las hojas, contribuyendo de esta forma eficazmente al incremento de la humedad relativa y pluviosidad locales.

- **Protección frente a la erosión hídrica y eólica.** La cubierta forestal frena a las gotas de lluvia en su caída libre desde las nubes haciendo que el impacto contra el suelo sea menos violento y que éste se desagregue y sea arrastrado por el agua en su discurrir por la superficie (escorrentía). La menor velocidad de circulación del agua favorece también la mejora de su captación por el suelo incrementando de este modo la tasa de recarga de los acuíferos. La cubierta arbórea también protege al suelo frente a la fuerza erosiva del viento. La positiva influencia de la cubierta arbórea frente a la escorrentía y la desertificación es reconocida desde antiguo, existiendo numerosas reforestaciones efectuadas en las grandes cuencas y cabeceras de los ríos para proteger a las poblaciones y los suministros acuíferos. Cuando la gestión forestal es sostenible, esta función protectora de los bosques puede ser compatible con la función productiva.
- **Mantenimiento de la vida silvestre y la biodiversidad.** En los bosques y plantaciones forestales la fauna y flora encuentran refugio y alimento siendo tan sólo el vértice de una pirámide trófica mucho más rica, en la que bacterias, hongos e invertebrados juegan un importantísimo papel. Frente a las prácticas agrícolas habituales, en las que el uso de fertilizantes y herbicidas es práctica habitual, las plantaciones forestales minimizan el uso de productos químicos, por lo que, la conversión de terrenos agrícolas en forestales supone por sí sola una notable mejora medioambiental, que tiene como efecto colateral positivo un notable incremento en la biodiversidad.

2.3. CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Además de los beneficios, ya vistos, que las plantaciones y bosques traen consigo durante el proceso de crecimiento de la madera, este material presenta una serie de propiedades que la hacen muy adecuada para el sector de la construcción. Entre ellas cabe citar:

- a) Requiere poco gasto energético para su fabricación, transporte y puesta en obra.
- b) Es ligera y con una buena relación resistencia/peso.
- c) Su comportamiento ante el fuego es predecible.
- d) Con el diseño y ejecución adecuados las soluciones constructivas con madera son muy durables, incluso en ambientes con altas concentraciones de productos ácidos y soluciones de sales de ácidos.
- e) Es fácilmente manejable y mecanizable.
- f) Permite realizar montajes de forma rápida, limpia y en ausencia de agua.

A continuación se pasa a desarrollar cada uno de estos puntos.

- **Bajo consumo energético.** En su proceso de "fabricación" el árbol utiliza una energía no fósil e infinitamente renovable, como es la solar. Pero, por otra parte, y debido a su estructura y baja densidad, el consumo de energía en los procesos de transformación, transporte y puesta en obra es bajo y por lo tanto, los será también las emisiones CO₂ y del

resto de los gases que provocan el efecto invernadero. El contenido energético de las estructuras de madera en servicio es, como media y a igualdad de masa, diecisiete veces inferior al de las estructuras de acero.

Por otra parte, después del periodo de vida útil de un elemento o producto derivado de madera (ciclo de vida), éste puede ser reutilizado en otras construcciones, reciclado como materia prima para fabricar tableros o vigas reconstituidas o valorizado energéticamente, evitando con ello el consumo de energías fósiles altamente emisoras de CO₂. En el caso más desfavorable, que este material fuera desechado sin valorización energética final, la madera es un material biodegradable y no contaminante, susceptible de ser incorporado al humus.

- **Ventajas resistentes.** La madera es un material ligero con una relación elevada entre resistencia y peso. Esta relación, en tracción y compresión paralela a las fibras, es similar a la del acero pero superior, en el caso de tracción, a la del hormigón. En cambio, comparada con estos dos materiales, el módulo de elasticidad es bajo aunque no así la rigidez específica (relación entre elasticidad y densidad), que vuelve a ser muy similar en los dos materiales antes citados.
- **Comportamiento ante el fuego.** Aunque la madera es un material combustible e inflamable tiene la virtud de poseer un comportamiento predecible a lo largo del desarrollo del incendio, ya que la pérdida de sección se puede considerar constante en el tiempo. Cuando la madera o cualquier material derivado de ella se encuentran sometidos a un incendio generalizado, la superficie expuesta al mismo se inflama creando rápidamente una capa carbonizada aislante que incrementa su protección natural (el carbón vegetal es un gran aislante térmico). Al ser la madera un mal conductor del calor, la transmisión hacia el interior de las altas temperaturas es muy baja, por lo que se puede considerar que la madera que no ha sido carbonizada mantiene sus características resistentes en condiciones normales, pese a la actuación de incendio. Este comportamiento es la base de una notable resistencia estructural al fuego.
- **Durabilidad.** Con un diseño y puesta en obra correctos, las soluciones constructivas con madera pueden llegar a ser muy durables. Este hecho es fácilmente constatable a través de la observación de las numerosas obras que con cientos de años de antigüedad a sus espaldas han llegado hasta nuestros días en perfecto estado de conservación.

Por otra parte, la madera es un material resistente a la acción de un gran número de compuestos químicos, presentando un mejor comportamiento que el hierro y los aceros normales a la acción de los ácidos y de las soluciones de sales de ácidos. En estos ambientes la madera es un excelente material constructivo ya que evita las siempre costosas labores de mantenimiento. Este hecho, por sí solo, explica el notable incremento de su uso en piscinas y polideportivos cubiertos, en recintos industriales (por ejemplo almacenes de sal y de otros productos químicos gaseosos) y, más recientemente, en recintos comerciales.

- Ventajas constructivas.

- *Adaptabilidad.* La madera se adapta a prácticamente cualquier estilo, permitiendo y fomentando la originalidad de los diseños. Este material permite salvar grandes luces, apertura de grandes huecos, adaptación al entorno y una enorme variedad de texturas, formas y colores. La posibilidad de elegir, como acabado exterior, entre diversos tipos de tableros y maderas tratadas multiplica las posibilidades.

- *Tiempo de montaje.* Por su ligereza y fácil ajuste en obra, las estructuras de madera permiten aminorar los tiempos de montaje con respecto a otros materiales. El empleo de elementos estructurales normalizados y la prefabricación en taller permiten disminuir drásticamente los tiempos de ejecución de una obra. Además, el uso de sistemas constructivos con madera propicia la construcción en seco, lo que reduce los problemas asociados a la presencia de agua y en obra durante la ejecución.

- Ventajas de confort

Las casas de madera proporcionan una agradable sensación de confort a sus habitantes. Esto es debido a que:

- La madera mantiene un equilibrio higroscópico con el medio, tomando o cediendo humedad hasta alcanzar el equilibrio. Por dicho motivo, la presencia de madera en una vivienda regulariza la humedad del medio interior.
- La madera es un material que presenta una buena absorción de las ondas acústicas, lo que se traduce en una reducción de la reverberación de las ondas sonoras y en una mejora del confort acústico interno de los edificios.
- La madera es un buen aislante térmico, lo que reduce el consumo de energía en el uso de los edificios.

Un estudio recientemente llevado a cabo por el Instituto Biomecánica de Valencia (IBV), centro concertado de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) para el proyecto "Vivir con Madera" ha sacado a la luz numerosas evidencias científicas que permiten demostrar que las viviendas con madera en su interior y estructura contribuyen de forma eficaz a mejorar la salud de los moradores al mejorar las condiciones de clima interior (regulación de temperatura y humedad relativa), acústicas (al reducir las reverberaciones) y hasta psicológicas de los moradores (derivadas de la sensación de contacto con productos naturales, absorción de radiaciones electromagnéticas, etc.). Para ampliar la información sobre estos aspectos se recomienda acudir a la publicación de "Vivienda y salud" así como al resto de la línea editorial del proyecto "Vivir con Madera".

2.4. TIPOS DE EDIFICACIÓN

En el caso de la madera, se puede realizar una primera diferenciación de los sistemas constructivos atendiendo a las escuadrías y tipos de elementos estructurales empleados. Esta primera clasificación considera tres sistemas constructivos distintos:

1- Pequeñas escuadrías. Sistemas formados por elementos estructurales de pequeño espesor (36-70mm) colocados a distancias reducidas (inferior a un metro) y arriostrados entre sí. La capacidad portante en situaciones de incendio de este sistema estructural suele ser muy pequeña, por lo que normalmente requiere el empleo de elementos de protección adicionales (aislantes, tableros, etc.). Con este sistema se pueden salvar luces máximas de, aproximadamente, 12 metros.

2- Grandes escuadrías. Sistemas formados por elementos estructurales de gran espesor (superior a 80 mm), normalmente colocados con distancias mayores a un metro entre ellos. Es usual que en este sistema estructural se presenten elementos estructurales primarios y secundarios (pudiendo ser, estos últimos, de pequeña escuadría). La madera puede estar vista, y por tanto, en estos casos este elemento debe asegurar su capacidad portante en situaciones de incendio durante el tiempo exigido por la normativa. Con elementos estructurales de gran escuadría se pueden salvar grandes luces (pudiendo llegar a más de 100 metros).

3- Tableros contralaminados. Sistemas formados por tableros contralaminados como elementos estructurales trabajando como placa. Los espesores de estos tableros suelen estar en intervalos de 70 a 500 mm. Para ampliar la información sobre este producto se recomienda consultar el capítulo de "Productos de madera para la construcción" de esta Guía.

Además de la clasificación anterior, en el caso particular de construcción de viviendas unifamiliares se pueden diferenciar cuatro tipos de edificación, en los que los tres primeros presentan similitudes con las mencionadas anteriormente. Para ampliar información sobre estos sistemas constructivos se recomienda consultar la Publicación sobre "Soluciones constructivas de muros, forjados y cubiertas de viviendas unifamiliares":

1. Sistema de entramado ligero (*Figura 0.1.*). Este sistema se emplea para muros, forjados y cubiertas. Consiste en una trama de elementos lineales de madera de pequeña escuadría (de 36 a 70 mm de espesor) colocados a pequeña distancia unos de otros (inferior a un metro) y arriostrados, normalmente, mediante tableros estructurales. El sistema funciona como una estructura espacial formada por la unión de las estructuras de muro, forjado y cubierta. Las uniones suelen ser sencillas, empleando, mayoritariamente elementos de tipo clavija.

2. Sistema de entramado pesado (*Figura 0.2.*). Este sistema se emplea para muros, forjados y cubiertas. Consiste en una trama de elementos lineales de madera (aserrada o laminada) de gran escuadría (aproximadamente a partir de 80-100 mm de espesor) unidos entre sí hasta formar un conjunto indeformable. La estabilidad de la estructura se basa en dos principios: los ensambles en las uniones y/o la triangulación para arriostramiento de sus miembros. El sistema de entramado pesado, a diferencia del sistema de entramado ligero, está formando solo la estructura, por lo que el cerramiento debe completarse con materiales diversos: ladrillo, mampostería, paneles, vidrio, etc. En el caso de cerramientos verticales y bovedillas, entablados, paneles, etc en el de forjados y cubiertas. Una característica de este sistema constructivo suele ser que los elementos estructurales suelen ir vistos.

Figura 0.1. Edificación con sistema de entramado ligero

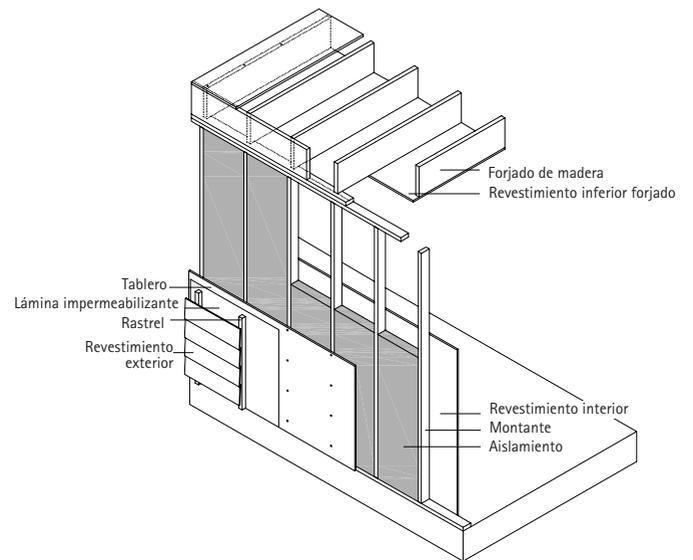
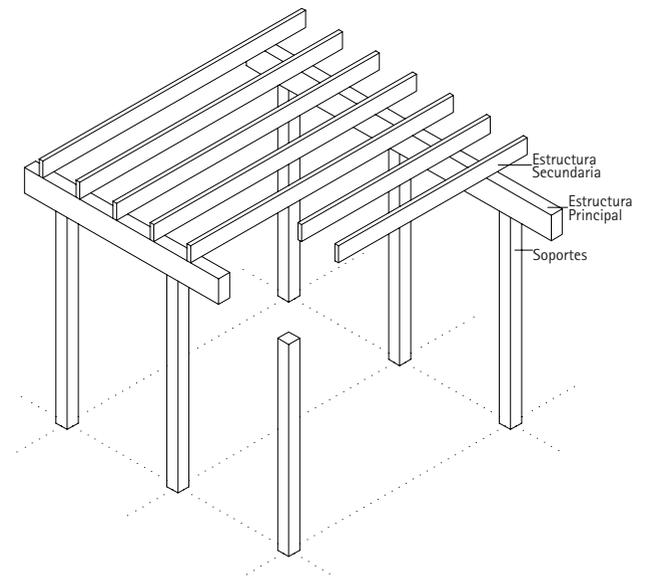


Figura 0.2. Edificación con sistema de entramado pesado



3. Sistema de vivienda con tableros contralaminados (Figura 0.3.). Este sistema se emplea tanto para fachadas como para particiones, forjados y cubiertas. Consiste en una losa formada por un tablero contralaminado (de 70 a 500 mm de espesor), acompañado por aislante y, según requerimiento de fuego o estético, por tableros protectores.

4. Sistema de vivienda con muros de troncos o de bloques de madera (Figura 0.4.). Este sistema se emplea únicamente en elementos verticales. Los forjados y cubiertas son habitualmente resueltos haciendo uso de algunos de los sistemas anteriormente mencionados.

La construcción según este sistema se basa en el empleo de muros de carga de madera de sección cuadrada o redondeada, en los que los troncos o los bloques de madera son colocados en sentido horizontal. Este sistema tiene similitudes con el de construcción de muros de mampostería. Al quedar la madera vista exteriormente, su presencia condiciona el aspecto final de la fachada.

Es importante mencionar que pese a la clasificación anteriormente mencionada, no siempre las viviendas incorporan todos los elementos estructurales de madera, motivo por lo cual es usual la presencia de edificaciones mixtas de fábrica u hormigón y madera.

En el presente documento se dan indicaciones acerca del comportamiento de estos sistemas constructivos, y se proporcionan métodos simplificados para el diseño y predimensionado de edificios sencillos construidos con sistemas de entramado.

Figura 0.3. Edificación con sistema de tableros contralaminados

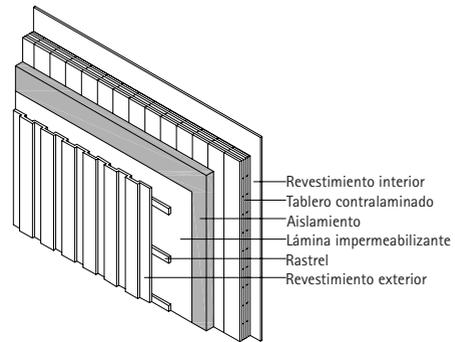
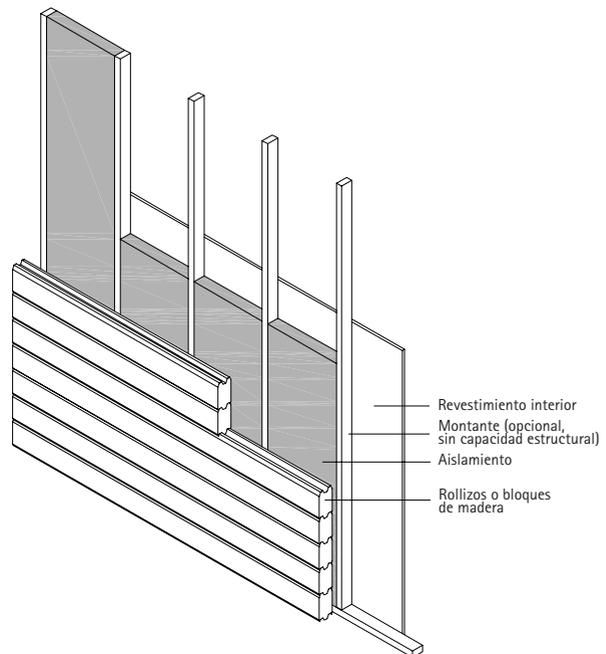


Figura 0.4. Edificación con muros de bloques de madera





3. CARACTERÍSTICAS Y PRESTACIONES DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON MADERA.

3.1. INTRODUCCIÓN

En el presente apartado se aporta información básica sobre las particularidades de la madera y sus productos derivados. Además, se exponen las características que deben poseer los diferentes sistemas constructivos con madera para cumplir la normativa vigente y se analizan, en base a esta, los casos más usuales en construcción con madera. Fruto de este análisis se presentan tablas simplificadas que permiten realizar una primera aproximación al diseño y cálculo.

3.2. NOCIONES BÁSICAS DEL MATERIAL

División de la parte maderable del tronco. La parte maderable del tronco se divide en albura, duramen y médula.

- *La albura.* Es la madera proveniente de la zona exterior del tronco, de coloración generalmente más clara que el resto. La albura suele ser menos densa y menos durable al ataque de los xilófagos, pero más fácilmente impregnable que el duramen. Por lo tanto, la protección frente insectos y hongos suele ser más sencilla.

- *El duramen.* Es la madera procedente de la parte interior del tronco. Suele exhibir una coloración generalmente más oscura que la albura, así como una mayor durabilidad. Las diferencias con la albura, son más o menos acusadas, según la especie. El duramen suele ser menos impregnable a los productos de acabado y protección.

- *La médula.* Es los restos del tejido vascular primario, que se sitúan en el centro del tronco, representando tan sólo un pequeño porcentaje del mismo. Suele estar formada por un tejido más blando y poroso, normalmente sin capacidad mecánica. Usualmente, la aparición de la misma en una pieza está considerada como indeseable estéticamente, motivo por lo cual suele estar excluida su presencia en las clases de calidad más elevadas.

Anisotropía de la madera. Como consecuencia de la forma, estructura interna y orientación marcadamente longitudinal de las células, la madera es un material acusadamente anisótropo, con propiedades distintas según se considere la dirección longitudinal o transversal. (Figura 0.5.)

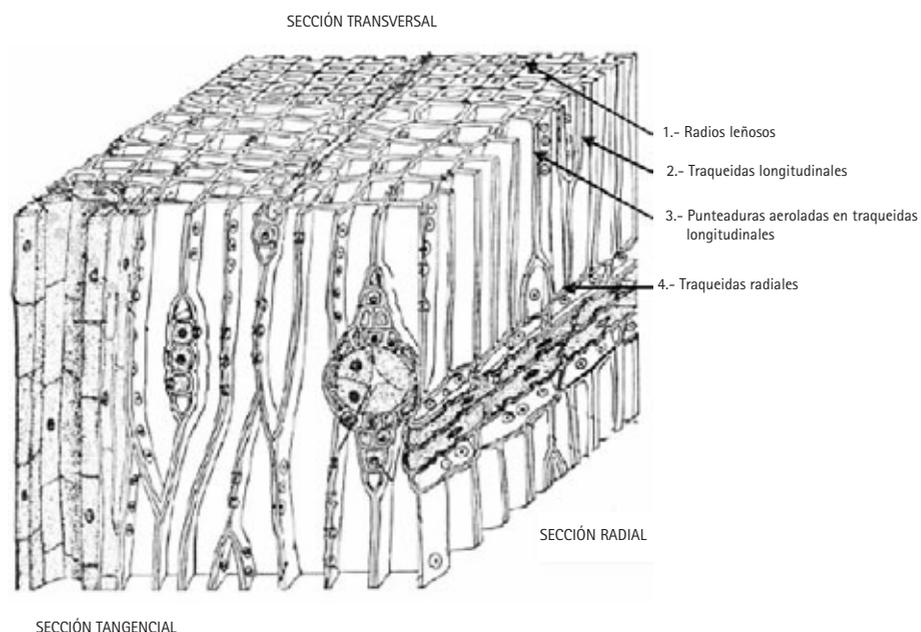


Figura 0.5. Vista tridimensional de un corte anatómico de la madera de conífera

Este comportamiento anisótropo del material se manifiesta en sus propiedades físico-mecánicas, que serán distintas según cual sea la dirección considerada. A modo de ejemplo, una madera clasificada como C24 tendrá una resistencia a la tracción paralela a las fibras de 14 N/mm² mientras que su resistencia a la tracción perpendicular será de tan solo 0,4 N/mm². La anisotropía de la madera ya ha sido tenida en cuenta por la normativa a la hora de establecer las clases de resistencia.

Respecto del efecto de la anisotropía en el comportamiento físico del material, es importante señalar que ante cambios de humedad significativos en el material (superiores en todo caso al 2%) se producen cambios volumétricos (hinchazón y merma) que pueden generar deformaciones más o menos acusadas en función del tipo de producto (mínimo en los productos laminados) y de la especie. En publicaciones especializadas pueden verse recogidas clasificaciones de las especies de madera en función de su mayor o menor tendencia a la deformación, aspecto éste de gran trascendencia cuando la madera es empleada para fines decorativos (especialmente en suelos).

Higroscopicidad de la madera. La madera es un material higroscópico y por lo tanto tiende a absorber o ceder agua según el ambiente al que está sometida (humedad relativa y temperatura ambiente). Para una humedad y una temperatura determinada, la madera se estabiliza a un valor de porcentaje de humedad que recibe el nombre de humedad de equilibrio higroscópico¹. A modo de ejemplo, en un ambiente con una humedad igual o menor al 85%, la madera de coníferas generalmente se estabiliza por debajo del 20% de humedad.

Por debajo de un determinado valor (denominado Punto de Saturación de las Fibras -valor que como media para todas las especies se fija en el 30% de humedad-), la resistencia y rigidez de la madera son inversamente proporcionales al porcentaje de agua que posea. Para determinar la pérdida o ganancia de resistencia que tiene un elemento de madera con respecto a la humedad de referencia (12%) habrá que considerar la humedad de trabajo del elemento, la cual será, a su vez, función de la humedad relativa y temperatura del ambiente en donde vaya a ser colocado. Para conseguir que el proceso de ajuste de la resistencia y elasticidad de la madera por la humedad de trabajo sea sencillo, el Código Técnico de la Edificación (CTE) diferencia tres tipos de exposición del elemento:

- *Ambiente interior protegido* (clase de servicio 1). La humedad de equilibrio higroscópico media de la madera en la mayoría de las coníferas no excede el 12%.
- *Ambiente exterior protegido o interior muy húmedo* (clase de servicio 2). La humedad de equilibrio higroscópico media de la madera en la mayoría de las coníferas no excede el 20%.
- *Ambiente exterior no protegido* (clase de servicio 3). Edificios o estructuras expuestas al agua de la lluvia como puentes, pasarelas, terrazas, etc. La humedad de equilibrio

higroscópico media de la madera en la mayoría de las coníferas excede el 20%.

En el Documento de Seguridad estructural: Madera (DB SE-M) simplifica enormemente la consideración del factor humedad en el cálculo estructural. Para ello y una vez clasificadas las condiciones de trabajo del elemento de madera (Clases de servicio) aporta los valores a considerar (k_{mod} y k_{def}) para modificar los valores de resistencia y elasticidad obtenidos de las clases de resistencia (usualmente dados para un contenido de humedad estándar del 12%).

3.3. COMPORTAMIENTO MECÁNICO

El cálculo de estructuras de madera está profusamente recogido en el documento básico DB SE-M. Para una mejor comprensión de este material, es importante conocer cuáles son, comparativamente respecto de otros materiales, sus particularidades:

- **Duración de la carga y ambiente al que va a estar sometido el elemento estructural.** La resistencia y la deformación de la madera son sensibles a la duración de la carga y al ambiente al que esta sometido el elemento estructural. Para considerar estas particularidades, en el cálculo estructural con madera se emplean coeficientes que minoran la resistencia o incrementan la deformación por fluencia del material. A modo de ejemplo, la resistencia de cálculo de un elemento estructural sometido a una carga permanente se considera aproximadamente un 55% menor que si esta fuera instantánea y la resistencia de cálculo, en elementos lineales, en ambientes protegidos (tanto interior como exterior) se considera aproximadamente 20% mayor que en ambientes exteriores no protegidos.
- **Flexión como factor limitante del cálculo.** Esto es debido a que se suelen utilizar mayoritariamente secciones rectangulares con una proporción del canto y el espesor no muy elevada y a que la madera presenta un módulo de elasticidad bajo (aproximadamente entre 10 y 20 veces menor que el acero).
- **Tracción y compresión perpendicular a las fibras.** La madera es poco resistente si la carga se aplica perpendicularmente a las fibras. La resistencia a la tracción perpendicular suele ser de un 5,0% a un 1,4 % de la resistencia a la tracción paralela a las fibras. La sollicitación en dirección perpendicular a las fibras suele ser el factor limitante en el cálculo de uniones, encuentros y elementos estructurales de sección variable y/o de directriz curva. En la construcción con madera es importante evitar cambios imprevistos en los proyectos que puedan ocasionar que un elemento estructural quede sometido a los efectos de una tracción o compresión perpendicular a las fibras no considerada en el cálculo. Igualmente en el diseño de las uniones y encuentros será importante considerar el natural movimiento de la madera (por ejemplo por acción de condiciones climáticas del medio muy variables a lo largo del año) para evitar la aparición de tensiones perpendiculares a las fibras.

¹ *Humedad de equilibrio higroscópico: Contenido de humedad que tiende a alcanzar la madera para cada estado higrométrico del aire (combinación de humedad relativa y temperatura).*

3.3.1. Elementos estructurales de grandes escuadrías

Los elementos de grandes escuadrías se emplean mayoritariamente en la construcción de cubiertas. Éstas están generalmente formadas por los órdenes siguientes:

1- *Estructura principal*. Formada por las vigas, pórticos, arcos (*Tabla 0.2* y *Tabla 0.4*) o cerchas (*Tabla 0.3* y *Tabla 0.5*) que cubren la luz principal. La luz máxima que pueden alcanzar está en relación con el tipo estructural. El canto de la sección de las piezas principales, h , puede estimarse en una primera aproximación en función de la luz, l , según el tipo estructural.

De manera aproximada la anchura de la sección, b , en vigas rectangulares oscila entre $h/2$ y $h/8$, con un límite inferior y superior de 80 y 220 mm, respectivamente.

2- *Estructura secundaria*. Formada por las correas o paneles sándwich portantes (ver capítulo de productos) que salvan la distancia entre piezas principales. En el caso de correas, su luz puede oscilar entre 2 y 12 m. El canto de correas rectangulares, h , puede estimarse de forma aproximada en función de la luz empleando la *Tabla 0.2*. La anchura b oscila, de forma aproximada, entre $h/2$ y $h/3,5$ con el límite inferior y superior de 80 y máximo de 160mm. En el caso de paneles sándwich portantes generalmente se pueden salvar luces máximas de 5 metros. El canto requerido dependerá de las propiedades de cada producto, declaradas por cada fabricante.

3- *Arriostramiento lateral*. Formado por un sistema de barras en el plano de la cubierta y en las paredes, que forman una viga de celosía y que tienen el objeto de resistir la acción del viento en la dirección perpendicular a la estructura principal y aportar estabilidad lateral a las piezas principales reduciendo el posible efecto de vuelco lateral (o pandeo lateral)

Por lo general, estas vigas contraviento se sitúan en los vanos extremos del edificio y si este tiene una longitud superior a 60 m será necesario disponer de otro intermedio.

La *Tabla 0.2* presenta una primera aproximación del canto requerido al elemento lineal, de madera laminada o maciza, en condiciones normales y de incendio para elementos que se encuentren sometidos a un ambiente interior protegido. El cálculo de los elementos se deberá realizar según DB SE-M y DB SI. El Anejo A presenta tablas de diseño para vigas biapoyadas en diferentes condiciones de carga.

Las celosías de madera aserrada o laminada de grandes escuadrías, generalmente se denominan cerchas tradicionales y se construyen con secciones de mediana o gran escuadría (100–200 mm de espesor y 150–280 mm de altura). El espesor actualmente está muy condicionado por los máximos admitidos en las máquinas de control numérico.

La separación entre este tipo de celosías varía entre 3 y 4 metros, necesitando por tanto una estructura secundaria (co-

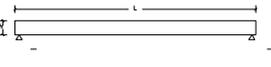
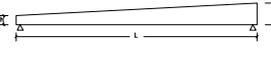
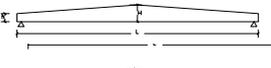
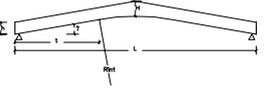
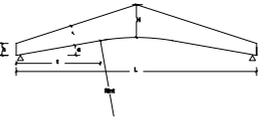
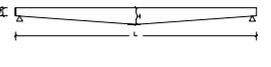
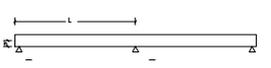
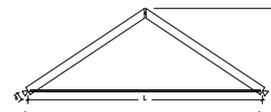
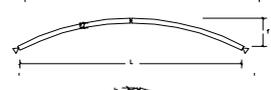
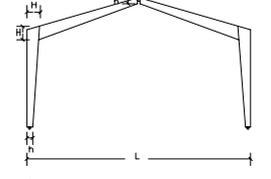
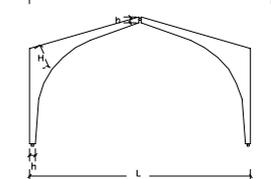
rreas o tableros sándwich portantes). En algunos casos, aparecen, además de las correas, los cabios o parecillos formando una estructura de tercer orden.

La *Tabla 0.3* recoge los tipos más habituales de cerchas de grandes escuadrías indicando las luces recomendadas.

La madera microlaminada (LVL) se emplea en la construcción de estructuras de luces de 12 a 45 m mediante la fabricación de sistemas de celosía o de pórticos.

Los pórticos contruidos con madera microlaminada permiten salvar luces desde 12 a 35 m. Los pilares son de sección en cajón, formados por dos piezas de sección variable cerrados por unos forros continuos del mismo material. Los dinteles pueden estar formados por una o dos piezas. Los enlaces en nudos de esquina y en otros nudos rígidos se realizan mediante corona de pasadores y pernos. Las celosías consisten en barras formadas con dos piezas adosadas. La unión se puede realizar por placas metálicas internas que se unen con la madera mediante pasadores. Entre las dos piezas se coloca un tablero contrachapado con separador continuo con el mismo grueso que la chapa metálica. En grandes luces o cargas se puede recurrir a disponer piezas triples insertando dos placas de acero en el interior para las uniones. Las *Tablas 0.4* y *0.5* recogen los tipos estructurales que los fabricantes recomiendan en su literatura técnica.

Tabla 0.2. Tablas de predimensionado de elementos estructurales en madera laminada o maciza de grandes escuadrías

Sistema estructural	Descripción	Pendiente del elemento	Separación (m)	Luces habituales (m)	Predimensionado de la luz (m)
	Viga recta de canto constante ⁽⁵⁾	Forjado (0°)	1-5	4-30	$h=L/(16,5-0,15L)$
		0-30°	1-5	4-30	$h=L/(21,5-0,15L)^{(5)}$
	Viga a un agua	0-10°	1-5	10-30	$h=L/(26,5-0,15L)$ $H=L/(16,5-0,15L)$
	Viga a dos aguas	0-10°	1-5	10-30	$h=L/(23-0,1L)$ y $H=L/(19-0,1L)$ o $h=L/(31-0,1L)$ y $H=L/(16-0,1L)$
	Viga peraltada. Intrados curvo-recto (extremo de canto constante). $\alpha \leq 10^\circ$ $t=7/20 L$	0-10°	1-5	10-30	$h=L/(22-0,2L)$ $H=L/(16-0,1L)$
	Viga peraltada. Intrados curvo-recto (extremo de canto no contrante) $\alpha \leq 10^\circ$ $\beta \leq 10^\circ$ $t=7/20 L$	5-20°	1-7	10-30	$h=L/(32,5-0,25L)$ $H=L/(17,5-0,25L)$
	Viga en vientre de pez	0	1-7	10-30	$h=L/(23-0,1L)$ y $H=L/(19-0,1L)$ o $h=L/(31-0,1L)$ y $H=L/(16-0,1L)$
	Viga con tirante	0	1-7	10-30	$h=L/40$ $F=L/12$
	Viga continua dos vanos ⁽⁵⁾	Forjado	1-5	4-30	$h=L/(19-0,2L)$
		Cubierta	1-5	4-30	$h=L/(23-0,25L)$
	Viga continua tres vanos ⁽⁵⁾	Forjado	1-5	4-30	$h=L/(19-0,25L)$
		Cubierta	1-5	4-30	$h=L/(23,5-0,20L)$
	Viga en voladizo	2-12°	1-7	K=10-20	$L/K=1/3$ $H=K/45$ $h=K/10$
	Pórtico en V invertida, triarticulado	45-60°	5-8	15-50	$h=L/30-L/50$ $f \geq L/3$
	Arco biarticulado o triarticulado		5-10	25-120	$h=L/20-L/40$ $f \geq L/5-L/8$
	Arco triangular triarticulado o con tirante	>12°	5-8	15-50	$h=L/30-L/50$ $f \geq L/6$
	Arco triangular triarticulado o con tirante		4-6	30-100	$L/30-L/50$ $f \geq L/7$
	Pórticos triarticulados	5-30°	5-10	10-50	$h=L/40$ $H=L/20$
	Pórtico triarticulado	10-40°	5-10	10-50	$h=L/40$ $H=L/17$ $R \geq 5m$

(1) Los cálculos se han realizado para madera laminada encolada de clase resistente GL24h.

(2) Se considera tres caras expuestas a la acción del incendio.

(3) Las acciones consideradas son las siguientes: 1) Cubierta: carga permanente 1 kN/m^2 + peso propio de la viga, un carga de nieve de $0,7 \text{ kN/m}^2$, de viento de $0,4 \text{ kN/m}^2$, y una sobrecarga de mantenimiento de $0,4 \text{ kN/m}^2$. 2) Forjado: carga permanente $0,8 \text{ kN/m}^2$ + peso propio de la viga, un peso del tabiques de $0,8 \text{ kN/m}^2$ y sobrecarga de uso de 2 kN/m^2 . 3) una presión de viento sobre los pilares de $0,7 \text{ kN/m}^2$. Las flechas relativas consideradas son: a) integridad de los elementos constructivos $1/400$ en el caso de forjados. b) Confort de los usuarios $1/350$ y c) Apariencia en obra $1/300$.

(4) De forma aproximada se puede considerar que el espesor requerido para asegurar la capacidad portante de un elemento es: R30 $b \geq 100 \text{ mm}$, R60 $b \geq 160 \text{ mm}$ y R90, $b \geq 200 \text{ mm}$.

(5) Longitud real de la viga.

Tabla 0.3. Tablas de predimensionado de elementos estructurales de celosía con madera maciza y madera laminada encolada de grandes escuadrías

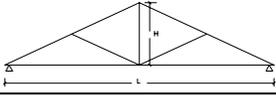
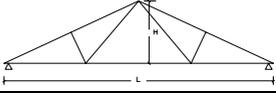
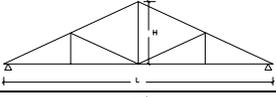
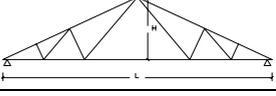
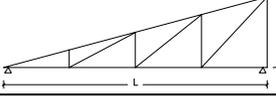
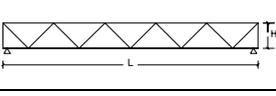
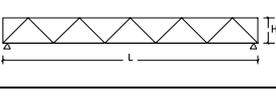
Sistema estructural	Altura máxima	Ángulos	Separación (m)	Luces habituales (m)
	$H \geq L/10 - L/8$		4-10	7,5-30
	$H \geq L/10 - L/8$		4-10	7,5-30
	$H \geq L/10 - L/8$	12-30°	4-10	7,5-30
	$H \geq L/10 - L/8$	12-30°	4-10	7,5-30
	$H \geq L/10$	12-30°	4-10	7,5-35
	$H \geq L/10 - L/12$	0	2,5-6	5-25
	$H \geq L/10 - L/12$	0	2,5-6	5-25

Tabla 0.4. Tablas de predimensionado de elementos estructurales con madera microlaminada

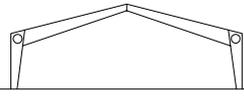
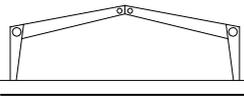
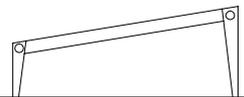
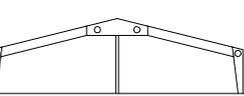
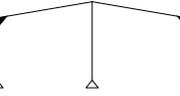
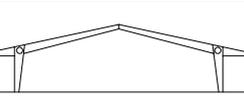
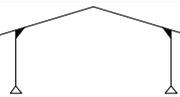
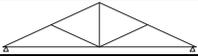
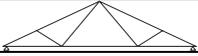
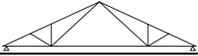
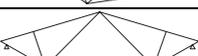
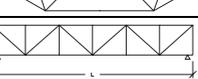
Tipo estructural	Luces (m) Altura pilares (m)	Pendiente (%)	Separación (m)	Modelo
	12 a 35 3 a 7	> 25	4 a 8	
	18 a 30 3 a 7	3 a 20	4 a 8	
	10 a 20 3 a 7	3 a 20	4 a 8	
	10 a 20 3 a 7	3 a 20	4 a 8	
	Luz de vuelo: 2 a 5	> 25	4 a 8	

Tabla 0.5. Tablas de predimensionado de elementos estructurales de celosía con madera microlaminada

Tipo estructural	Luces (m)	Pendiente (%)	Separación (m)	Geometría
	12 a 25	> 25	4 a 8	
	12 a 25	> 25	5 a 10	
	20 a 30	> 25	5 a 10	
	15 a 30	-	5 a 10	
	25 a 45	> 15	5 a 10	
	18 a 40	-	5 a 10	$H = L / 10$
	10 a 18	-	5 a 10	$H = L / 10$

3.3.2. Elementos estructurales de pequeñas escuadrías: Sistema de entramado ligero

En este tipo de edificación se emplea, generalmente, una distinción de elementos y funciones más diferenciada que los que emplean la construcción tradicional. Se puede diferenciar básicamente:

- *Estructura principal.* Que normalmente recibe el nombre de entramado, está compuesta por los montantes, viguetas y cerchas.
- *Estructura secundaria.* Compuesta por tableros de fachada, entrevigado, tableros soporte de la cubierta, etc.
- *Revestimiento.* constituido por: revestimiento de fachada, pavimentos y cubrición de cubierta. No suele presentar función estructural sino de protección y acabados.

Estructura principal: Entramado de muros.

En el entramado ligero el muro está constituido por un conjunto de elementos, cada uno realizando con una función de transmisión de cargas y de servir de soporte del revestimiento exterior e interior. En la *Figura 0.6.* se presenta el entramado de muro del sistema de plataforma (platform system). Este entramado está compuesto por un conjunto de piezas verticales, horizontales e inclinadas, estas últimas normalmente sustituidas por el tablero estructural.

Los montantes son los elementos verticales. En las *Tablas 0.6.* y *0.7.* se presentan cuadros simplificados para la obtención de la altura libre máxima que puede presentar un muro exterior o interior, respectivamente, de entramado ligero según las escuadrías de la madera, el número de plantas y la clase resistente de la madera. Para asegurar el correcto funcionamiento del conjunto (*Figura 0.6.*) se hace necesario completar el entramado con piezas horizontales: carrera y travesaños y por

elementos que arriestren al conjunto (tableros estructurales o riostras). En el caso de muros interiores, normalmente se emplea yeso laminado como revestimiento en ambas caras.

Figura 0.6. Ejemplo de entramado de muro en el sistema de plataformas

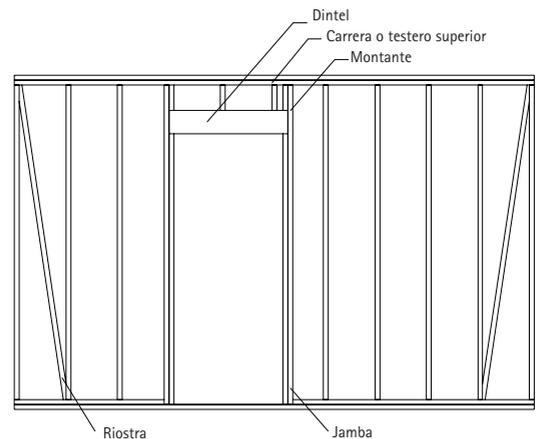
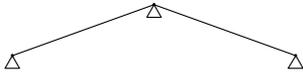
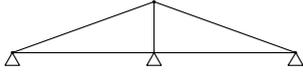
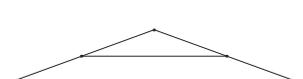
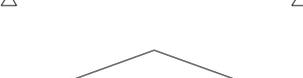
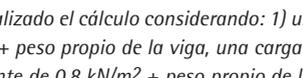
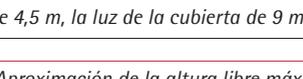


Tabla 0.6. Aproximación de la altura libre máxima (m) de los entramados de muros exteriores según escuadras, clase resistente y número de plantas del edificio ⁽¹⁾

Sección montante (mm)	Intereje (m)	PESO QUE SOPORTA ADEMÁS DEL PROPIO										
		Cubierta		Cubierta + 1 planta		Cubierta + 2 planta		Cubierta + 3 planta		Cubierta + 4 planta		
		C18	C24	C18	C24	C18	C24	C18	C24	C18	C24	
	38x89	0,42	3,0	3,4	-	2,6	-	-	-	-	-	-
		0,63	-	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	38x140	0,42	4,9	>5	4,1	4,6	3,6	4,0	3,2	3,6	2,9	3,3
		0,63	4,0	4,5	3,3	3,8	2,8	3,2	2,5	2,9	-	2,6
	45x98	0,42	3,6	4,1	2,9	3,3	-	2,8	-	-	-	-
		0,63	2,9	3,4	-	2,6	-	-	-	-	-	-
	45x123	0,42	4,6	>5	3,8	4,3	3,3	3,7	2,9	3,3	2,6	3,0
		0,63	3,8	4,3	3,1	3,5	2,6	3,0	-	2,6	-	-
	60x98	0,42	4,2	4,8	3,3	3,8	2,8	3,2	2,5	2,8	-	2,5
		0,63	3,4	3,9	2,7	3,1	-	2,6	-	-	-	-
	60x123	0,42	>5	>5	4,4	>5	3,8	4,3	3,4	3,9	3,1	3,5
		0,63	4,4	>5	3,6	4,1	3,1	3,5	2,7	3,1	2,5	2,8
	38x89	0,42	2,5	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-
		0,63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	38x140	0,42	4,4	>5	3,8	4,3	3,3	3,8	3,0	3,4	2,7	3,1
		0,63	3,5	4,0	3,0	3,4	2,6	3,0	-	2,7	-	-
	45x98	0,42	3,1	3,6	2,6	2,9	-	2,5	-	-	-	-
		0,63	2,5	2,8	-	-	-	-	-	-	-	-
	45x123	0,42	4,1	4,7	3,5	4,0	3,1	3,5	2,8	3,1	2,5	2,8
		0,63	3,3	3,8	2,8	3,2	-	2,8	-	2,5	-	-
	60x98	0,42	3,6	4,1	3,0	3,4	2,6	3,0	-	2,7	-	-
		0,63	2,9	3,3	-	2,8	-	-	-	-	-	-
	60x123	0,42	4,8	>5	4,1	4,6	3,6	4,0	3,2	3,6	3,0	3,3
		0,63	3,9	4,4	3,3	3,7	2,9	3,3	2,6	2,9	-	2,7

(1) Se ha realizado el cálculo considerando: 1) una presión de viento de 0,7kN/m². 2) El peso de la cubierta es considerando una carga permanente 1 kN/m² + peso propio de la viga, una carga de nieve de 0,7 kN/m² y de viento de 0,4 kN/m². 3) El peso del forjado es considerando una carga permanente de 0,8 kN/m² + peso propio de la viga, un peso del tabiques de 0,8 kN/m² y sobrecarga de uso de 2 kN/m². La cruja tipo considerada es de 4,5 m, la luz de la cubierta de 9 m.

Tabla 0.7. Aproximación de la altura libre máxima (m) de los entramados de muros interiores con capacidad estructural según escuadras, clase resistente y número de plantas del edificio ⁽¹⁾

Sección montante (mm)	Intereje (m)	Peso que soporta el entramado además del propio									
		Cubierta		Cubierta + 1 planta		Cubierta + 2 planta		Cubierta + 3 planta		Cubierta + 4 planta	
		C18	C24	C18	C24	C18	C24	C18	C24	C18	C24
38x89	0,42	>5	>5	3,1	3,4	-	2,6	-	-	-	-
	0,63	4,5	4,8	2,5	2,8	-	-	-	-	-	-
38x140	0,42	>5	>5	>5	>5	4,8	>5	4,0	4,5	3,5	3,9
	0,63	>5	>5	>5	>5	3,8	4,3	3,2	3,6	2,7	3,1
45x98	0,42	>5	>5	3,9	4,4	3,0	3,4	2,5	2,8	-	-
	0,63	>5	>5	3,2	3,5	-	2,7	-	-	-	-
45x123	0,42	>5	>5	>5	>5	4,3	4,8	3,6	4,0	3,1	3,5
	0,63	>5	>5	4,5	>5	3,4	3,8	-	3,2	2,5	2,8
60x98	0,42	>5	>5	4,6	>5	3,5	3,9	2,9	3,3	2,6	2,9
	0,63	>5	>5	3,7	4,2	2,8	3,1	-	2,6	-	-
60x123	0,42	>5	>5	>5	>5	>5	>5	4,2	4,7	3,7	4,1
	0,63	>5	>5	>5	>5	4,0	4,5	3,4	3,7	2,9	3,3

(1) Se ha realizado el cálculo considerando: 1) El peso de la cubierta es considerando una carga permanente 1 kN/m² + peso propio de la viga, una carga de nieve de 0,8 kN/m² y de viento de 0,8 kN/m². 2) El peso del forjado es considerando una carga permanente 0,6 kN/m² + peso propio de la viga, un peso del tabiques de 1 kN/m² y sobrecarga de uso de 2 kN/m². La cruja tipo considerada es de 4,5 m

Estructura principal: Entramado de forjados.

En el entramado ligero el forjado está formado por una serie de viguetas que tienen por objeto transmitir a los elementos verticales el peso propio de la estructura, el peso de los tabiques y la sobrecarga de uso. Además, el forjado colabora en la estabilidad del conjunto de la estructura. Con este fin, se requiere, también, viguetas de cabeza ² y zoquetes ³ o tensores metálicos para evitar el vuelco o deformaciones laterales (Figura 0.7.), tanto en el proceso de montaje como durante la vida útil del edificio. Las viguetas de cabeza y los zoquetes, además del cometido comentado, permiten una mayor rigidez de la estructura en el eje perpendicular a las vigas principales, asegurando una mejor resistencia del forjado a las vibraciones. Un adecuado diseño de la colocación de los zoquetes puede disminuir la transmisión acústica indirecta de un recinto a otro.

El método más corriente para mejorar la resistencia de un forjado a las vibraciones es aumentar la rigidez en el eje principal. Esto puede realizarse aumentando la dimensión de las vigas o adheriendo el tablero a las vigas. La solución más eficaz consiste en aumentar la rigidez en la flexión perpendicular al eje principal. Esto puede ser realizado colocando viguetas de cabeza y zoquetes (Figura 0.7.).

En la Tabla 0.8. se indican, de forma aproximada, los cantos mínimos requeridos de las viguetas rectangulares de madera maciza para una luz determinada. Para la obtención de esta tabla se han considerado vigas biapoyadas.

Para la comprobación y dimensionado de las viguetas prefabricadas en doble T (ver capítulo de productos) se suelen emplear las tablas de cálculo que aporta el fabricante del producto que normalmente están adaptadas a la normativa europea.

Estructura principal: Entramado de cubiertas.

El entramado de cubierta con madera de pequeñas escuadrías es frecuentemente utilizado en edificaciones en donde muros y forjados están construidos con otros materiales. Se puede diferenciar las cubiertas según presenten elementos simples o compuestos. Para más información consultar la publicación "Soluciones constructivas para cubiertas".

1. *Elementos simples.* En cubiertas de madera de entramado ligero se emplea mayoritariamente un conjunto de viguetas o pares colocados a pequeña distancia unos de otros. Según la función estructural de las correas se pueden destacar principalmente dos tipos de cubiertas muy utilizadas en sistemas de entramados ligeros:

- *Par e hilera.* (Figura 0.8. (a)). En el cálculo del comportamiento mecánico del conjunto se debe poner especial atención en la carga horizontal que transmiten los pares sobre el muro en donde apoyan (Corresponden a las cubiertas de tipo 1 de las descritas en la Tabla 0.6.).

- *Par y picadero* (Figura 0.8. (b)): En el cálculo del comportamiento mecánico del conjunto se debe poner especial atención en las dimensiones de la viga de cumbrera, que actúa como elemento estructural primario (Corresponden a las cubiertas de tipo 2 de las descritas en la Tabla 0.6.).

Figura 0.7. Ejemplos de entramado de forjado en el sistema de plataformas

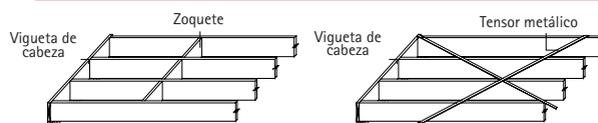


Tabla 0.8. Aproximación de la luz máxima permitida de pares del entramado de forjado para un canto determinado ⁽¹⁾ ⁽²⁾

Espesor de la vigueta (mm)	C18			C24		
	Interejes (m)			Interejes (m)		
	0,42	0,63	0,83	0,42	0,63	0,83
38	Lshx14,2	Lshx12,4	Lshx11,2	Lshx15,2	Lshx13,2	Lshx12,0
45	Lshx15,1	Lshx13,1	Lshx11,9	Lshx16,1	Lshx14,1	Lshx12,7
60	Lshx16,6	Lshx14,5	Lshx13,1	Lshx17,7	Lshx15,5	Lshx14,0

(1) Cantos considerados de 150-350 mm

(2) Cálculos realizados para una viga biapoyada de clase resistente C18 y C24 sometida a una carga permanente de 0,8 kN/m² + peso propio de la viga, un peso del tabiques de 0,8 kN/m² y una sobrecarga de uso de 2 kN/m². Las flechas relativas consideradas son: 1) integridad de los elementos constructivos 1/400. 2) Confort de los usuarios 1/350 y 3) Apariencia en obra 1/300.

2 *Vigueta de cabeza:* Vigueta que remata perpendicularmente las cabezas de las viguetas de forjado en su apoyo sobre muro. Suele tener la misma escuadría que estas.

3 *Zoquete:* Elemento recto de igual o similar sección que las viguetas y que se coloca entre ellas para disminuir deformaciones laterales, vuelco o eventual alabeo. Además contribuye mejor a la repartición de la sobrecarga del forjado.

Figura 0.8. Entramado de cubierta, elementos simples.

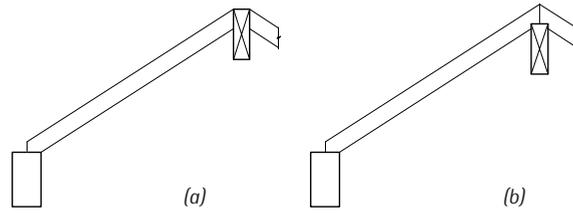


Tabla 0.9. Aproximación de la luz máxima permitida (desarrollo real) de pares de entramado de cubierta para un canto determinado ⁽¹⁾. Pendiente máxima 30° ⁽²⁾

Espesor de la vigueta (mm)	C18			C24		
	Interejes (m)			Interejes (m)		
	0,42	0,63	0,83	0,42	0,63	0,83
38	L≤hx20,3	L≤hx18,0	L≤hx16,3	L≤hx21,7	L≤hx19,2	L≤hx17,6
45	L≤hx21,3	L≤hx18,9	L≤hx17,3	L≤hx22,8	L≤hx20,3	L≤hx18,6
60	L≤hx23,0	L≤hx20,6	L≤hx18,9	L≤hx24,6	L≤hx22,0	L≤hx20,3

(1) Cantos considerados de 150-350 mm.

(2) Cálculos realizados para una viga biapoyada de madera maciza (C18 y C24) sometida a una carga permanente de 1 kN/m² + peso propio de la viga, una carga de nieve de 0,7 kN/m², de viento de 0,4 kN/m² y sobrecarga de mantenimiento de 0,4 kN/m². Las flechas relativas consideradas son: 1) Confort de los usuarios 1/350 y 2) Apariencia en obra 1/300.

En la *Tabla 0.9.* se indica, de forma aproximada, la luz máxima permitida en función del canto de pares rectangulares de cubierta de madera maciza para una luz determinada. Para la obtención de esta tabla se ha considerado el par como una viga biapoyadas. El sistema de entramado de cubierta requiere, además de los pares, viguetas de cabeza y zoquetes o tensores metálicos para evitar el vuelco o deformaciones laterales.

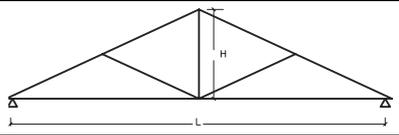
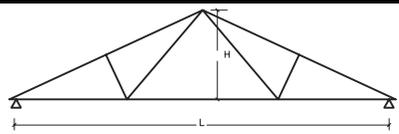
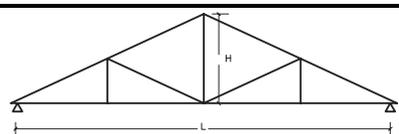
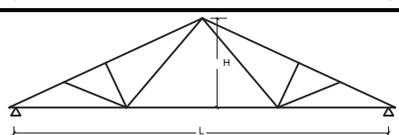
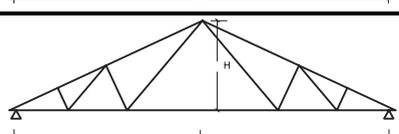
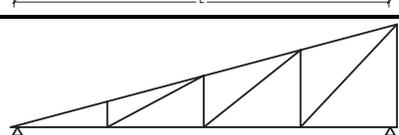
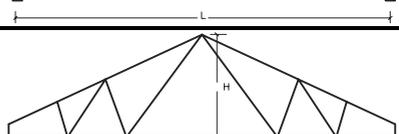
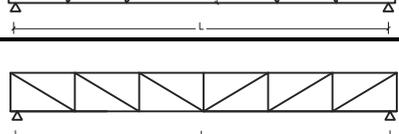
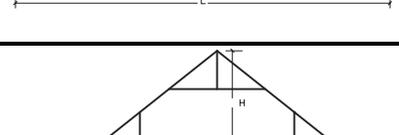
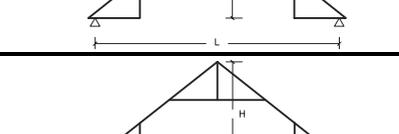
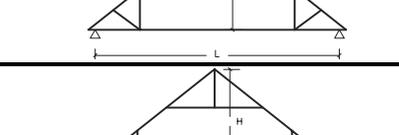
Para la comprobación y dimensionado de las viguetas prefabricadas en doble T se suelen emplear las tablas de cálculo que aporta el fabricante del producto, que normalmente están adaptadas a la normativa europea.

2. *Elementos compuestos.* Está constituida por piezas de pequeña escuadría (36-70mm de espesor y de 70-200 mm de altura) y uniones mediante placas de clavos o dentadas que normalmente se arman en fábrica.

Estas cerchas apoyan sobre muros o vigas y quedan separadas entre sí una distancia de 40 a 120 cm. De esta forma no es preciso un segundo orden de piezas (correas) y pueden salvarse estas luces directamente con el tablero de la cubierta.

En la *Tabla 0.10.* se recogen los tipos más frecuentes de estas celosías ligeras, indicándose las luces y separaciones recomendadas para cada tipo de cercha.

Tabla 0.10. Predimensionado de la luz máxima de elementos estructurales de entramado ligero con madera maciza de pequeñas escuadrías ⁽¹⁾ ⁽²⁾.

Sistema estructural	Pendiente (°)	Separación (m)	Luces máximas (m)		
			Espesor de los elementos estructurales (mm)		
			38	45	60
	10-45	0,4 - 0,6	14	15	19
		0,6 - 0,8	11	12	18
		0,8 - 1,2	9	10	14
	10-45	0,4 - 0,6	14	15	20
		0,6 - 0,8	11	12	18
		0,8 - 1,2	9	10	14
	10-45	0,4 - 0,6	14	15	22
		0,6 - 0,8	11	12	18
		0,8 - 1,2	10	10	14
	10-45	0,4 - 0,6	15	15	26
		0,6 - 0,8	12	14	19
		0,8 - 1,2	10	11	15
	10-45	0,4 - 0,6	14	15	22
		0,6 - 0,8	12	13	19
		0,8 - 1,2	10	11	15
	10-45	0,4 - 0,6	11	12	15
		0,6 - 0,8	10	10	14
		0,8 - 1,2	8	9	11
	10-45	0,4 - 0,6	15	15	28
		0,6 - 0,8	15	15	25
		0,8 - 1,2	12	13	21
	10-45	0,4 - 0,6	15	15	35
		0,6 - 0,8	15	15	34
		0,8 - 1,2	15	15	31
	10-60	0,4 - 0,6	15	15	16
		0,6 - 0,8	12	13	15
		0,8 - 1,2	12	13	14
	10-60	0,4 - 0,6	8	8	8
		0,6 - 0,8	8	8	8
		0,8 - 1,2	7	7	7
	10-60	0,4 - 0,6	5,5	5,5	6
		0,6 - 0,8	5	5	5,5
		0,8 - 1,2	5	5	5

(1) Barras de las cerchas compuestas por elementos de madera simple unidos mediante placas metálicas dentadas.

(2) Cálculos realizados para una cercha compuesta por madera maciza C24 sometida a una carga permanente de 1 kN/m^2 + peso propio de la viga, una carga de nieve de $0,7 \text{ kN/m}^2$, de viento de $0,4 \text{ kN/m}^2$ y sobrecarga de mantenimiento de $0,4 \text{ kN/m}^2$. Las flechas relativas consideradas son:
1) Confort de los usuarios $1/350$ y 2) Apariencia en obra $1/300$.

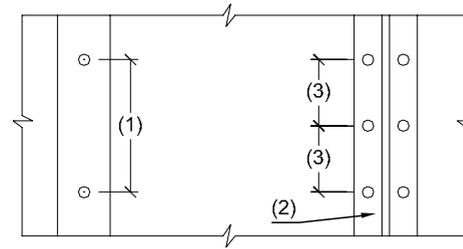
Estructura secundaria: Tableros estructurales.

Los tableros estructurales forman el forro exterior que se clava sobre el entramado del muro, forjado o cubierta. Éste proporciona soporte para el revestimiento, protege al material aislante y contribuye al arriostamiento del entramado.

En la *Tabla 0.11*, se presenta la separación máxima entre viguetas en función del tipo de tablero estructural empleado (ver capítulo de productos), espesor de mismo y número de viguetas de apoyo.

Para que el tablero realice las funciones de arriostamiento es imprescindible que éste se encuentre adecuadamente fijado al entramado. Por ello, el DB SE-M recomienda la utilización de clavos anillados, clavos corrugados o tirafondos con una separación máxima de 150 mm, colocados a lo largo de los bordes del tablero. En las líneas internas de clavazón el espaciamiento máximo no debe superar los 300 mm. (Figura 0.9.)

Figura 0.9. Fijación de tableros en panel de muro-diafragma



- (1) Separación máxima entre clavos, 300 mm, en los montantes centrales.
- (2) Montantes perimetrales.
- (3) Separación máxima entre clavos, 150mm, en los montantes perimetrales.

Tabla 0.11. Separación máxima aproximada entre viguetas (mm)

Tipo de tablero	Espesor (mm)	Forjado ⁽¹⁾		Cubierta ⁽²⁾	
		Nº de viguetas sobre las que apoyan		Nº de viguetas sobre las que apoyan	
		2	3	2	3
OSB ⁽³⁾	12	≤270	≤370	≤400	≤540
	15	≤340	≤460	≤500	≤670
	18	≤420	≤550	≤600	≤800
	22	≤500	≤680	≤720	≤970
Contrachapado ⁽⁴⁾	9	≤310	≤410	≤450	≤600
	12	≤380	≤510	≤550	≤740
	15	≤480	≤640	≤690	≤930
	18	≤550	≤740	≤790	≤1.060
	21	≤640	≤860	≤920	≤1.240
	24	≤720	≤960	≤1.020	≤1.370
	27	≤740	≤990	≤1.050	≤1.410
LVL ⁽⁵⁾	30	≤820	≤1.100	≤1.160	≤1.560
	21	≤740	≤990	≤1.060	≤1.420
	33	≤1.160	≤1.550	≤1.630	≤2.190
	51	≤1.780	≤2.390	≤2.460	≤3.300
	69	≤2.400	≤3.220	≤3.240	≤4.350

(1) Se ha realizado el cálculo del forjado considerando: a) carga permanente de 0,8 kN/m²+ un peso del tabique de 0,8 kN/m² b) sobrecarga de uso de 2 kN/m². Las flechas relativas consideradas son: 1) integridad de los elementos constructivos 1/300. 2) Confort de los usuarios 1/350 y 3) Apariencia en obra 1/300.

(2) Se ha realizado el cálculo de la cubierta considerando una pendiente media de 25° y: a) carga permanente de 1 kN/m², b) carga de nieve de 0,7 kN/m² c) carga de viento de 0,4 kN/m², d) carga de mantenimiento de 0,4 kN/m². Las flechas relativas consideradas son: 1) Confort de los usuarios 1/350 y 2) Apariencia en obra 1/300.

(3) OSB 2 ó 3

(4) Propiedades resistentes obtenidas de la Fuente: Finnish Forest Industries Federation, 2002 (Peraza et al, 2004)

(5) LVL con todas las chapas en el mismo sentido.

3.4. COMPORTAMIENTO AL FUEGO

En el comportamiento de los materiales frente al fuego hay que diferenciar dos conceptos básicos: la reacción y la resistencia. Se entiende por reacción al fuego la respuesta de un material medida en términos de su contribución al desarrollo del mismo con su propia combustión. Resistencia al fuego es la capacidad de un elemento de construcción para mantener durante un período de tiempo determinado la función portante que le sea exigida (R), su integridad (E) y/o su aislamiento térmico (I).

La siniestralidad de incendios en edificios suele estar relacionada con las instalaciones o almacenamiento de materiales de alta inflamabilidad y en una medida muy inferior con el material del que esté construido (por ejemplo madera o fábrica).

La magnitud que puede alcanzar un incendio depende, en gran medida, de una compartimentación eficaz. En la construcción actual con madera, la combinación de productos de diferente naturaleza permite llevar a cabo eficazmente dicha compartimentación de forma que el incendio pueda confinarse en el interior del sector durante el tiempo requerido.

3.4.1. Reacción de la madera sometida a un incendio

Las clases de reacción al fuego para los materiales de construcción, con excepción de los suelos, para los productos lineales para aislamiento térmico de tuberías y para los cables

eléctricos, son: A1, A2, B, C, D, E y F, de mejor a peor comportamiento al fuego. Estas clases representan un índice de la inflamabilidad del material y su contribución al fuego. En algunos casos, van acompañadas de otros dos subparámetros que dan información sobre la producción de humo, de mayor a menor velocidad de propagación y producción total: s1, s2 y s3, y sobre la caída de partículas o gotas inflamadas: d0, d1 y d2.

El DB SI exige que los elementos constructivos deban cumplir, al menos, las condiciones de reacción al fuego establecidas en la *Tabla 0.12*.

Según el RD 110/2008 los tableros de madera o derivados tiene una clasificación de reacción al fuego D-s1 d0 a D-s2 d2, excepto el tablero de partículas aglomerado con cemento. En la *Tabla 0.13* se presentan los casos más habituales para los espesores, las densidades y las condiciones finales de uso indicado el Real Decreto. Para información más detallada ver el capítulo 3 de "Seguridad frente al fuego" y el 1 de "Productos de madera para la construcción" de esta Guía.

El tratamiento de protección de la madera, reduce la combustibilidad de la misma, permitiendo obtener reacciones al fuego de B y C dependiendo del tipo de especie y de la forma de tratamiento (en profundidad o superficial). Si el fabricante define una clase de reacción al fuego diferente a la considerada en el RD 110/2008, tendrá que aportar el correspondiente informe de ensayo y de clasificación.

Tabla 0.12. Clases de reacción al fuego de los elementos constructivos

Situación del elemento	Revestimiento ⁽¹⁾	
	De techo y paredes ^{(2) (3)}	De suelo ⁽²⁾
Zonas ocupables ⁽⁴⁾	C-s2,d0	E _{FL}
Propagación interior	Pasillos y escaleras protegidas	B-s1,d0
	Aparcamientos y recintos de riesgo especial ⁽⁵⁾	B-s1,d0
	Espacios ocultos no estancos: patinillos, falsos techos (excepto los existentes dentro de las viviendas), suelos elevados, etc.	B-s3,d0
Propagación exterior	Revestimientos de fachada ⁽⁷⁾	B-s3,d0
	Superficies interiores de las cámaras ventiladas de fachadas ^{(6) (7)}	B-s3,d0
	Revestimientos o acabados exteriores de cubierta ⁽⁸⁾	B _{ROOF} (t1)

(1) Siempre que superen, en propagación interior el 5% de las superficies totales del conjunto de las paredes, de los techos o de los suelos del recinto considerado.

(2) Incluye las tuberías y conductos que transcurren por las zonas que se indican sin recubrimientos resistentes 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 a aquellos materiales que constituyan una capa contenida en el interior del techo o paredes y que no esté protegida por una capa que sea El 30 como mínimo.

(4) Incluyen, tanto las de permanencia de personas, como las de circulación que no sean protegidas. Excluyen el interior de viviendas. En el uso hospitalario se aplicarán las mismas condiciones que en pasillos y escaleras protegidas.

(5) Ver clasificación de locales de riesgo especial según indica el DB SI-1 en su apartado 2.

(6) Se refiere a la parte inferior de la cavidad. Por ejemplo, en las cámaras de falso techo 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.

(7) Aplicable a materiales de acabado exterior de fachada o de interiores de cámaras ventiladas cuando ocupe más del 10% de la superficie de la fachada. La clase de reacción requerida debe colocarse hasta una altura de 3,5 m como mínimo, en aquellas fachadas cuyo arranque inferior sea accesible al público desde la rasante exterior o desde una cubierta, y en toda la altura de la fachada cuando esta exceda de 18 m, con independencia de donde se encuentre su arranque.

(8) Aplicable a materiales que ocupen más del 10% del revestimiento o acabado exterior de las cubiertas, incluida la cara superior de los voladizos cuyo saliente exceda de 1 m, así como los lucernarios, claraboyas o cualquier otro elemento de iluminación, ventilación o extracción de humos.

Tabla 0.13. Reacción al fuego de los distintos productos

Elementos	Reacción fuego (excluido suelo) ⁽¹⁾	Reacción fuego de suelo ⁽¹⁾
Tablero de madera maciza (SWP)	D-s2,d0, D-s2,d2	D _{FL} -s1
Contrachapado	D-s2,d0- D-s2,d2	D _{FL} -s1
Tableros microlaminados (LVL)	D-s1,d0	D _{FL} -s1
Tableros contralaminados	D-s2,d0	D _{FL} -s1
OSB	D-s2,d0, D-s2,d2	D _{FL} -s1
Tablero de fibras	D-s2,d0, D-s2,d2,E, pasa	D _{FL} -s1
Tablero de partículas	D-s2,d0, S-s2, d2	D _{FL} -s1
Tablero de partículas aglomerado con cemento ⁽²⁾	B-s1, d0	B _{FL} -s1 ³

(1) Según condiciones finales de uso, espesor y densidad de los tableros.

(2) Instalado sin espacio 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

3.4.2. Resistencia de la madera sometida a un incendio

Los parámetros de clasificación de resistencia al fuego están relacionados con la función de los elementos constructivos en el conjunto de la edificación. Los tres parámetros principales son: R que representa la capacidad portante de un elemento estructural, E la integridad e I el aislamiento, de un elemento constructivo con función separadora.

La resistencia de los elementos constructivos que delimitan un sector de incendios ⁴ se establece considerando la acción de incendio en el interior de un sector, excepto en el caso de un sector

de riesgo mínimo ⁵, en el que únicamente es necesaria considerarla desde el exterior del mismo. Un elemento vertical delimitador de un sector de incendios puede precisar una resistencia al fuego diferente, según se considere la acción del fuego por una cara o la opuesta (compartimentar una zona de riesgo especial, una escalera protegida, etc.). En el caso de forjados y cubiertas, se considera la acción de incendio situada en su cara inferior.

3.4.2.1. Capacidad portante

En la Tabla 0.14. se presenta la exigencia, en minutos de curva normalizada tiempo-temperatura ⁶, de capacidad portante a los elementos estructurales de un edificio.

Tabla 0.14. Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales

Elementos principales	Planta de sótano	Planta sobre rasante Altura de evacuación <15m	
Uso del sector de incendio considerado ⁽¹⁾	Vivienda unifamiliares ⁽²⁾	R30	
	Residencial vivienda, residencial público, docente, administrativo	R120	R60
	Comercial, pública concurrencia, hospitalario	R120	R90
Zonas de riesgo especial integradas en los edificios ⁽³⁾	bajo	R90	
	medio	R120	
	alto	R180	
Cubiertas ligeras no previstas para evacuación y altura respecto a la rasante ≤ 28m ⁽⁴⁾	-	R30 ⁽⁵⁾	
Elementos estructurales de una escalera protegido o de pasillos protegido que estén contenidos en el recinto de estos ⁽⁶⁾ .		R30	
Elementos secundarios			
Cualquier elemento estructural cuyo colapso pueda ocasionar daños personales o comprometer la estabilidad global, la evacuación o compartimentación en sectores de incendio del edificio	Mismas exigencias que en elementos principales		
Cualquier elemento que se encuentre en otro caso diferente al anterior	Ninguna exigencia		

(1) La resistencia al fuego suficiente de un suelo es la que resulte al considerarlo como techo del espacio inferior situado bajo dicho suelo

(2) 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 de viviendas

(3) 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 R30.

(4) A estos efectos puede entenderse por cubiertas ligeras aquellas cuyas cargas permanentes no excedan de 1kN/m².

(5) Cuando el fallo no pueda ocasionar daños graves de los edificios o establecimientos próximos, ni comprometer la estabilidad de otras plantas inferiores o la compartimentación de los sectores de incendio.

(6) Cuando se trate de una escalera especialmente protegida no se exige resistencia al fuego del elemento estructural.

4 Sectores de incendio: Espacio del edificio separado de otras zonas del mismo por elementos constructivos delimitadores resistentes al fuego durante un periodo de tiempo determinado, en el interior del cual se puede confinar (o excluir) el incendio para que no se pueda propagar a (o desde) otra parte del edificio.

5 Sector de riesgo mínimo: Sector de incendio que cumple las siguientes condiciones:

a) Está destinado exclusivamente a circulación y no constituye un sector bajo rasante.

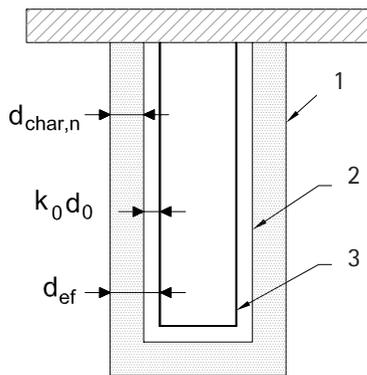
b) La densidad de carga del fuego no excede de 40MJ/m² en el conjunto del sector, ni de 50MJ/m² en cualquiera de los recintos contenidos en el sector, considerando la carga de fuego aportada, tanto del los elementos constructivos, como por el contenidos propio de la actividad.

c) Está separado de cualquier otra zona del edificio que no tenga la consideración de sector de riesgo mínimo mediante elementos cuya resistencia al fuego sea El 120 y la comunicación con dicha zona se realiza a través de vestíbulos de independencia.

d) Tiene resuelta la evacuación, desde todos sus puntos, mediante salidas de edificio directas a espacio exterior seguro.

6 Curva normalizada tiempo-temperatura: Curva nominal que representa un modelo de fuego totalmente desarrollado en un sector de incendio (UNE-EN 1991-1-2: 2004)

Figura 0.10. Definición de la sección reducida y eficaz



- 1- Superficie inicial del elemento
- 2- Límite de la sección residual
- 3- Límite de la sección eficaz

El cálculo de la capacidad portante de un elemento estructural se puede realizar mediante las cuatro formas siguientes, si bien serán las dos últimas las que se empleen en el presente documento.

- a) Ensayos según las normas que se indican en el RD 312/2005. Modificado en RD 110/2008.
- b) Método general. Consistente en determinar de manera fiable tanto la zona carbonizada de madera, como la distribución de temperaturas en la sección sin carbonizar. Para la obtención de estas temperaturas se deben tener en cuenta las propiedades físicas (térmicas y mecánicas) del material y su cambio con la temperatura. En la aplicación de este método se utilizan modelos de incendio simplificados, como curvas paramétricas, o avanzados como modelos de zona o modelos de campo.
- c) Método simplificado de la sección reducida. En este método la capacidad de carga de la pieza se calcula para la sección eficaz (Figura 0.10.) suponiendo que las propiedades resistentes y rigidez, en esta sección, no quedan afectadas por la temperatura.
- d) Método simplificado de la resistencia y rigidez reducida. En este método la capacidad de carga de la pieza se calcula para la sección residual (Figura 0.10.) considerando que en esta sección la madera presenta una disminución, con respecto a las condiciones normales, de resistencia y rigidez.

Como paso previo a la determinación de la capacidad portante hay que establecer si el elemento estructural de madera está protegido o no.

1) Elemento estructural no protegido

Para establecer la capacidad portante frente a la acción del fuego de un elemento estructural de madera hay que deter-

minar qué número de caras están expuestas a la acción del incendio y la profundidad efectiva de madera que se ha visto afectada por el incendio. En el método simplificado de la sección reducida se calcula esta profundidad como la suma de la zona carbonizada (d_{char}) más el valor que resulte de $k_0 d_0$ (normalmente 7 mm) (Figura 0.10.).

La Tabla 0.2. presenta un predimensionado de elementos lineales considerando la situación de incendio y los espesores mínimos requeridos para capacidades portantes determinadas. El Anejo A presenta tablas de diseño para vigas biapoyadas para diferentes condiciones de carga.

2) Elemento estructural protegido

Para establecer el comportamiento portante de una estructura protegida sometida a la acción de incendio se utilizan los siguientes términos:

- Tiempo de carbonización (t_{char}). Instante de tiempo en el que en el elemento protegido comienza la carbonización. Hasta ese instante solo el elemento protector se estaba carbonizando.
- Tiempo de fallo (t_f). Instante de tiempo en el que desaparece el elemento protector y el elemento protegido queda expuesto al fuego.

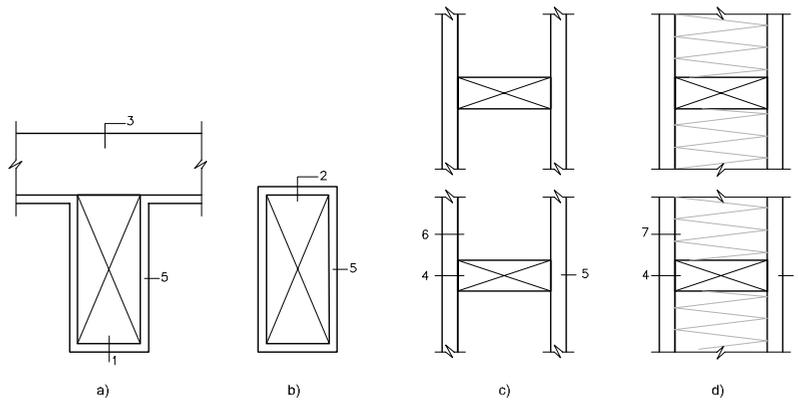
Debido a que la madera es un buen aislante térmico, cuando se emplean como elementos de protección tableros derivados de este material se considera que el tiempo de carbonización y tiempo de fallo coinciden, es decir, que el elemento estructural no comienza a carbonizarse hasta que no ha desaparecido completamente la protección. Cuando los elementos protectores son las placas de yeso laminado tipo A (normal) o H (higroscópica) su comportamiento se puede simplificar considerando que el tiempo de fallo y el de carbonización es el mismo, no así en el caso de yeso laminado tipo F (fuego).

El Eurocódigo 5 en su parte 1-2 (EN1995-1-2) considera tres tipos de situaciones en donde intervienen tableros protectores:

- 1) Tableros de protección en contacto con la superficie de la pieza a proteger (Figura 0.11.(a y b)),
- 2) Tableros de protección en contacto con entramados de madera de muros o forjados con cavidades huecas (Figura 0.11.(c)),
- 3) Tableros de protección en contacto con entramados de madera de muros o forjados completamente rellenos de material aislante (Figura 0.11.(d)).

En la Tabla 0.15. se presenta una aproximación de los tiempos de carbonización de los elementos de protección para las situaciones contempladas en la Figura 0.11.

Figura 0.11. Situaciones en donde el tablero o placa es utilizado como revestimiento de protección contra el fuego



1 viga, 2 pilar, 3 forjado, 4 montante o vigueta, 5 revestimiento o cerramiento, 6 cavidad hueca, 7 cavidad llena de aislante térmico.

Tabla 0.15. Aproximación a los tiempos de carbonización (min.) de los elementos de protección según espesores

	Espesor (mm) ⁽¹⁾⁽²⁾												
	8,0	9,5	12,0	12,5	15,0	18,0	20,0	25,0	60,0	80,0	100,0	120,0	140,0
Placas de yeso laminado Tipo A, H y F ⁽³⁾	8,4	12,6	19,6	21,0	28	36,4	42,0	56,0					
Tableros Contrachapados ⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾	1,1	2,5	5,3	5,9	9,0	13,1	16,0	21,0					
Otro tablero en base madera ⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾	1,6	3,3	6,3	7,0	10,4	15,0	18,2	23,8					
Lana de roca ⁽⁷⁾									15,3	23,0	30,7	38,3	46,0

(1) Para espesores diferentes, los tiempos de carbonización pueden ser interpolados.

(2) Sólo aplica a resistencias al fuego menor o igual a 60 min.

(3) En elementos de protección de vigas y columnas compuestos por una doble placa, se considera el tiempo de carbonización de la placa exterior igual al de la tabla y la placa interior igual a un 50% y un 80% del obtenido en la tabla, para yeso laminado tipo A y H o tipo F respectivamente. Se considera siempre que las juntas están rellenas o con una dimensión menor a 2 mm. En el caso de entramado, se puede realizar una simplificación considerando que el tiempo de carbonización de la placa interior es igual al 50% del obtenido en la tabla para las placas de tipo AyH.

(4) Se considera la densidad característica de 450 kg/m³.

(5) Si el elemento de protección protege vigas o columnas (Figura 11(a y b)) a los tiempos de carbonización obtenidos para tableros en base madera de la tabla se les puede sumar 4 min.

(6) En elementos de protección compuestos por un doble tablero, el tiempo de carbonización total se obtiene como la suma de los tiempos de carbonización de cada tablero.

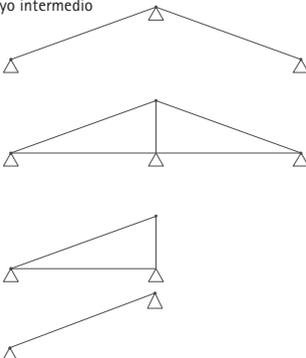
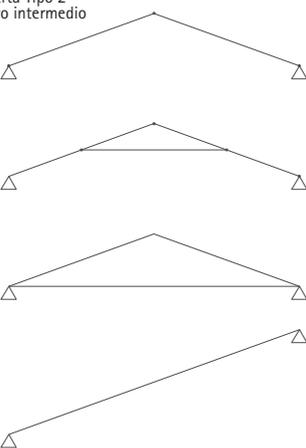
(7) Se considera la densidad de 30 kg/m³.

A continuación se presenta un método para determinar el tiempo aproximado durante el cual se mantiene la capacidad portante de entramados de madera protegidos con tableros (Figura 0.11. (c y d)). En este método simplificado, se considera que la capacidad portante del sistema (entramado-tablero) se puede determinar sumando el tiempo de carbonización del elemento de protección (t_{char}) (Tabla 0.15.) más el tiempo que resiste el entramado de madera una vez que se ha perdido la protección (Tablas 0.16. o 0.17.), obtenido con la velocidad de carbonización requerida para estos casos. Se considera que el sistema estructural mantiene su capacidad portante al fuego si la suma del tiempo de carbonización más el tiempo de resistencia estructural del entramado es superior a la capacidad portante requerida (Tabla

0.14.). Este método sólo es aplicable para requerimientos de capacidad portante menor o igual a 60 minutos.

La Tabla 0.16. y 0.17., presentan los tiempos (min.) aproximados que resisten los entramados de madera de muro o forjado y cubierta respectivamente una vez se haya iniciado la carbonización del mismo, es decir, que el elemento de protección haya fallado. En el caso de muros se desprecia el tiempo que es capaz de resistir el entramado si las cavidades están vacías de aislante térmico.

Tabla 0.16. Tiempo (min.) aproximado que es capaz de resistir el entramado de madera de un sistema de muro exterior ^{(1) (3)} e interior ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ de entramado ligero protegido por placa de yeso laminado y con las cavidades entre montantes completamente llenas de lana de roca o fibra de vidrio ⁽⁵⁾.

Tipología de cubierta.	Dimensión (mm)	altura libre	cubierta		cubierta+1 planta		cubierta+ 2 plantas		cubierta+ 3 plantas		cubierta+ 4 plantas													
			C18	C24	C18	C24	C18	C24	C18	C24	C18	C24												
			42	63	42	63	42	63	42	63	42	63	42	63										
Cubierta Tipo 1 Con apoyo intermedio 	38x89	2,5 m	4	2	5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		3,0 m	2	-	3	(1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	38x140	2,5 m	18	16	19	17	12	10	14	11	9	6	10	7	6	1	8	4	3	-	6	-	-	-
		3,0 m	16	14	17	15	10	7	11	8	6	(2)	8	4	3	-	5	(1)	(1)	-	3	-	-	-
	45x98	2,5 m	7	5	8	6	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3,0 m	5	(3)	6	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45x123	2,5 m	16	14	17	15	10	7	12	9	7	5	8	5	4	-	6	2	2	-	4	-	-	-
		3,0 m	14	12	15	13	8	5	9	6	3	-	6	2	(1)	-	3	-	-	-	1	-	-	-
	60x98	2,5 m	10	8	11	9	3	-	5	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3,0 m	8	5	9	7	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60x123	2,5 m	20	18	21	20	14	11	16	13	11	7	12	9	8	4	9	6	5	1	7	3	-	-
		3,0 m	19	16	20	18	12	8	13	10	7	3	9	6	4	-	6	2	2	-	4	-	-	-
Cubierta Tipo 2 Sin apoyo intermedio 	38x89	2,5 m	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		3,0 m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	38x140	2,5 m	15	12	16	13	10	7	10	9	7	3	9	6	5	-	7	2	2	-	5	-	-	-
		3,0 m	12	10	14	11	8	4	9	6	4	-	6	2	2	-	4	-	-	-	2	-	-	-
	45x98	2,5 m	3	-	4	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3,0 m	1	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	45x123	2,5 m	13	10	14	11	8	5	10	7	5	2	7	4	3	-	5	1	1	-	3	-	-	-
		3,0 m	10	6	12	9	6	2	7	4	2	-	4	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
	60x98	2,5 m	6	3	7	4	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3,0 m	3	-	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	60x123	2,5 m	17	14	18	16	12	9	14	11	9	5	11	7	6	2	8	4	4	-	6	2	-	-
		3,0 m	14	11	16	13	9	6	11	8	6	(1)	8	4	3	-	5	(1)	-	-	2	-	-	-

(1) Se ha realizado el cálculo de los muros exteriores empleando el método simplificado de la resistencia y rigidez reducido. Las acciones consideradas son: 1) una presión de viento de 0,7kN/m². 2) El peso de la cubierta es considerando una carga permanente de 1 kN/m² + peso propio de la viga, un carga de nieve de 0,7 kN/m² y de viento de 0,4 kN/m². 3) El peso del forjado es considerando una carga permanente de 0,8 kN/m² + peso propio de la viga, un peso del tabiques de 0,8 kN/m² y sobrecarga de uso de 2 kN/m². La cruja tipo considerada es de 4,5 m, la luz de la cubierta de 9 m.

(2) El cálculo de los muros interiores se ha realizado considerando las mismas cargas que para muros exteriores, excepto la presión del viento sobre el elemento estructural. La cruja tipo considerada es de 4,5m.

(3) Los datos entre paréntesis solo afectan a los entramados de muro interior.

(4) Para determinar el comportamiento al fuego de los entramados de muro interior empleese los datos del apartado "Tipología de cubierta tipo 1".

(5) El tiempo de resistencia de la estructura de la presente tabla está sujeto a que no haya fallos de sujeción del aislamiento térmico en este periodo de tiempo.

Los elementos de unión requieren especial atención en situaciones de incendio. Un elemento de unión tipo clavija debe tener una longitud de penetración de al menos el espesor del tablero más la profundidad de carbonización del elemento estructural más 10 mm.

En el caso de que la unión sea encolada, se debe garantizar mediante certificado de ensayo la resistencia de la unión durante el tiempo requerido para que el elemento estructural

mantenga su capacidad portante.

3.4.2.2. Integridad y aislamiento

En la *Tabla 0.18*. se presenta la exigencia de resistencia al fuego que deben cumplir los elementos constructivos con función compartimentadora según la reglamentación vigente (DB SI). Se han incluido sólo aquellas que afectan a los sistemas constructivos con madera.

Tabla 0.17. Tiempo (min.) aproximado que es capaz de resistir las viguetas estructurales de un sistema de forjado y cubierta de entramado ligero ⁽¹⁾ ⁽²⁾ protegido por tableros o placa de yeso laminado y con las cavidades entre viguetas vacías o completamente llenas de fibra de vidrio o lana de roca ⁽³⁾.

	Espesor de las viguetas o pares (mm)	cantos (h) (mm)	C18			C24		
			Interjes (cm)			Interjes (cm)		
			42	63	83	42	63	83
Cavidad entre viguetas vacía	38	145-195	5	5	4	5	2	2
		195-220	5	5	5	5	3	2
		>220	5	5	5	6	3	3
	45	145-195	6	6	6	7	6	6
		195-220	7	6	6	7	7	7
		>220	7	6	6	7	7	7
	60	145-195	10	10	9	11	10	10
		195-220	11	10	10	11	11	11
		>220	11	11	10	12	11	11
Cavidad entre viguetas completamente llenas de aislante	38	145-195	24	22	21	26	24	23
		195-220	33	31	30	36	45	32
		>220	39	36	35	42	40	38
	45	145-195	26	24	22	28	27	26
		195-220	37	35	33	40	37	36
		>220	43	40	38	46	43	42
	60	145-195	32	30	29	35	33	33
		195-220	45	43	41	49	46	45
		>220	52	50	48	56	54	52

(1) Se considera una viga biapoyada de clase resistente C18 y C24 sometidos a las siguientes acciones: 1) peso del forjado de 0,8 kN/m²+ el peso propio de la viga. 2) Peso del tabique: 0,8 kN/m² 3) sobrecarga de uso de 2 kN/m².

(2) Cantos considerados de 150-350 mm.

(3) El tiempo de resistencia de la estructura de la presente tabla está sujeto a que no haya fallos de sujeción del aislamiento térmico en este período de tiempo.

Tabla 0.18. Resistencia al fuego de las paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendio ⁽¹⁾

Elemento	Resistencia al fuego Sector sobre rasante en edificios con altura de evacuación
	h ≤ 15 m
Paredes y techos ⁽²⁾ que separan al sector considerado del resto del edificio, siendo su uso previsto ⁽³⁾ :	
- Sector de riesgo mínimo en edificios de cualquier uso	EI 120
- Residencial vivienda, elementos que formen estructura común en viviendas adosadas, residencial público, docente, administrativo	EI 60
- Comercia, Pública concurrencia, hospitalario	EI 90
Medianerías o muros colindantes	EI 120

(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 cual 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 las características REI en lugar de EI, al tratarse de elemento portante y compartimentador de incendio. 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.

(3) La resistencia al fuego del suelo es función del uso al que esté destinada la zona existente en la planta inferior (ver Tabla 0.14).

a) Elemento estructural de entramado pesado

En este caso, se debe comprobar la integridad y aislamiento del cerramiento.

b) Elemento estructural de entramado ligero

En el caso de que separe sectores de incendio es necesario asegurar la Integridad (E) y el aislamiento (I) del sistema.

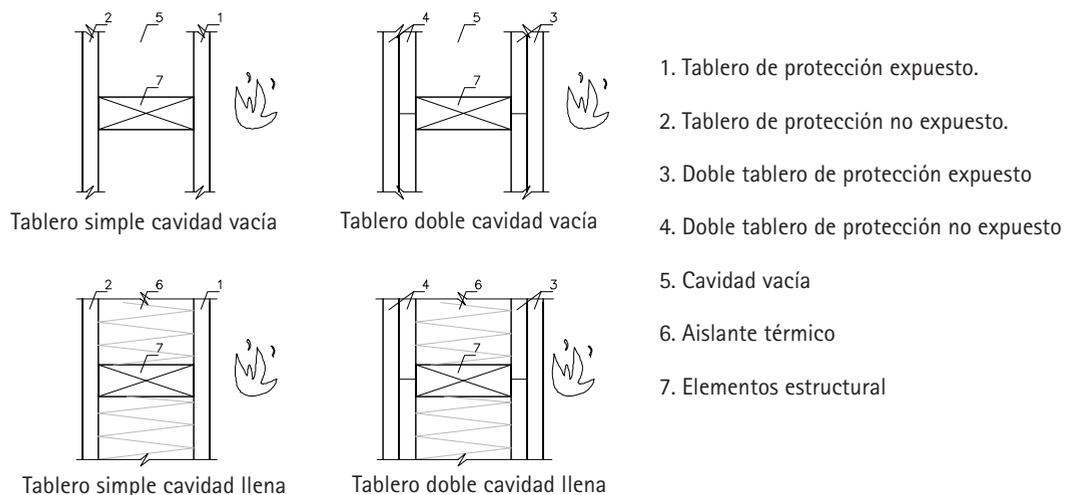
La Tabla 0.19. presenta, de forma aproximada, los tiempos de resistencia frente a la acción de incendio contemplados en la Norma EN 1995 -1-2. Esta Tabla considera solamente las situaciones en las que se exijan resistencia a la integridad y aislamiento inferiores a 60 minutos. Para resistencias mayores, se hace necesaria la realización de ensayos.

Tabla 0.19. Espesores aproximados mínimos (mm) que debe tener el aislante térmico o los tableros (sólo en el caso de no existir aislante) en muros ⁽¹⁾ y forjados con madera para garantizar la integridad y aislamiento del conjunto durante el tiempo requerido (Figura 0.12.)

Cara expuesta		TIPO DE AISLAMIENTO EMPLEADO															Sin aislante					
		Fibra de vidrio ⁽²⁾									Lana de roca ⁽³⁾											
		Cara no expuesta																				
Espesor (mm)	Tablero Contrachapado	Tablero derivado			Yeso laminado		Tablero Contrachapado			Tablero derivado			Yeso laminado		Tablero Contrachapado	Tablero derivado de madera	Yeso laminado					
		12	15	18	12	15	18	13	15	12	15	18	12,5	15								
Tablero contrachapado $\rho \geq 450 \text{ kg/m}^3$ (9-25mm)	9	EI30	170	120	60	160	100	30	130	70	40	20	10	30	10	10	10	10				
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	190	170	150	180	150	130	150	120			
	12	EI30	140	100	40	140	80	10	110	40	30	10	10	20	10	10	10	10	(EI 30)	(EI 30)	(EI 30)	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	180	160	140	170	140	120	140	110	(EI 30)	Tablero expuesto ≥ 20	Tablero expuesto ≥ 20	
	15	EI30	120	80	10	110	60	10	90	20	20	10	10	10	10	10	10	10	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto ≥ 20	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	170	150	130	160	130	110	130	100	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 18	Tablero no expuesto ≥ 15	
	18	EI30	100	50	10	80	30	10	60	10	10	10	10	10	10	10	10	10	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto ≥ 15	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	150	140	110	140	120	90	110	80	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto ≥ 15	
	Tablero de derivado de la madera $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$ (9-25mm)	9	EI30	160	110	50	150	90	20	120	60	40	20	10	30	10	10	10	10	(EI 30)	(EI 30)	(EI 30)
			EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	190	170	150	180	150	130	140	110	(EI 30)	Tablero expuesto ≥ 18	Tablero expuesto ≥ 18
		12	EI30	130	90	20	120	70	10	100	30	30	10	10	20	10	10	10	10	(EI 30)	Tablero expuesto ≥ 18	Tablero expuesto ≥ 18
			EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	180	160	140	160	140	120	130	100	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto $\geq 12,5$
15		EI30	110	60	10	100	40	10	70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto $\geq 12,5$	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	160	140	120	150	120	100	120	90	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto $\geq 12,5$	
18		EI30	80	30	10	60	10	10	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto $\geq 12,5$	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	150	130	110	130	110	90	100	70	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto $\geq 12,5$	
Placa de yeso laminado tipo A, H y F (9-15mm) ⁽⁴⁾		9	EI30	150	100	30	140	80	10	100	40	30	10	10	20	10	10	10	10	(EI 30)	(EI 30)	(EI 30)
			EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	180	160	140	170	140	120	140	110	(EI 30)	Tablero expuesto ≥ 15	Tablero expuesto ≥ 15
		12,5	EI30	110	60	10	100	40	10	60	10	20	10	10	10	10	9	10	10	(EI 30)	Tablero expuesto ≥ 15	Tablero expuesto ≥ 15
			EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	170	150	120	150	130	100	120	90	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto ≥ 18
	15	EI30	80	30	10	70	10	10	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto ≥ 18	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	150	130	110	140	110	90	100	80	(EI 30)	Tablero no expuesto ≥ 20	Tablero no expuesto ≥ 18	

- (1) En el caso de entramado de muros sin aislante, se puede disminuir 10 mm el espesor de la lana de roca y 1 mm el espesor del tablero
 (2) Densidad considerada de la fibra de vidrio 20-26 kg/m³.
 (3) Densidad considerada de la lana de roca 30 kg/m³ - 40 kg/m³.
 (4) Se garantiza una resistencia EI 60 para placas dobles $\geq 9+9$ mm en ambas caras con aislamiento de lana de roca ≥ 40 .

Figura 0.12. Vista en planta de un detalle de muro con tablero interior simple y doble y cavidades vacías o completamente llenas de aislante térmico



3.5 COMPORTAMIENTO ACÚSTICO

3.5.1. Exigencias del DB HR Protección frente al ruido

El DB-HR de protección frente al ruido determina que los edificios se proyectarán, construirán y mantendrán de tal forma que los elementos constructivos que conformen el recinto tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión al ruido aéreo, al ruido de impacto y del ruido de vibraciones de las instalaciones propias del edificio, así como para limitar el ruido reverberante de los recintos.

Los datos de partida para determinar la protección frente al ruido de un edificio son:

1) En relación con la localización del edificio:

- El valor del índice de ruido día, L_d , de la zona donde vaya a ubicarse el edificio, obtenido a partir de datos oficiales. Cuando no se dispongan de datos oficiales se aplicará en su defecto el valor de 60 dBA para el tipo de área acústica relativo a sectores de territorio con predominio de suelo de uso residencial. Para el resto de los casos se aplicará lo dispuesto en las normas reglamentarias de desarrollo de la ley 37/2003 del 17 de noviembre en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Cuando se prevea que alguna fachada, tal como la de patios interiores, no vaya a estar expuesta directamente al ruido de automóviles, aeronaves o actividades industriales, comerciales o deportivas se considera un índice de ruido día 10 dBA menor que el de la zona.

- El tipo de ruido predominante: aeronaves o automóviles.

2) En relación con el edificio:

- Uso del edificio
- Tipo del recinto protegido receptor
- Si existen recintos protegidos colindantes horizontales a otras unidades de uso, a recintos de instalaciones, etc.

La cuantificación del aislamiento acústico a ruido aéreo, $D_{2m,nT,Atr}$, entre recintos protegidos y el exterior se obtiene en función del índice de ruido día, L_d (véase *Tabla 0.20*.)

Para la definición del comportamiento acústico de los elementos de separación verticales, deben conocerse sus valores de masa por unidad de superficie, m , y el índice global de reducción acústica, ponderada A , $R_{A,tr}$ (en general $R_A = R_W + C$ y $R_{A,tr} = R_W + C_{tr}$). En el caso de elementos horizontales, es necesario además conocer el nivel global de presión de ruido de impacto normalizado, $L_{n,w}$. Estos valores pueden ser obtenidos a partir de ensayos o del Catálogo de Elementos Constructivos.

En la *Tabla 0.21* se presenta la exigencia de aislamiento acústico a ruido aéreo que deben cumplir los elementos constructivos interiores de separación, así como las fachadas, las cubiertas, las medianerías y los suelos en contacto con el aire exterior que conforman el recinto de un edificio.

Los elementos constructivos de separación horizontales deben tener, en conjunción con los elementos constructivos adyacentes, unas características tales que se cumpla, además de las exigencias anteriores (*Tabla 0.20*.) para los recintos protegidos, las exigencias que se presentan en la *Tabla 0.22*.

Los elementos constructivos, acabados superficiales y revestimientos que delimitan un aula o una sala de conferencias, un comedor y un restaurante, tendrán la absorción acústica suficiente para que cumplan los valores límites expuestos en la *Tabla 0.23*.

Tabla 0.20. Valor de aislamiento acústico a ruido aéreo ($D_{2m,nT,Atr}$)⁽¹⁾ en dBA, entre un recinto protegido y el exterior, en función del índice de ruido día, L_d

L_d dBA	Uso del edificio			
	Residencial sanitario		Cultural, docente, administrativo y religioso.	
	Dormitorio	Estancia	Estancia	Aulas
$L_d \leq 60$	30	30	30	30
$60 < L_d \leq 65$	32	30	32	30
$65 < L_d \leq 70$	37	32	37	32
$70 < L_d \leq 75$	42	37	42	37
$L_d < 75$	47	42	47	42

(1) Cuando en la zona donde se ubique el edificio el ruido exterior dominante sea el de aeronaves, según establezcan los mapas de ruido correspondientes, el valor de aislamiento acústico a ruido aéreo ($D_{2m,nT,Atr}$) se incrementará 4dBA

(2) En edificios de uso no hospitalario, es decir, edificios de asistencia sanitaria de carácter ambulatorio, como despachos médicos, consultas, áreas destinadas a diagnóstico y tratamiento, etc.

Tabla 0.21. Exigencias mínimas de aislamiento acústico al ruido aéreo ($D_{nT,A}$) e índice global de reducción acústica (R_A) en distintos tipos de recintos.

PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO GENERADO O PROCEDENTE DE: ⁽¹⁾			R_A (dBA)	$D_{nT,A} / D_{2m,nT,A} / D_{2m,nT,A,tr}$ (dBA)
Exigencias de recinto protegido ⁽²⁾	Misma unidad de uso, caso de tabiques		≥ 33	
	Distinta unidad de uso ⁽³⁾	No comparten puertas ni ventanas		≥ 50
		Comparten puertas y ventanas	Puertas y ventanas Muro	≥ 30 ≥ 50
	Recinto de instalaciones o recintos de actividades			≥ 55
	Ruido procedente del exterior			≥ 30 ⁽⁴⁾
Exigencias de recinto habitable ⁽²⁾	Misma unidad de uso, caso de tabiques		≥ 33	
	Distinta unidad de uso ⁽³⁾	No comparten puertas ni ventanas		≥ 45
		Comparten puertas y ventanas	Puertas y ventanas Muro	≥ 20 ≥ 50
	Recinto de instalaciones recintos de actividades	No comparten puertas ni ventanas		≥ 45
		Comparten puertas y ventanas	Puertas y ventanas Muro	≥ 30 ≥ 50
Exigencias de recintos habitables y protegidos con otros edificios	Cada uno de los cerramientos de una medianería entre dos edificios		≥ 45 ⁽⁵⁾	≥ 40
	Conjunto de los dos cerramientos de una medianería entre dos edificios			≥ 50

(1) Válido para elementos colindantes horizontal y verticalmente salvo que se indique lo contrario.

(2) Ver definición de estos recintos en este documento.

(3) El recinto protegido o habitable no perteneciente a la misma unidad de uso siempre que no sea recinto de instalaciones o de actividad.

(4) Este valor está en función del índice de ruido día, del uso del edificio y del uso del recinto.

(5) Como opción simplificada.

Tabla 0.22. Exigencias mínimas de aislamiento acústico al ruido de impacto ($L'_{nT,w}$) en distintos tipos de recintos

Protección frente al ruido generado o procedente de:		$L'_{nT,w}$ (dBA)
Exigencias de recinto protegido ⁽²⁾	Misma unidad de uso. Caso de viviendas unifamiliares aislada o unifamiliar adosadas que no compartan estructura horizontal con otras viviendas.	---
	Otra unidad de uso (recinto protegido y cualquier otro recinto del edificio). Caso de viviendas unifamiliares adosadas que compartan estructura horizontal con otras viviendas colindantes.	≤ 65
	Caso de edificios en altura: recinto colindante vertical, horizontalmente o con arista horizontal común ⁽³⁾ con cualquier otro recinto del edificio habitable o protegido	≤ 65
	Recinto de instalaciones o recintos de actividades. Caso de edificios en altura: recinto colindante vertical, horizontalmente o con arista horizontal común con otro recinto del edificio de actividades o de instalaciones	≤ 60
Exigencias de recinto habitable ⁽¹⁾	Recinto de instalaciones o recintos de actividades. Caso de edificios en altura: recinto colindante vertical, horizontalmente o con arista horizontal común con otro recinto del edificio de actividades o de instalaciones	≤ 60

(1) Se entiende por recinto habitable al recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:

- habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) en edificios residenciales;
- aulas, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente;
- quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario;
- oficinas, despachos, salas de reunión, en edificios de uso administrativo;
- cocinas, baños, aseos, pasillos y distribuidores, en edificios de cualquier uso;
- cualquier otro de uso similar al anterior.

En el caso en el que en un recinto se combinen varios usos de los anteriores siempre que uno de ellos sea protegido, a los efectos se considerará recinto protegido.

Se considera recintos no habitables aquellos no destinados al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, solo exige unas condiciones de salubridad adecuadas. En esta categoría se incluyen explícitamente como habitables los garajes, trasteros, las cámaras técnicas y desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes.

(2) Se entiende por recinto protegido al recinto habitable con mejores características acústicas. Se considera recintos protegidos los recintos habitables en los casos a), b), c) y d).

(3) Esta exigencia no es de aplicación en el caso de recintos protegidos colindantes horizontalmente con una escalera.

Tabla 0.23. Valores límites del tiempo de reverberación

Uso del edificio	Volumen recinto	Tiempo de reverberación (s)
Aulas y salas de conferencias vacías (sin ocupación ni mobiliario)	≤350	≤ 0,7
Aulas y salas de conferencias vacía pero con el total de las butacas	≤350	≤ 0,5
Restaurantes y comedores vacíos	---	≤ 0,9

3.5.2. Consideraciones generales del comportamiento acústico de elementos estructurales de madera

La madera es un material que presenta un bajo aislamiento al ruido aéreo pero que, en cambio, su porosidad asegura una buena absorción de las ondas acústicas, disminuyendo el tiempo de reverberación. Normalmente, debido a la densidad, materiales que presentan unas características de buenos absorbentes tienen un mal aislamiento al ruido aéreo. Por este motivo, se desaconseja para la construcción con madera la utilización de elementos constructivos homogéneos (de una sola capa) salvo en los sistemas de entramado pesado en donde materiales de gran densidad queden intercalados entre los elementos estructurales de madera. En la construcción con madera se suele emplear elementos constructivos mixtos (de dos o más capas).

El aislamiento acústico de los elementos constructivos mixtos depende de las propiedades de cada una de las capas que lo componen, de la unión entre ellas y de la atenuación debida al espacio vacío entre cada una de las capas. En la construcción con madera conviene respetar los siguientes principios:

- Utilización de capas flexibles (ejemplo, placas de yeso laminado).
- Separación de la unión entre las diferentes capas por medio de uniones elásticas (ejemplo, techos suspendidos).
- Empleo de material poroso y fibroso para rellenar las cavidades, como la lana mineral. Cuanto mayor sea la resistencia al flujo de aire, presentará un mejor aislamiento acústico. Los aislantes consistentes en espumas con estructura de célula cerrada, como la espuma de poliestireno, son malos absorbentes acústicos y por lo tanto no mejoran el aislamiento acústico.
- Utilización de masa flexible (incluso con el empleo de grava o arena).
- Garantizar un buen hermetismo.
- Evitar los puentes sonoros.
- Empleo de bandas o capas de aislamiento al impacto en el caso de forjados.

3.5.3. Diseño y dimensionado de los diferentes sistemas constructivos

Para el diseño y dimensionado de los elementos constructivos el CTE establece dos métodos: la opción simplificada y la opción general.

En la opción simplificada se entiende que una solución de aislamiento es el conjunto de todos los elementos constructivos que conforman un recinto (elementos de separación verticales y horizontales, tabiquería, medianerías, fachadas y cubiertas), ya que todos ellos van a influir en la transmisión del ruido y de las vibraciones entre recintos adyacentes o entre el exterior y un recinto.

La opción simplificada consiste en una serie de tablas donde figuran los valores mínimos de aislamiento acústico, establecidos en laboratorio, que los elementos constructivos por separado deben cumplir. Cuando se eligen elementos constructivos (tabiquería, elementos de separación verticales, horizontales, medianerías, fachadas y cubiertas) que cumplen con los valores de las tablas, se está eligiendo una solución de aislamiento que satisface las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos. Con esta opción el proyectista no tiene que valorar las transmisiones indirectas, simplemente debe elegir de entre un conjunto de soluciones que el propio documento propone, aquellas que son más convenientes para su proyecto.

Sin embargo, debe señalarse que la opción simplificada es válida para edificios con una estructura horizontal resistente formada por forjados de hormigón macizos o con elementos aligerantes o forjados mixtos de hormigón y chapa de acero. Es decir, las tablas de la opción simplificada actualmente no son válidas para forjados de madera que tengan exigencia acústica. Al tratarse de soluciones globales, no es posible su utilización cuando existan forjados con exigencia construidos con madera (compartimentadores de distintas unidades de uso), pero sí puede utilizarse en el resto de los casos. En particular, para viviendas unifamiliares, o para edificios de madera con forjados de hormigón sí puede utilizarse.

Tabla 0.24. Parámetros de la tabiquería

Tipo	Masa por unidad de superficie m (kg/m ²)	R _A (dBA)
Fábrica con apoyo directo	70	35
Fábrica con bandas elásticas	65	33
Entramado autoportante	25	43

3.5.3.1. Elementos estructurales de grandes escuadras

En este caso, se debe comprobar el comportamiento acústico del material de cerramiento, considerando los posibles puentes acústicos que pudiera ocasionar los elementos estructurales de madera.

3.5.3.2. Elementos estructurales de pequeñas escuadras

En el caso de viviendas unifamiliares, utilizando la opción simplificada, deben comprobarse los tabiques interiores, las fachadas y las cubiertas. Los muros de entramado ligero deben considerarse dentro del tipo de entramado autoportante según el DB HR.

En general la comprobación para tabiques en la opción simplificada debe hacerse con la *Tabla 0.24*.

Los tabiques de entramado ligero deben considerarse de entramado autoportante, por lo que deberán cumplir los parámetros establecidos para ese tipo, es decir una masa de 25 kg/m² y un R_A de 43 dBA. Sin embargo, para el caso de vivienda unifamiliar aislada o adosada siempre que no se comparta estructura, la tabiquería interior únicamente debe cumplir la exigencia de R_A superior a 33 dBA.

Las fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior, así como sus ventanas y cajas de persiana, deben cumplir los mínimos establecidos en la *Tabla 0.25.*, en función del porcentaje de huecos y del valor de aislamiento a ruido aéreo entre un recinto protegido y el exterior establecido en la *Tabla 0.20*. El Catalogo de Elementos Constructivos presenta distintas soluciones constructivas en madera con sus correspondientes parámetros acústicos.

En el caso específico de entramados de madera, tiene una influencia significativa en el comportamiento acústico del elemento la separación entre los elementos estructurales (montantes o viguetas) y entre los elementos de unión. Normalmente, mientras más cercanos se encuentren los elementos estructurales peor es el aislamiento acústico del conjunto a bajas frecuencias.

3.5.3.3. Sistema con tablero contralaminado

Este sistema debe diseñarse a través del método general del DB HR del CTE

Tabla 0.25. Parámetros acústicos de fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior de recintos protegidos

Nivel límite exigido D _{2m,nT,Atr} dBA	Parte ciega 100% R _{A,tr} dBA	Parte ciega ≠100% R _{A,tr} dBA	Huecos Porcentaje de huecos R _{A,tr} de los componentes de los huecos ⁽²⁾ (dBA)				
			R _{A,tr} de los componentes de los huecos ⁽²⁾ (dBA)				
			Hasta 15%	De 16 a 30%	De 31 a 60%	De 61 a 80%	De 81 a 100%
D _{2m,nT,Atr} =30	33	35	26	29	31	32	33
		40	25	28	30	31	
		45	25	28	30	31	
D _{2m,nT,Atr} =32	35	35	30	32	34	34	35
		40	27	30	32	34	
		45	26	29	32	33	
D _{2m,nT,Atr} =34 ⁽¹⁾	36	40	30	33	35	36	36
		45	29	32	34	36	
		50	28	31	34	35	
D _{2m,nT,Atr} =36 ⁽¹⁾	38	40	33	35	37	38	38
		45	31	34	36	37	
		50	30	33	36	37	
D _{2m,nT,Atr} =37	39	40	35	37	39	39	39
		45	32	35	37	38	
		50	31	34	37	38	
D _{2m,nT,Atr} =41 ⁽¹⁾	43	45	39	40	42	43	43
		50	36	39	41	42	
		55	35	38	41	42	
D _{2m,nT,Atr} =42	44	50	37	40	42	43	44
		55	36	39	42	43	
		60	36	39	42	43	
D _{2m,nT,Atr} =46 ⁽¹⁾	48	50	43	45	47	48	48
		55	41	44	46	47	
		60	40	43	46	47	
D _{2m,nT,Atr} =47	49	55	42	45	47	48	49
		60	41	44	47	48	
		60	41	44	47	48	
D _{2m,nT,Atr} =51 ⁽¹⁾	53	55	48	50	52	53	53
		60	46	49	51	52	

(1) Los valores de estos niveles límite se refieren a los que resultan de incrementar 4 dBA exigidos cuando el ruido exterior dominante es el de aeronaves.

(2) El índice R_{A,tr} de los componentes del hueco expresado en esta tabla se aplica a las ventanas que dispongan de aireadores, sistemas de microventilación o cualquier otro sistema de abertura de admisión de aire con dispositivos de cierre en posición cerrada

3.6. COMPORTAMIENTO TÉRMICO Y AHORRO DE ENERGÍA DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO CON MADERA

3.6.1. Ahorro de energía. DB HE

La sección HE1 "limitación de demanda energética" del documento DB HE determina que los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como de las características del edificio en cuanto a aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, el objetivo es reducir el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratar adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos. Esta sección depende del sistema constructivo y por lo tanto ha de ser tratado de forma particular para la madera. El resto de las secciones del documento DB HE afectan al diseño del edificio y no poseen elementos de particular consideración para la madera, aplicándose en la madera de forma similar que para el resto de materiales.

Los edificios se caracterizan térmicamente a través de las propiedades higrotérmicas de los productos que componen su envolvente térmica. Los conceptos fundamentales que se deben manejar para caracterizar los muros y partes ciegas de la cubierta con respecto a su capacidad para reducir pérdidas caloríficas, proporcionar aislamiento térmico o impedir condensaciones son:

- **Conductividad térmica (λ)** se refiere a la capacidad de un material para transmitir el calor, su valor puede depender de factores propios como densidad, porosidad, tamaño de los poros, etc. y externos como la temperatura, la humedad, etc.
- **Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ)**. Es la resistividad a la difusión del vapor de agua que tiene un material, su valor es adimensional y relativo con referencia a la resistividad del aire seco en reposo.
- **Densidad (ρ)**. Es la relación entre la masa y el volumen de un material.
- **Transmitancia térmica (U)** de un cerramiento es la cantidad de calor que le atraviesa. Se calcula como el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y por la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada

lado del elemento que se considera. El valor límite de U en los paramentos característicos promedios según la zona climática (definición en el DB HE) se presenta en la *Tabla 0.26*.

3.6.2. Sistemas constructivos con madera

La madera es un material termoaislante, con una baja conductividad térmica (0,12 kcal/hm°C en coníferas y 0,18 kcal/hm°C en frondosas). Esta característica tiene tres ventajas de gran importancia en la construcción: 1) Disminuye el efecto de los puentes térmicos, 2) tiene un comportamiento estable dimensionalmente a igualdad de humedad y temperatura externa y 3) tiene un buen comportamiento en caso de incendio.

A continuación se presentan las características mínimas que deben cumplir una cubierta, fachada o forjado sanitario de estructura de madera para limitar la presencia de condensaciones, en la superficie y en el interior de los cerramientos, y de pérdidas energéticas debidas a las infiltraciones de aire, en condiciones normales de utilización de los edificios.

3.6.2.1. Elementos estructurales de grandes escuadrias

En este caso, se debe comprobar el comportamiento acústico del material de cerramiento, considerando los posibles puentes acústicos que pudieran ocasionar los elementos estructurales de madera.

3.6.2.2. Sistemas estructurales de pequeñas escuadrias

El espesor de aislante que debe tener un elemento estructural viene muy determinado por el valor límite de los parámetros de transmitancia térmica (U_{lim}) en una zona determinada (*Tabla 0.26*). Un cerramiento en contacto exterior debe cumplir que $U_{cerr} < U_{lim}$. En la *Tabla 0.27* se recoge la transmitancia térmica de los distintos cerramientos en función de R_{AT} (Resistencia térmica del aislante térmico) y R_{AA} (Resistencia térmica del aislante acústico) y del espesor de los elementos estructurales (montantes y viguetas). La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea, como las que se están estudiando, se obtiene de aplicar la siguiente ecuación:

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

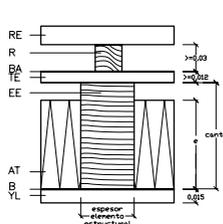
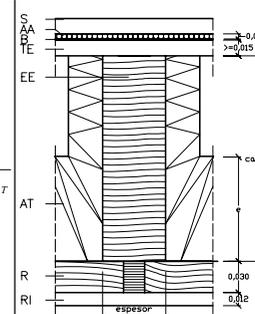
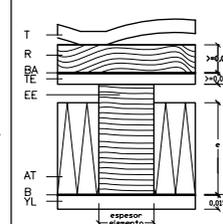
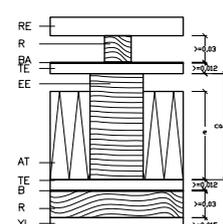
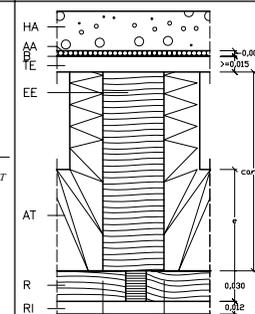
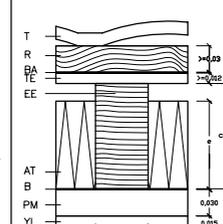
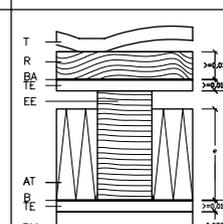
Siendo

- e el espesor de la capa de aislante (m)
- λ La conductividad térmica del aislante (W/mK) (véase el catálogo de elementos constructivos). En el caso de lana mineral λ está en el intervalo 0,031-0,050 W/mK.

Tabla 0.26. Valores límites de los parámetros característicos medios (W/m²k)

Transmitancia límite de:	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Muros de fachadas y cerramientos en contacto con el terreno ($U_{lim,m}$)	0,94	0,82	0,73	0,66	0,57
Cubiertas ($U_{lim,c}$)	0,50	0,45	0,41	0,38	0,35
Suelos ($U_{lim,s}$)	0,53	0,52	0,50	0,49	0,48

Tabla 0.27. Transmitancia térmica del elemento estructural (W/m^2K) en función de R_{AT} resistencia térmica del aislante térmico y R_{AA} resistencia térmica del aislante acústico (ambas en m^2K/W) (1)

Fachadas ⁽²⁾		Forjados ⁽³⁾		Cubiertas ⁽⁴⁾	
Tipología ⁽⁵⁾	U (W/m^2k)	Tipología ⁽⁵⁾	U (W/m^2k)	Tipología ⁽⁵⁾	U (W/m^2k)
 <p>FACHADA TIPO 1</p>	$U = \frac{1,00}{0,76 + 0,69R_{AT}}$	 <p>FORJADO TIPO 1</p>	$U = \frac{1,00}{1,05 + 0,58R_{AT} + R_{AA}}$	 <p>CUBIERTA TIPO 1</p>	$U = \frac{1,00}{1,24 + 0,51R_{AT}}$
 <p>FACHADA TIPO 2</p>	$U = \frac{1,00}{0,83 + 0,70R_{AT}}$	 <p>FORJADO TIPO 2</p>	$U = \frac{1,00}{1,03 + 0,58R_{AT} + R_{AA}}$	 <p>CUBIERTA TIPO 2</p>	$U = \frac{1,00}{1,22 + 0,54R_{AT}}$
<p>AA Aislante acústico AT Aislante térmico BA Barrera contra el agua BV Barrera de vapor EE Elemento estructural HA Hormigón aligerado PM Perfil metálico R Rastrel RE Revestimiento exterior RI Revestimiento interno S Suelo T Tejado TE Tablero estructural YL Placa de yeso laminado</p>				 <p>CUBIERTA TIPO 3</p>	$U = \frac{1,00}{1,38 + 0,53R_{AT}}$

- (1) Valores obtenidos para una separación entre elementos constructivos mayor o igual a 0,4m (se ha tomado para los cálculos 0,4m) y para espesores del elemento estructural de 38, 45 y 60 mm.
 (2) Se considera un panel en donde, que debido a la disposición de montantes en puertas y ventanas, existe un 15% más de contacto entre el montante y el tablero exterior que en un panel ciego.
 (3) Se considera que es un forjado sanitario. En el caso de forjado interior aplicar la misma fórmula sumándole en el denominador 0,06.
 (4) No se considera claroboyas. No se modifica el valor de U en el caso de cubiertas con doble rastrel en la unión entre tablero y teja.
 (5) Cotas en metros

La Tabla 0.28. permite aproximar los casos en los que es necesario la colocación de una barrera de vapor en la zona caliente del cerramiento para evitar las condensaciones intersticiales. Para el uso de esta tabla es necesario conocer la temperatura media del mes de enero (Anejo G del DB HE) de la localidad en donde se edifica (T_{enero}). En la elaboración de la misma se han considerado las variables de conductividad térmica (λ en $W/m\cdot K$) y difusión del vapor de agua (μ) del aislante de la humedad relativa en el mes de enero (HR en %).

3.6.2.3. Sistema con tablero contralaminado

En la Tabla 0.29. se recogen el espesor mínimo de aislamiento

que debe presentar un elemento tipo de forjado

La Tabla 0.30. permite aproximar los casos en los que es necesario la colocación de una barrera de vapor en la zona caliente del cerramiento para evitar las condensaciones intersticiales. Para el uso de esta tabla es necesario conocer la temperatura media del mes de enero (Anejo G del DB HE) de la localidad en donde se edifica (T_{enero}). Para la elaboración de la presente tabla se han considerado las variables de conductividad térmica (λ en $W/m\cdot K$) y el espesor (e en mm). del aislante y de la humedad relativa en el mes de enero (HR en %).

Tabla 0.28. Temperatura (°C) como media del mes de enero (Anejo G del DB HE) a partir de la cual es imprescindible la colocación de una barrera de vapor en la parte caliente del elemento estructural. Datos obtenidos a partir de la resistencia de difusión de vapor de agua (μ)⁽¹⁾ y conductividad térmica (λ)⁽²⁾ del aislante y la humedad relativa media (%) en el mes de enero⁽³⁾

	λ (W/mK)	μ ⁽¹⁾				
		1	20	80	140	200
Fachadas ⁽⁴⁾	0,030	$T_{\text{enero}} < 0,063\text{HR} + 3,4$	$T_{\text{enero}} < 0,669\text{HR} - 56,8$	No requiere	No requiere	No requiere
	0,050	$T_{\text{enero}} < 0,073\text{HR} + 2,2$	$T_{\text{enero}} < 0,753\text{HR} - 66,2$	No requiere	No requiere	No requiere
	0,070	$T_{\text{enero}} < 0,081\text{HR} + 1,2$	$T_{\text{enero}} < 0,786\text{HR} - 69,7$	No requiere	No requiere	No requiere
	0,100	$T_{\text{enero}} < 0,084\text{HR} + 0,4$	No requiere	No requiere	No requiere	No requiere
	0,120	$T_{\text{enero}} < 0,083\text{HR} + 0,2$	No requiere	No requiere	No requiere	No requiere
Forjados ⁽⁵⁾	0,030	$T_{\text{enero}} < 0,261\text{HR} - 16,3$	$T_{\text{enero}} < 0,618\text{HR} - 53,8$	No requiere	No requiere	No requiere
	0,050	$T_{\text{enero}} < 0,254\text{HR} - 16,5$	$T_{\text{enero}} < 0,663\text{HR} - 58,2$	No requiere	No requiere	No requiere
	0,070	$T_{\text{enero}} < 0,264\text{HR} - 17,6$	$T_{\text{enero}} < 0,704\text{HR} - 62,17$	No requiere	No requiere	No requiere
	0,100	$T_{\text{enero}} < 0,275\text{HR} - 18,7$	$T_{\text{enero}} < 0,707\text{HR} - 62,7$	No requiere	No requiere	No requiere
	0,120	$T_{\text{enero}} < 0,281\text{HR} - 19,4$	$T_{\text{enero}} < 0,791\text{HR} - 70,6$	No requiere	No requiere	No requiere
Cubiertas ⁽⁶⁾	0,030	$T_{\text{enero}} < 0,017\text{HR} + 8,1$	$T_{\text{enero}} < 0,169\text{HR} - 7,8$	$T_{\text{enero}} < 0,578\text{HR} - 49,7$	No requiere	No requiere
	0,050	$T_{\text{enero}} < 0,018\text{HR} + 7,5$	$T_{\text{enero}} < 0,178\text{HR} - 9,4$	No requiere	No requiere	No requiere
	0,070	$T_{\text{enero}} < 0,017\text{HR} + 6,9$	$T_{\text{enero}} < 0,196\text{HR} - 11,6$	No requiere	No requiere	No requiere
	0,100	$T_{\text{enero}} < 0,019\text{HR} + 6,1$	$T_{\text{enero}} < 0,212\text{HR} - 13,9$	No requiere	No requiere	No requiere
	0,120	$T_{\text{enero}} < 0,020\text{HR} + 5,5$	$T_{\text{enero}} < 0,230\text{HR} - 16,0$	No requiere	No requiere	No requiere

(1) Resistencia a la difusión de vapor de agua del aislante. Información facilitada por el fabricante o por el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Para valores diferentes se puede interpolar o extrapolar.

(2) Conductividad térmica del aislante (W/m·K). Información facilitada por el fabricante o por el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

(3) Humedad relativa media en el mes de enero de la localidad en donde se asienta la edificación (%). Información obtenida del Anejo G del DB HE o de un historial de humedad relativa de la zona.

(4) Consistente, del interior al exterior, en: placa de yeso laminado de 12,5 mm; rastreles de mínimo 20 mm de espesor, colocados en sentido horizontal; elemento estructural con aislamiento (100 mm) entre montantes, tablero de OSB de 15 mm y fachada ventilada.

(5) Consistente, del interior al exterior en: suelo (para los cálculos se considera un tablero de 12 mm de espesor); tablero de OSB de 18 mm de espesor; barrera de agua (si requiere), viguetas de 38x 235 mm; aislante térmico de 100 mm de espesor entre viguetas, rastreles y tablero de OSB de 12 mm de espesor.

(6) Consistente, del interior al exterior en: Placa de yeso laminado de 12,5mm; barrera de agua (si requiere); montantes de 38 x 185 mm; aislante térmico de 100 mm entre viguetas; tablero de OSB de 15 mm de espesor; barrera de agua; doble enrastrelado (cámara de aire de 50mm) y teja cerámica.

Tabla 0.29. Aislamiento mínimo (mm) en función de la conductividad térmica (λ)⁽¹⁾ del (W/m·K) del aislamiento y del espesor del tablero contralaminado (e_{contra}) en mm

	Zona climática				
	Zona A	Zona B	Zona C	Zona D	Zona E
Fachadas ⁽¹⁾	$(844 - 7,7e_{\text{contra}}) \lambda$	$(1.000 - 7,7e_{\text{contra}}) \lambda$	$(1.150 - 7,7e_{\text{contra}}) \lambda$	$(1.295 - 7,7e_{\text{contra}}) \lambda$	$(1.532 - 7,7e_{\text{contra}}) \lambda$

(1) Conductividad térmica del aislante (W/m·K). Información facilitada por el fabricante o en Catálogo de elementos constructivos del CTE (<http://www.codigotecnico.org>).

(2) Consistente, del interior al exterior, en: placa de yeso laminado de 12,5 mm; barrera de vapor (si fuera necesaria); tablero contralaminado; aislamiento térmico; barrera de agua y fachada ventilada.

Tabla 0.30. Temperatura como media del mes de enero (Anejo G DB HE) a partir de la cual es imprescindible la colocación de una barrera de vapor en la parte caliente del elemento estructural. Datos obtenidos a partir de la resistencia de difusión de vapor de agua del aislante⁽¹⁾, la conductividad térmica del elemento aislante (W/mk)⁽²⁾ y la humedad relativa (%) en el mes de enero⁽³⁾ (Anejo G DB HE)

	λ (W/mK)	μ ⁽¹⁾				
		1	20	80	140	200
Fachadas ⁽⁴⁾	0,030	No requiere	No requiere	No requiere	No requiere	No requiere
	0,050	No requiere	No requiere	No requiere	No requiere	No requiere
	0,070	No requiere	No requiere	$T_{\text{enero}} < 0,138\text{HR} - 10,3$	$T_{\text{enero}} < 0,079\text{HR} - 4,4$	$T_{\text{enero}} < 0,056\text{HR} - 2,1$
	0,100	No requiere	$T_{\text{enero}} < 0,409\text{HR} - 35,8$	$T_{\text{enero}} < 0,115\text{HR} - 6,1$	$T_{\text{enero}} < 0,067\text{HR} - 1,3$	$T_{\text{enero}} < 0,046\text{HR} + 0,7$
	0,120	No requiere	$T_{\text{enero}} < 0,381\text{HR} - 32,2$	$T_{\text{enero}} < 0,105\text{HR} - 4,4$	$T_{\text{enero}} < 0,061\text{HR}$	$T_{\text{enero}} < 0,043\text{HR} + 1,8$

(1) Resistencia a la difusión de vapor de agua del aislante (μ). Información facilitada por el fabricante o por el Catálogo de elementos constructivos del CTE. Para valores diferentes se puede interpolar o extrapolar.

(2) Conductividad térmica del aislante (W/m·K). Información facilitada por el fabricante o por el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

(3) Humedad relativa media en el mes de enero de la localidad en donde se asienta la edificación (%). Información obtenida del Anejo G del DB HE o de un historial de humedad relativa de la zona.

(4) Consistente, del interior al exterior, en: placa de yeso laminado de 12,5 mm; barrera de vapor (si fuera necesaria); el tablero contralaminado de 95 mm; aislamiento térmico de 40 mm; barrera de agua y fachada ventilada.

3.7. COMPORTAMIENTO EN RELACIÓN CON LA SALUBRIDAD

Las secciones HS 2 "Recogida y evacuación de residuos", HS 3 "Calidad del aire interior", HS 4 "Suministro de agua" y HS 5 "Evacuación de aguas" del documento de Salubridad (DB HS) afectan únicamente al diseño del edificio o de sus instalaciones y no suponen consideraciones especiales para los productos de madera. Sin embargo, la Sección HS 1 "Protección frente a la humedad" depende del sistema constructivo y por tanto ha de ser tratado de forma particular para las soluciones de madera.

En primer lugar, debe obtenerse el grado de impermeabilidad exigido para los diferentes elementos constructivos del edificio. Para obtener el grado de impermeabilidad exigido a las fachadas es necesario conocer el grado de exposición al viento que se obtiene en la *Tabla 0.31*, a partir de la clase de entorno del edificio, de la zona eólica y de la altura de coronación del edificio.

La clase de entorno será E1 cuando se trate de una zona urbana, suburbana, industrial o forestal y E0 en los demás casos.

Las fachadas que se utilicen tendrán que tener un grado de

Tabla 0.31. Grado de exposición al viento

		Clase del entorno del edificio					
		E1			E0		
		Zona eólica			Zona eólica		
		A	B	C	A	B	C
Altura del edificio en m	≤15	V3	V3	V3	V2	V2	V2
	16 - 40	V3	V2	V2	V2	V2	V1
	41 - 100 ⁽¹⁾	V2	V2	V2	V1	V1	V1

(1) Para edificios de más de 100 m de altura y para aquellos que están próximos a un desnivel muy pronunciado, el grado de exposición al viento debe ser estudiada según lo dispuesto en el DB SE-AE.

La zona eólica se obtiene del siguiente mapa:

Figura 0.13. Zonas eólicas



Con el grado de exposición al viento obtenido y la zona pluviométrica de promedios obtenida en el mapa de la *Figura 0.14*, en la *Tabla 0.31*, se obtiene el grado de impermeabilidad exigido para fachadas, que puede variar entre 1 y 5.

impermeabilidad igual o superior al exigido. En la mayoría de los sistemas constructivos con madera, la función de impermeabilidad de la madera se consigue mediante una barrera de agua colocada, normalmente, después del revestimiento

Figura 0.14. Zonas pluviométricas de promedios en función del índice pluviométrico anual

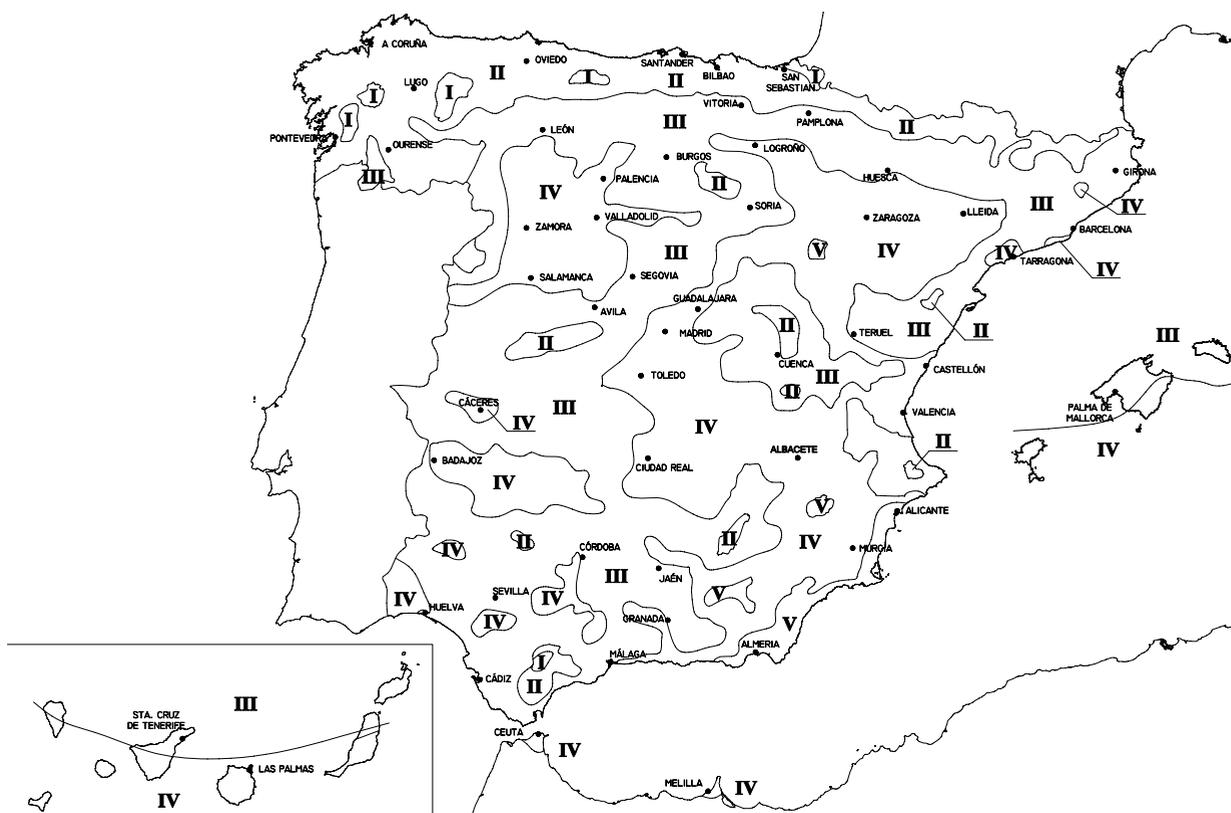


Tabla 0.32. Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas

		Zona pluviométrica de promedios				
		I	II	III	IV	V
Grado de exposición al viento	V1	5	5	4	3	2
	V2	5	4	3	3	2
	V3	5	4	3	2	1

exterior que proporciona un alto grado de impermeabilidad. El Catalogo de Elementos Constructivos presenta distintas soluciones constructivas en madera con sus correspondientes grados de impermeabilidad.

3.8. COMPORTAMIENTO EN RELACIÓN CON LA SEGURIDAD DE UTILIZACIÓN Y ACCESIBILIDAD

El DB SUA no contiene consideraciones específicas para la construcción con madera por lo que no se trata en este documento.



4. CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA EL PROYECTO Y EJECUCIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON MADERA

4.1. CONCEPTOS BÁSICOS DE DISEÑO CON PRODUCTOS DE MADERA

La principal causa de deterioro de la madera es el ataque de hongos xilófagos. Estos hongos normalmente actúan sobre madera que posee un porcentaje de humedad superior al 20%. Para que un elemento de madera puesta en obra encuentre su equilibrio higroscópico por encima de este valor es necesario que esté en contacto directo y permanente con el agua o colocado en un ambiente con humedad relativa superior a 85%. La vida útil de los elementos de madera puede incrementarse de manera significativa si se diseña y se cuida la ejecución de la obra. De esta manera, si el elemento de madera puede estar ocasionalmente en contacto con el agua, se ha de garantizar que exista una evacuación rápida de la misma. De la misma forma, es importante cuidar la ventilación para evitar ambientes muy saturados de humedad. Se recomienda aplicar tratamientos químicos preventivos aplicados en profundidad, considerar sistemas especiales de protección tipo barrera (colocación de piezas de sacrificio, albardillas o similar, empleo de láminas externas de madera naturalmente durable, etc.) o elegir maderas con elevada durabilidad natural cuando el elemento vaya a estar en contacto directo y sostenido con agua de lluvia (clase de uso 3.2), introducidos en tierra (clase de uso 4) o expuesto, de forma permanente o casi permanente, a humedad muy elevada (mayor al 85%) que permita suponer la existencia de condensaciones superficiales. Adicionalmente y cuando la zona en la que vaya a emplearse la madera sea endémica de algún tipo de insecto xilófago que ataque madera seca se deberá prever la aplicación de tratamientos químicos preventivos eficaces en función del tipo de insecto y de la especie de madera (no todas las maderas son atacables por todos los insectos xilófagos). Para ampliar la información y establecer la mejor estrategia de tratamiento y/o protección se recomienda consultar los Capítulos 2: Durabilidad y 5: Ejecución control y mantenimiento de esta Guía.

4.2. ELECCIÓN DEL MATERIAL SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS Y PRESTACIONES

4.2.1. Elemento lineal

Existen en el mercado diferentes productos estructurales lineales de madera o derivados. Para la elección del más adecuado se deben tener presentes las siguientes características (Figura 0.15.):

a) *Capacidad resistente del material.* No todos los materiales presentan las mismas características resistentes. En la Tabla 0.33. se resume el intervalo de resistencia por productos, con indicación de la resistencia que posee la clase más empleada. En Capítulo 1 "Productos de madera para la construcción" de esta Guía se aborda este aspecto con mayor profundidad.

En general debe indicarse que las propiedades mecánicas y elásticas, tanto de la madera aserrada como de la madera laminada, se dan en forma de clases resistentes. En el caso de la madera laminada encolada cada clase resistente está precedida de las siglas GL mientras que en el de la madera aserrada lo será de una D si se tratase de una madera de frondosa y de una C si se tratase de una madera de conífera o de chopo. Tras estas siglas aparecerá un número que da información de la resistencia a flexión (en N/mm²) de la madera. En el caso de la madera laminada, posteriormente al número, se adiciona otra letra en minúsculas que da información sobre si todas las láminas que constituyen el elemento pertenecen a una misma clase resistente (h) o no (c). Las clases resistentes más empleadas en el mercado son C18, C24, D30, D40 y GL24h.

b) *Factores propios de la estructura o la ubicación de la misma.*

- *Duración de la carga.* Una de las características de la madera, anteriormente comentada, es que tiene un comportamiento diferente dependiendo si la carga a la que está sometido es permanente o variable.
- *Resistencia y reacción al fuego del elemento.* Dependiendo de uso del edificio en donde se sitúe el elemento estructural.
- *Deformación máxima admitida del elemento estructural.* Dependiendo del uso del edificio en donde se sitúe el elemento estructural.
- *Humedad del ambiente y tipo de medio al que está sometido la estructura.* El ambiente al que está sometido la estructura influye doblemente: En la resistencia del material y en la durabilidad del mismo.

La resistencia y rigidez del material están inversamente relacionadas con la humedad a la que el elemento se vea obligado a trabajar. En el DB SE-M se identifican 3 ambientes o clases de servicio. Estas clases de servicio, que afectan única y exclusivamente al cálculo estructural, no

deben ser confundidas con las clases de uso, que afectan a los riesgos asociados al ataque de hongos. El riesgo de ataque de insectos, salvo de, normalmente, termitas, es independiente de la humedad del material, motivo por lo cual debe aplicarse en todos los casos estableciendo una barrera superficial que impida su penetración, salvo que la madera sea naturalmente durable.

- *Durabilidad natural de la especie.* La durabilidad natural de la madera se define como la resistencia intrínseca de la madera a los ataques por organismos destructores. Ésta varía de una especie a otra, así como entre el duramen y la albura. La albura y/o el duramen de una especie concreta no tienen por qué requerir protección para una determinada clase de uso a pesar de estar colocada a la intemperie. La clasificación de la durabilidad se realiza conforme a la norma UNE-EN 350-2 "Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera"
- *La impregnabilidad.* Se define como la facilidad con la que una madera puede ser penetrada por un líquido, como por ejemplo, un producto protector. Ésta depende de cada especie y es un factor determinante a la hora de elegir una madera u otra. Hay especies que se caracterizan por que son muy poco impregnables. En este caso, y si la durabilidad natural es igualmente baja, estas especies están desaconsejadas para el uso al exterior (clase de uso 3-2 o superior) o para zonas endémicas de un tipo de xilófago que ataque la madera. Ejemplo típico es la madera de abeto rojo (*Picea abies*), una de las especies más empleadas en el sector de la construcción, que no posee durabilidad natural suficiente y es difícilmente impregnable, lo que la hace desaconsejada para su empleo en clases de uso 3.2 y superior, salvo que se adopten medidas de diseño especiales que permitan rebajar el riesgo a niveles compatibles con una clase de uso 3.1 o inferior.

c) *Dimensiones.* El factor limitante puede ser los largos y las secciones que existen en el mercado.

- *Largos.* En el mercado, la madera aserrada se suele encontrar en largos inferiores a 6 metros, dimensiones mayores se suelen realizar solamente bajo pedido. La madera laminada encolada puede encontrarse con largos muy superiores, de hasta 45 m, siendo en este caso la limitación por motivos de transporte. En general largos superiores a 12,0 ó 13,5 m, que exige transporte especial, pueden incrementar considerablemente el precio del material puesto en obra, lo cual habrá de ser tenido en cuenta.

- *Secciones.* Esta decisión puede estar definida por el tipo de estructura que se quiera realizar. Los sistemas constructivos en madera se clasifican en entramado ligero (espesores de 36-70 cm.) y grandes escuadrias (espesores mayores o iguales a 80 mm). Mientras mayor sea la sección más complicado será encontrarla en madera maciza y más difícil de obtener un secado homogéneo que garantice la estabilidad del producto. Para las grandes secciones el uso de la madera laminada encolada suele ser la única opción económicamente viable.

d) *Vigas de sección constante o variable.* Por motivos de fabricación, la madera laminada encolada y la microlaminada son las que permiten secciones no constantes, rectas o curvas. Los encargos pueden ser realizados a la medida de la obra.

e) *Estética.* Debido a los espesores, hay secciones que permiten un secado más homogéneo que otras y por tanto, el material es más o menos estable dimensionalmente. Las materiales menos estables suelen presentar un mayor número de fendas. Además, Los elementos estructurales derivados de la madera presentan una estética particular en cada caso.

Figura 0.15. Diagrama para toma de decisión del producto más adecuado a elegir

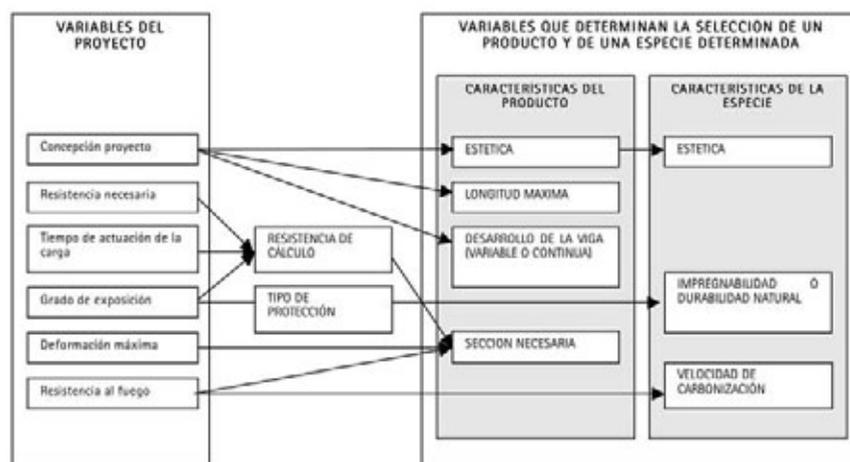


Tabla 0.33. Características de cada producto importantes para la toma de decisión del producto más adecuado para un proyecto determinado

Tipo de madera	$f_{m,0,k}^{(1)}$ (N/mm ²)	$f_{t,0,k}^{(1)}$ (N/mm ²)	$f_{v,0,k}^{(1)}$ (N/mm ²)	$f_{c,90,k}^{(1)}$ (N/mm ²)	$E_{0,medio}^{(1)}$ (kN/mm ²)	$\beta_n^{(1)}$ (mm/min)	Ambientes permitidos	Largos habituales almacén	Dimensiones	Estética	Desarrollo de la viga
Madera aserrada (conífera)	(14-40) 24,0	(8-24) 14,0	(1,7-3,8) 2,5	(4,3-6,3) 5,3	(7-14) 11,0	0,8	Todos con adecuada protección	< 6 m.	Secciones pequeñas o medianas (menos a 120 x 240mm)	Rústico	Vigas rectas
Madera aserrada (frondosa)	(30-70) 30,0	(18-42) 18,0	(3-6) 3,0	(8-13,5) 8,0	(10-20) 10,0	0,55	Todos con adecuada protección	< 6 m.	Secciones medianas (menos a 120 x 240mm)	Rústico	Vigas rectas
Madera empalmada (conífera)	(14-40) 24,0	(8-24) 14,0	(1,7-3,8) 2,5	(4,3-6,3) 5,3	(7-14) 11,0	0,8	Todos con adecuada protección	12-13,5 m.	Secciones pequeñas o medianas (menos a 100 x 200mm)	Rústico	Vigas rectas
Dúo o Trio	(14-40) 24,0	(8-24) 14,0	(1,7-3,8) 2,5	(4,3-6,3) 5,3	(7-14) 11,0	0,8	Todos con adecuada protección	12-13,5 m.	Secciones medianas (menos 180 x 240mm)	Lineal	Vigas rectas
Madera laminada encolada	(24-36) 24,0	(16,5-26) 16,5	(2,7-3,6) 2,7	(2,7-3,6) 2,7	(11,6-14,7) 11,6	0,7	Todos con adecuada protección	12-13,5 m.	Secciones medianas o grandes	Lineal	Vigas rectas o variable
Madera microlaminada (LVL)	(28-44) 44,0	(19-35) 35,0	(1,3-4,5) 2,3	(1,8-9,0) 1,8	(8,3-11,6) 11,6	0,7	Interior	12-13,5 m.	Secciones medianas o grandes	Lineal	Vigas rectas variable
Madera reconstituida (PSL) *							Interior	12-13,5 m.	Secciones medianas o grandes	No homogénea	Vigas rectas
Madera reconstituida (LSL)							Interior	12-13,5 m.	Secciones medianas o grandes	No homogénea	Vigas rectas
Madera reconstituida (OSL)							Interior	12-13,5 m.	Secciones medianas o grandes	No homogénea	Vigas rectas
Vigas mixtas prefabricadas						NA	Interior	12-13,5 m.	Secciones variables	Viga no vista	Vigas rectas

* Madera reconstituida: Productos estructurales en forma de perfiles con sección rectangular que están fabricados con chapa, tiras o virutas de madera encolada

(1) Se presentan, entre paréntesis, los intervalos de resistencia que existen considerando las clases resistentes que hay en el mercado y en negrilla la clase resistente más empleadas. Madera maciza: C24 y D30, Madera laminada encolada GL24h, Madera microlaminada con láminas orientadas en la misma dirección y valores de canto.

$f_{m,0,k}$	Resistencia a la flexión
$f_{t,0,k}$	Resistencia a la tracción paralela a las fibras.
$f_{v,0,k}$	Resistencia a la cortante
$f_{c,90,k}$	Resistencia a la compresión perpendicular a las fibras
$E_{0,medio}$	Modulo de elasticidad paralelo medio.
β_n	Velocidad de carbonización nominal de cálculo.
NA	No aplica

4.2.2. Elemento superficial: Tableros estructurales

Existen en el mercado diferentes tableros estructurales de madera o derivados. La medida más usual es 1,25 x 2,50 mm. Para la elección del más adecuado es imprescindible conocer lo siguiente (Tabla 0.34.):

- La resistencia del tablero.** Cada tipo de tablero presenta una resistencia diferente. Para obtener más detalles sobre las características y propiedades de cada tipo de tablero se recomienda consultar el Capítulo 1: Productos de madera para la construcción, de esta Guía.
- Ambiente al que van a estar sometidos.** No todos los tableros son aptos para todo tipo de ambientes. Para obtener más detalles sobre las características y propiedades de cada tipo de tablero se recomienda consultar el Capítulo 1: Productos de madera para la construcción, de esta Guía.
- Resistencia al fuego.** Los tableros de productos derivados de madera pueden tener la función de elemento de protección frente al fuego. La velocidad de carbonización depende del tipo de tablero, de la densidad, del espesor del mismo y de si se le ha aplicado algún tipo de protección ignífuga.

Los tratamientos químicos sobre los tableros pueden retrasar ligeramente la combustión del mismo, aumentando ligeramente la resistencia al fuego del conjunto. Es necesario certificar, mediante ensayos, el comportamiento del tablero

de comportamiento mejorado.

- Reacción al fuego.** En la Tabla 0.13. se presenta la clase de reacción al fuego de los diferentes tableros (Tabla simplificada del Real Decreto 110/2008). Los tratamientos ignífugos pueden mejorar esta reacción a la clase B o C dependiendo de la especie de madera empleada y el tipo de tratamiento. Es necesario certificar, mediante ensayos, el comportamiento del tablero de comportamiento mejorado.
- Valores de conductividad térmica.** El conjunto de los productos que forman un elemento constructivo influyen en su mayor o menor transmitancia térmica. Para más información consultar en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE y en el Capítulo 1: Productos de madera para la construcción, de esta Guía se pueden obtener estos valores.
- Comportamiento ante el ruido.** Cada uno de los tableros presenta diferentes propiedades acústicas. Para más información consultar en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.
- Espesores.** Es este un factor limitante ya que las dimensiones superficiales que existen en el mercado suelen ser parecidas para todos los tipos de tableros. Para más información se recomienda consultar la publicación el Capítulo 1: Productos de madera para la construcción, de esta Guía.
- Estética.** En el caso de que el tablero quede visto, existen notables diferencias estéticas entre familias de tablero e incluso, dentro de una misma familia entre una terminación y otra.

Tabla 0.33. Clasificación de los elementos superficiales características y prestaciones

Familias de tablero	Clasificación según aptitud	Ambientes permitidos y resistencia mecánica	Espesor habitual (mm)	Reacción fuego (excluido suelo)	Reacción fuego de Suelo	Tiempo de carbonización ¹ y de fallo (min)	C _p (J/kg.K)	ρ (kg/m ³)	λ (W/m.K)	μ ()
Tablero de madera maciza (SWP)	SWP-1	interior	12 a 60	D-s2,d0 - D-s2,d2 ⁽²⁾	D _{fl-s1}	Si h _p ≤ 20 mm ⇒ t _{char} = t _f = $\frac{h_p \sqrt{\rho_k h_p}}{85,4}$ Si h _p > 20 mm ⇒ t _{char} = t _f = $\frac{h_p \sqrt{\rho_k}}{19,1}$	1600	700 < ρ ≤ 900	0,24	110
	SWP-2	Exterior no expuesto						600 < ρ ≤ 750	0,21	110
	SWP-3	Exterior expuesto						500 < ρ ≤ 600	0,17	90
Tablero contrachapado	UNE-EN 636-1	interior	agos-40	D-s2,d0 - D-s2,d2 ⁽²⁾	D _{fl-s1}	Si h _p ≤ 20 mm ⇒ t _{char} = t _f = $\frac{h_p \sqrt{\rho_k h_p}}{94,9}$ Si h _p > 20 mm ⇒ t _{char} = t _f = $\frac{h_p \sqrt{\rho_k}}{21,2}$	1600	700 < ρ ≤ 900	0,24	110
	UNE-EN 636-2	Exterior no expuesto						600 < ρ ≤ 750	0,21	110
	UNE-EN 636-3	Exterior expuesto						500 < ρ ≤ 600	0,17	90
OSB	OSB2	interior	8, 12, 15, 18 y 22	D-s2,d0 - D-s2,d2 ⁽²⁾	D _{fl-s1}	Si h _p ≤ 20 mm ⇒ t _{char} = t _f = $\frac{h_p \sqrt{\rho_k h_p}}{85,4}$ Si h _p > 20 mm ⇒ t _{char} = t _f = $\frac{h_p \sqrt{\rho_k}}{19,1}$	1700	ρ ≤ 650	0,13	30
	OSB3	Exterior no expuesto								
	OSB4	Exterior no expuesto - altas resistencia								
Tablero de fibras	HB-LA	interior	2 y 3	D-s2,d0 - D-s2,d2 ⁽²⁾	D _{fl-s1}	Si h _p ≤ 20 mm ⇒ t _{char} = t _f = $\frac{h_p \sqrt{\rho_k h_p}}{85,4}$ Si h _p > 20 mm ⇒ t _{char} = t _f = $\frac{h_p \sqrt{\rho_k}}{19,1}$	1700	750 < ρ ≤ 1000	0,2	20
	HB-HLA1	exterior no expuesto								
	HB-HLA2	exterior no expuesto - altas resistencia								
	MBH-LA1	interior								
	MBH-LA2	Exterior no expuesto	D-s2,d0 - D-s2,d2 ⁽²⁾							
	MBH-HLS1	Interior - altas resistencia								
MBH-HLS2	Exterior no expuesto - altas resistencia									
MDF	MDF-LA	interior	2 a 50	D-s2,d0 - D-s2,d2 ⁽²⁾				ρ ≤ 200	0,07	2
	MDF-HLS	exterior no expuesto								
Tablero de partículas	P4	interior	16, 19, 22 y 30	D-s2,d0	D _{fl-s1}	Si h _p ≤ 20 mm ⇒ t _{char} = t _f = $\frac{h_p \sqrt{\rho_k h_p}}{85,4}$ Si h _p > 20 mm ⇒ t _{char} = t _f = $\frac{h_p \sqrt{\rho_k}}{19,1}$	1700	640 < ρ ≤ 820	0,18	20
	P5	Exterior no expuesto						450 < ρ ≤ 640	0,15	
	P6	Interior - altas resistencia						270 < ρ ≤ 450	0,13	
	P7	Exterior no expuesto - altas resistencia						180 < ρ ≤ 270	0,1	
Tablero de partículas aglomerado con cemento ³		Exterior no expuesto	8 a 100	B-s1, d0 ⁽⁴⁾	B _{fl-s1} ⁽⁴⁾		1500	ρ ≤ 1200	0,23	30
Yeso laminado	Tipo A	Interior	9,5, 12, 5 y 15	A2-s1, d0 ⁵ - B-s1, d0 ⁶		con juntas ≤ 2mm t _{char} = t _f = 2,8 h _p - 14 con juntas > 2mm. t _{char} = 2,8 h _p - 23 t _f = 2,8 h _p - 14 Para tipo F ensayos	1000	750 < ρ ≤ 900	0,25	4
	Tipo H	Resistencia a altas humedades								
	Tipo F	Resistencia a altas temperaturas								

(1) En el caso en el que el tablero de protección esté en contacto directo con el elemento estructural.

(2) Según condiciones de utilización final, densidad del material y espesor del tablero.

(3) De al menos un 75% de cemento.

(4) Para espesores mayores de 10 mm.

(5) Instalado sin espacio de aire y directamente sobre productos de clase A1 ó A2-51 con una densidad mínima de 10 kg/m³ o al menos sobre productos de clase D-52 con una densidad mínima de 400 kg/m³

(6) Para espesores (e ≥ 9,5mm) y densidades (ρ ≤ 600 kg/m³)

(7) Para espesores (e ≥ 12,5mm) y densidades (ρ ≤ 800 kg/m³)

ρ_k densidad (kg/m³)

h_p espesor (mm)

μ Resistencia a la difusión de vapor de agua del aislante (). Información facilitada por el fabricante o por el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

λ Conductividad térmica del aislante (W/m.K). Información facilitada por el fabricante o por el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

C_p Calor específico.

4.2.3. Elementos de unión

Los elementos de unión juegan un papel importante en las estructuras de madera. Un buen diseño y cálculo de los mismos junto con una buena ejecución disminuyen drásticamente la aparición de problemas posteriores.

Los principales factores que se tendrán en cuenta en la planificación de los detalles de la unión son (Tabla 0.35):

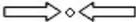
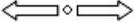
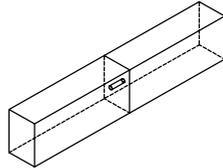
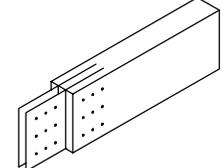
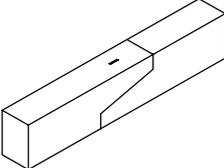
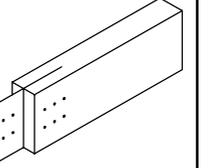
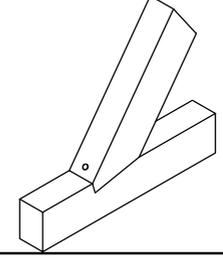
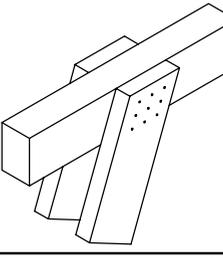
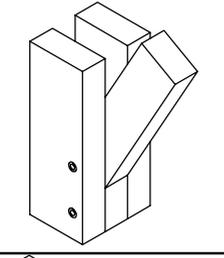
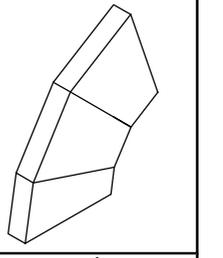
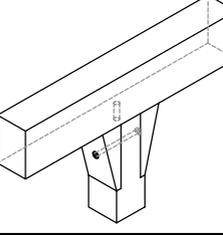
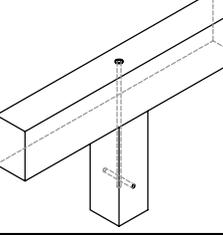
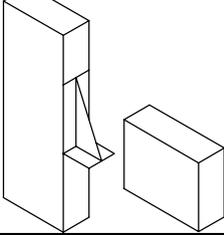
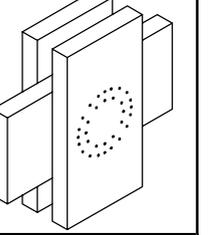
- Los tipos e intensidades de esfuerzos que deben transmitir (cargas estáticas, dinámicas, tracción, compresión, flexión, cizallamiento, etc).
- La geometría de las barras a unir (barras en un mismo eje, o encuentros con un ángulo).
- El tipo de sección de las barras a unir (sección rectangular, circular, compuesta, etc).
- Las exigencias de montaje (prefabricación, etc).
- Las exigencias estéticas.

4.2.3.1. Tipos de unión entre elementos de pequeñas escuadras: sistemas de entramado ligero

El elemento de unión, en el sistema de entramado ligero, suele ser de tipo clavija, especialmente, clavos, grapas y tirafondos; así como las placas y elementos metálicos como colgadores o escuadras (Tabla 0.36). La elección de las clavijas suele depender, además de los factores vistos anteriormente, de la separación exigida entre clavijas por la norma, de la existencia en fábrica o en obra de las herramientas adecuadas para dispensar las clavijas y la estética.

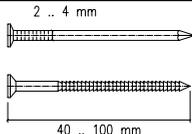
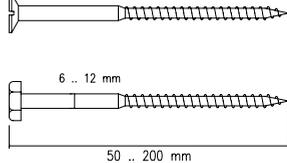
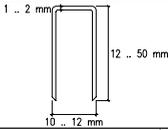
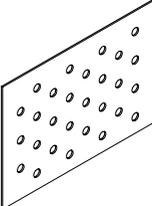
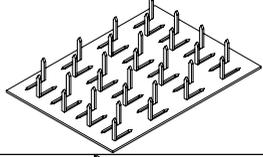
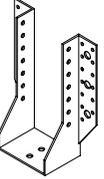
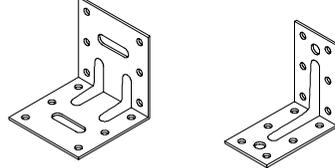
En el sistema de entramado ligero, las uniones no suelen estar expuestas al fuego.

Tabla 0.35. Diferenciación de las uniones según la geometría y el tipo de esfuerzo transmitido

Geometría de la unión	Tipo de esfuerzos			
	Compresión 	Tracción 	Cortante 	Flexión 
				
				
				

Fuente: Structures en bois aux états limites - Tome 1

Tabla 0.36. Clasificación de los elementos de unión para entramado ligero de madera.

Tipo de unión		Uso común	Tipo de clavija necesaria
Clavos		<ul style="list-style-type: none"> - Unión de dos o tres elementos de madera. - Unión de madera-tablero - Unión de madera-elementos metálicos 	
Clavijas		<ul style="list-style-type: none"> - Unión de dos o tres elementos de madera. - Unión de madera-tablero - Unión de madera-elementos metálicos 	
Grapas		<ul style="list-style-type: none"> - Unión de madera-tablero 	
Placas perforadas		<ul style="list-style-type: none"> - Unión de dos o tres elementos de madera. - Montaje de cerchas 	Clavos
Placas clavos		<ul style="list-style-type: none"> - Unión de dos o tres elementos de madera. - Montaje de cerchas (normalmente con ayuda de una prensa hidráulica) 	
Estribos		<ul style="list-style-type: none"> - Sujeción de elementos de forjado 	Clavos
Elementos metálicos		<ul style="list-style-type: none"> - Unión entre pilares y vigas y entre vigas y pares 	Clavos

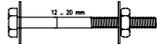
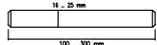
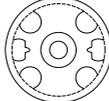
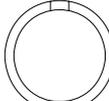
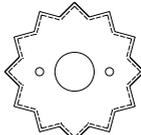
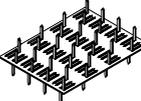
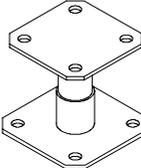
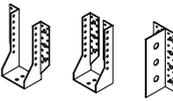
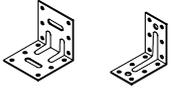
4.2.3.2. Tipos de unión entre elementos de grandes escudrias.

Para la unión de elementos estructurales de mayor sección se suelen emplear las uniones tradicionales y una mayor variedad de uniones metálicas.

a) **Uniones tradicionales.** La generalización de las máquinas de control numérico en los almacenes y fábricas de montaje de madera hacen cada día más usual este tipo de unión.

b) **Uniones mediante elementos metálicos.** Los elementos de unión más empleados vienen reflejados en la *Tabla 0.37*. La resistencia estructural de cada una de estas uniones suele facilitar el fabricante a través de los catálogos técnicos. En los Capítulos 4: Uniones y 5: Ejecución, control y mantenimiento, de esta Guía se profundizará en su descripción y condiciones de uso.

Tabla 0.37. Clasificación de los elementos de unión más empleados para unir elementos estructurales de grandes escuadrias.

Tipo de unión		Uso común	Características	
Clavijas	Pernos		<ul style="list-style-type: none"> - Unión entre dos o tres elementos. - Unión de viga con una articulación. - Unión de vigas secundarias suspendidas de una viga principal. - Unión de corona entre pilar y jácena. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se suele emplear como complemento del resto de los elementos de unión.
	Pasadores		<ul style="list-style-type: none"> - Unión de vigas secundarias suspendidas de una viga principal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se suele emplear como complemento de elementos metálicos.
Placas	Placas ⁽¹⁾		<ul style="list-style-type: none"> - Refuerzo de la unión entre elemento metálico y la madera (ejemplo pies de pilar y tensores metálicos) 	<ul style="list-style-type: none"> - La madera suele estar abrazada por dos elementos metálicos que trabajan conjuntamente gracias a pernos.
	Anillos	 	<ul style="list-style-type: none"> - Unión de dos o tres elementos de madera - Unión entre pilares y vigas o jácenas ⁽²⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - Adecuado para maderas densas y para fabricación en obra. - No adecuado si los dos elementos de unión forman un ángulo entre sí. - Requiere de una fresadora especial para la puesta en obra.
Conectores metálicos	1 cara ⁽¹⁾	 	<ul style="list-style-type: none"> - Refuerzo de los pies de pilar, tensores metálicos, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> - La madera suele estar abrazada por dos elementos metálicos que trabajan conjuntamente gracias a pernos. - Adecuado si los dos elementos de unión forman un ángulo entre sí. - No apto para maderas de más de 500 kg/m³ - Requiere de un importante dispositivo de prensa para la puesta en obra.
	Dentados	 	<ul style="list-style-type: none"> - Unión de dos o tres elementos de madera. - Unión entre vigas y pilares o jácenas ⁽²⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> - Adecuado si los dos elementos de unión forman un ángulo entre sí. - No apto para maderas de más de 500 kg/m³ - Requiere de un importante dispositivo de prensa para la puesta en obra.
	Placas de clavos		<ul style="list-style-type: none"> - Unión de elementos de una cercha (pueden presentarse visto o ocultos). - Suele emplearse para evita el desplazamiento de dos elementos unidos mediante uniones tradicionales. 	
Elementos metálicos	Pies de pilar		<ul style="list-style-type: none"> - Punto de unión entre el pilar o la jácena y el terreno. 	<p>Existe una gran variedad de soluciones dependiendo de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - si existe un soporte previo. - si el pilar va a estar sometido a cargas horizontales. - Si el nudo es articulado.
Elementos metálicos	Estribos		<ul style="list-style-type: none"> - Unión entre vigas y viguetas a una misma altura - Unión entre muros y vigas 	<p>Existe una gran variedad de colgadores. Se pueden clasificar en dos grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ocultos, Elemento estructural expuesto al incendio. - Visto, elemento estructural no expuesto al incendio.
	Escuadras		<ul style="list-style-type: none"> - Unión entre vigas y viguetas a alturas distintas - Unión entre pilares y vigas - Unión de la cercha o los pares a los muros 	

(1) Se requiere estudiar el comportamiento a cortante del perno

(2) En el caso de que la unión de una de las barras sea por testa, se requiere un perno especial (véase Capítulo 4: Uniones de estas publicaciones)

4.3. CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA LA RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y EJECUCIÓN DE EDIFICIOS EN MADERA

Existen requisitos básicos que hay que exigir a la madera en la recepción en obra y que se indican en el capítulo 5: Ejecución, control y mantenimiento de esta guía. A continuación se exponen los requisitos más importantes.

1. **Clase resistente del material.** La madera estructural debe que estar clasificada por su resistencia. Cada lote de madera debe venir acompañado de una documentación que acredite la resistencia del elemento. En esta clasificación han sido considerando los defectos que el elemento presenta (nudos, gemas, etc.).
2. **Humedad de equilibrio de la madera.** Un elemento de madera presenta una mayor estabilidad dimensional si es puesto en obra con un porcentaje de agua similar al del equilibrio para ese ambiente determinado. Según el DB SE-M, la madera maciza colocada al interior o al exterior protegido debe presentar un porcentaje de agua en el interior menor al 20% (25% para piezas de gruesa escuadría). La madera colocada en obra que no cumpla estos requisitos puede causar problemas como ataque de hongos xilófagos (especialmente si se utiliza directamente en soluciones poco ventiladas), merma de sección, aparición de fendas de secado, aparición de inestabilidades volumétricas de la pieza, etc.

En el caso de que se haya solicitado tableros estructurales se debe exigir la documentación que clasifique al tablero según el ambiente al que puede estar sometido y/o a las prestaciones estructurales exigidas.

Durante la puesta en obra y siempre que sea posible, la madera debe estar preservada del sol directo y de la humedad. La exposición directa al sol suele afectar sobre todo cuando el elemento de madera está expuesto de forma desigual, lo que puede llegar a generar zonas en donde la madera adquiera una coloración más oscura. La exposición a la humedad de madera insuficientemente protegida puede provocar un ataque por hongos cromógenos, que si bien no perjudican a las propiedades mecánicas del material, sí provocan un ennegrecimiento de la zona atacada.

Durante la ejecución hay que poner especial cuidado en:

1. **Puntos de condensación o acumulación de agua.** Evitar realizar cualquier variación sobre el proyecto original que pueda provocar la aparición de puntos de condensación o acumulación de agua en las inmediaciones o sobre la madera.
2. **Puntos de humedad por capilaridad del muro o del terreno.** Se debe evitar que la madera no tratada esté en contacto directo con muros expuestos a humedecimiento o con el terreno. Para evitarlo se deben emplear diseños constructivos y herrajes adecuados que permitan evitar dicho riesgo o, si fuera necesario, tratar la madera para clase de uso 3-2 ó 4, según proceda.

3. **Encuentros.** En los encuentros en madera hay que poner especial atención ya que en muchos casos, variaciones pequeñas sobre el proyecto original pueden provocar sollicitaciones a tracción perpendicular a las fibras. Dado que la madera es muy poco resistente a este tipo de sollicitación se deberán adoptar las precauciones adecuadas tendentes a evitar la aparición de tensiones de tracción no previstas en proyecto.

4. **La durabilidad de los elementos de unión.** El DB SE-M exige en estructuras al exterior el uso de elementos metálicos protegidos contra la corrosión. Hay que poner especial atención en que todos los elementos de clavija cumplan este requisito y que los elementos galvanizados no sean modificados en obra de forma que pueda quitarse, total o parcialmente, la protección contra la corrosión.

Se recomienda consultar el capítulo 5 de esta guía sobre "Ejecución, control y mantenimiento".

5. SISTEMA DE CERTIFICACIÓN DE PRODUCTOS CONSTRUCTIVOS DE MADERA O DERIVADOS: EL MARCADO CE

El marcado CE es el símbolo de conformidad de determinados productos con la legislación de armonización técnica europea. Su principal objetivo es declarar la conformidad del producto con todos los requisitos comunitarios impuestos al fabricante por las Directivas del marcado CE. La Directiva 89/106/CEE "Productos de Construcción" establece que para poder circular en el mercado comunitario los productos de construcción que han acreditado su idoneidad deberán llevar obligatoriamente el marcado CE.

Esta directiva se aplica a los productos de construcción, es decir, los productos destinados a incorporarse permanentemente a las obras de construcción. Los productos de construcción sólo podrán comercializarse si son idóneos para el uso al que se destinan. A este respecto, deberán permitir la construcción de obras que cumplan, durante un período de vida económicamente razonable, los requisitos esenciales en materia de resistencia mecánica y estabilidad, seguridad en caso de incendio, higiene, salud y medio ambiente, seguridad de utilización, protección contra el ruido, ahorro energético y aislamiento térmico.

Los requisitos esenciales se concretarán en primer lugar mediante documentos interpretativos elaborados por comités técnicos para, a continuación, desarrollarse en forma de especificaciones técnicas, que pueden ser:

1. Normas armonizadas europeas adoptadas por los organismos europeos de normalización (CEN o CENELEC) con arreglo a mandatos de la Comisión y previa consulta del Comité Permanente de Construcción.
2. Documentos de idoneidad técnica europea (DITE) que valoren la adecuación de un producto para su uso. Se aplican en los casos para los cuales no existen ni una norma armonizada, ni una norma nacional reconocida, ni un mandato de norma europea y con respecto a los cuales la Comisión considere, previa consulta a los Estados miembros en el seno del Comité Permanente de Construcción, que no se puede - o que todavía no se debe- elaborar una norma. Para facilitar esta tarea, el organismo European Organisation of Technical Approvals (EOTA), que reúne a los organismos nacionales autorizados, puede elaborar guías de documentos de idoneidad técnica europeos (ETAG) de un producto o familia de productos de construcción por mandato de la Comisión y previa consulta del Comité Permanente de Construcción.

En tanto no se disponga de una norma europea armonizada o

de la guía del documento de idoneidad técnica europea, los productos podrán seguir evaluándose y comercializándose según las disposiciones nacionales existentes conformes a los requisitos esenciales.

Los niveles de conformidad de los productos son; 4, 3, 2, 2+ y 1, y se fijan según los factores de seguridad y de comportamiento al fuego. Estos niveles son los siguientes:

- **Nivel 1:** Por parte del fabricante: control de la producción y ensayos de muestras tomadas de acuerdo con un plan preestablecido. Por parte de un organismo autorizado: ensayo inicial de tipo, inspección y control de producción. Eventualmente, ensayos por sondeo en fábrica, en mercado u obra.
- **Nivel 2+:** Por parte del fabricante: ensayo inicial de tipo en el laboratorio de la fábrica, control de producción en fábrica y eventualmente ensayo de muestras por el fabricante con un plan preestablecido. Por parte de un organismo autorizado: certificación en base a una inspección inicial y control de producción. Eventualmente, evaluación del control de la producción.
- **Nivel 2:** Por parte del fabricante: igual al sistema 2+. Por parte de un organismo autorizado: certificación en base a una inspección inicial de la fábrica y control de producción.
- **Nivel 3:** Por parte del fabricante: control de producción en fábrica. Por parte de un organismo autorizado: ensayo inicial de tipo.
- **Nivel 4:** Por parte del fabricante: ensayo inicial de tipo por el fabricante y control de producción.

Tabla 0.38. Mercado CE para productos de madera o derivados, plazo de obligatoriedad y nivel de verificación de la conformidad

Familia de productos	Producto	Norma o ETAG	Plazo del Mercado CE obligatorio	Nivel de verificación de la conformidad.			
Estructuras	Madera aserrada estructural	EN 14081	01/09/07	1			
	Madera laminada encolada	EN 14080	01/09/07	1			
	Madera microlaminada (LVL)	EN 14347	01/09/06	1			
	Cerchas prefabricada con placas	EN 14250	01/09/06	2+			
	Tableros	EN 13986.02	01/04/04	1 (F) y 2+ (F+E)			
		EN 13986.04	01/06/06	3 y 4 (no E)			
	Casa de entramado ligero en kit	ETAG 007	- /05/04	1			
	Casa de troncos en kit	ETAG 012	25/02/05	1			
	Escalera prefabricada en kit	ETAG 008	16/10/04	1 reacción al fuego alta			
				3 reacción al fuego normal			
				4 no requiere ensayos de fuego			
				Vigas y columnas compuestas	ETAG 011	16/10/04	1
				Placa de clavos tridimensionales	ETAG 015	- /08/07	2+
				Paneles sándwich autoportantes o de cerramiento	ETAG 016-2	- /11/06	1 reacción al fuego alta
3 reacción al fuego normal							
4 no requiere ensayos de fuego							
Paneles sándwich estructurales	ETAG 019	25/01/07	1				
Carpintería	Recubiertos laminados	EN 14.041:04	01/01/07	1 F			
				2 especiales			
				3 normales			
	Suelos	EN 14.342	01/03/08	3 F			
				4 normales			
	Puertas	EN 14.351-1	31/12/08	1 F			
				2 especiales			
				3 normales			
				Ventanas normales	EN 14.351-1	31/12/08	3 normales
				Ventanas de tejado	EN 14.351-1	31/12/08	1 F
2 especiales							
3 normales							

F Fuego

E Estructurales

En la *Tabla 0.38.* se presentan los productos, el plazo para la obtención del mercado CE obligatorio y el nivel de conformidad.

Además del mercado CE, existen en el mercado sellos de calidad y sistemas de certificación voluntarios que precisamente por su carácter voluntario no pueden ser impuestos por las administraciones.

Las certificaciones de gestión forestal y de cadena de custodia que exhiben algunos productos de la madera guardan exclusivamente relación con las fuentes de suministro del material y no con su calidad ni adecuación al uso.

RELACIÓN DE NORMAS MENCIONADAS EN EL PRESENTE TEXTO

UNE-EN 350-2: 1995	Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza.
UNE-EN 636: 2004	Tableros contrachapados. Especificaciones.
UNE-EN 13986: 2006.	Tableros derivados de la madera para utilización en construcción. Características, evaluación de la conformidad y marcado.
UNE-EN 14041:2005	Recubrimientos de suelos resilientes, textiles y laminados
UNE-EN 14080: 2006	Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Requisitos
UNE-EN 14081-1:2006	Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales.
UNE-EN 14250: 2005	Estructuras de madera – Requisitos de producto para vigas reticuladas prefabricadas que utilizan fijadores de láminas de metal
UNE-EN 14342: 2006	Suelos de madera. Características, evaluación de conformidad y marcado.
UNE-EN 14347: 2005	Antisépticos y desinfectantes químicos. Actividad esporicida básica. Método de ensayo y requisitos
UNE-EN 14351-1: 2006	Ventanas y puertas peatonales exteriores. Norma de producto, características de prestación.
ETAG 007: 2001	Timber frame building kits
ETAG 008: 2002	Prefabricated stair kits in general (excluding severe climatic conditions)
ETAG 011: 2002	Light composite wood-based beams and columns
ETAG 012: 2002	Log Building Kits
ETAG 015: 2002	Three Dimensional Nailing Plates
ETAG 16-2: 2004	Composite Light Weight Panels
ETAG 19: 2005	Pre-fabricated wood-based loadbearing stressed skin panels Parte 1: Especificaciones del tablero contrachapado para uso en ambiente seco. Parte 1: Ventanas y puertas peatonales exteriores sin características de resistencia al fuego y/o control de fugas de humo. Parte 2: Especificaciones del tablero contrachapado para uso en ambiente húmedo. Parte 2: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionada por su importancia en Europa Parte 3: Especificaciones del tablero contrachapado para uso en exterior.
Real Decreto 110/2008	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 resistencia frente al fuego.
Real Decreto 312/2005	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 resistencia frente al fuego. Modificado por el RD 110/2008



ANEXO A - Tablas de cálculo para vigas biapoyadas

Las Tablas de cálculo se han realizado para vigas biapoyadas de madera laminada encolada GL24h.

Las acciones consideradas son:

1- En el caso de cubierta: 1) Carga permanente de 1 kN/m² + peso propio de la viga; 2) carga de nieve de 0,7 kN/m²; 3) carga de viento de 0,4 kN/m² y 4) sobrecarga de mantenimiento de 0,4 kN/m². Las flechas relativas consideradas son: 1) Confort de los usuarios 1/350 y 1) Apariencia en obra 1/300.

2- En el caso de forjados: 1) Carga permanente de 0,8 kN/m² + peso del tabique de 0,8 kN/m² + peso propio de la viga y 2) un sobrecarga de uso variable, según indica el enunciado de cada tabla. Las flechas relativas consideradas son: 1) integridad de los elementos constructivos 1/400. 2) Confort de los usuarios 1/350 y 3) Apariencia en obra 1/300.

Las tablas identifican el factor limitante de la viga de la siguiente forma:

0,00

Cuando el factor limitante es la deformación

0,00

Cuando el fallo es por agotamiento de la sección en condiciones de fatiga.

(0,00)

Cuando la sección se agota por pandeo lateral en condiciones de incendio. Si la viga estuviera arriostrada por un elemento que mantuviera su capacidad portante durante un tiempo igual o superior a la que se está estudiando, entonces no se tendría en consideración esta inestabilidad.

Tabla A.2.- Luz máxima permitida (m) en vigas de forjado en función del canto (h), del espesor (b), del interje (d) y de la capacidad portante del material en condiciones de incendio.
Sobrecarga de uso de 2 kN/m². Ejemplos de utilización: Edificios residenciales y zonas administrativas, excepto trasteros.

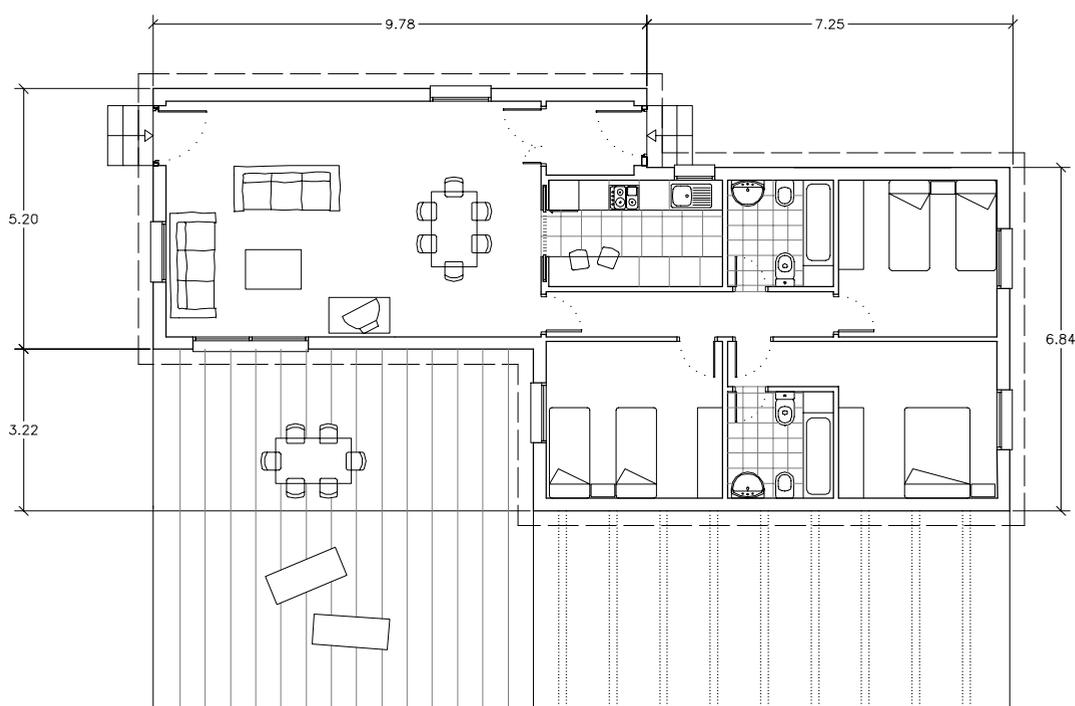
b(cm)	Canto (cm)																															
	12			16			20			24			28			32			36			40			48							
	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90					
CAPACIDAD PORTANTE EN SITUACIÓN DE INCENDIO																																
8	60	2,13 (2,00)	2,84 (2,45)	-	3,55 (2,64)	-	4,26 (2,66)	-	4,97 (2,66)	-	5,68 (2,66)	-	6,39 (2,66)	-	7,10 (2,66)	-	7,81 (2,66)	-	8,52 (2,66)	-	9,23 (2,66)	-	9,94 (2,66)	-	10,65 (2,66)	-	11,36 (2,66)	-	12,07 (2,66)	-		
	80	1,93 (1,80)	2,574 (2,22)	-	3,218 (2,44)	-	3,862 (2,49)	-	4,506 (2,49)	-	5,150 (2,49)	-	5,794 (2,49)	-	6,438 (2,49)	-	7,082 (2,49)	-	7,726 (2,49)	-	8,370 (2,49)	-	9,014 (2,49)	-	9,658 (2,49)	-	10,302 (2,49)	-	10,946 (2,49)	-		
	120	1,68 (1,54)	2,24 (1,92)	-	2,8 (2,14)	-	3,36 (2,45)	-	3,92 (2,45)	-	4,48 (2,45)	-	5,04 (2,45)	-	5,60 (2,45)	-	6,16 (2,45)	-	6,72 (2,45)	-	7,28 (2,45)	-	7,84 (2,45)	-	8,40 (2,45)	-	8,96 (2,45)	-	9,52 (2,45)	-	10,08 (2,45)	-
	60	2,30	3,06	-	3,82	-	4,58	-	5,34	-	6,10	-	6,86	-	7,62	-	8,38	-	9,14	-	9,90	-	10,66	-	11,42	-	12,18	-	12,94	-		
10	80	2,09	2,78	-	3,47	-	4,16	-	4,85	-	5,54	-	6,23	-	6,92	-	7,61	-	8,30	-	8,99	-	9,68	-	10,37	-	11,06	-	11,75	-		
	120	1,82	2,42	-	3,02	-	3,62	-	4,22	-	4,82	-	5,42	-	6,02	-	6,62	-	7,22	-	7,82	-	8,42	-	9,02	-	9,62	-	10,22	-		
	160	1,55	2,15	-	2,75	-	3,35	-	3,95	-	4,55	-	5,15	-	5,75	-	6,35	-	6,95	-	7,55	-	8,15	-	8,75	-	9,35	-	9,95	-		
	240	1,42	1,89	-	2,36	-	2,83	-	3,30	-	3,77	-	4,24	-	4,71	-	5,18	-	5,65	-	6,12	-	6,59	-	7,06	-	7,53	-	8,00	-		
12	80	2,22	1,46 (1,41)	2,95 (1,90)	3,68 (2,18)	4,41 (2,28)	5,14 (2,26)	5,87 (2,17)	6,60 (2,04)	7,33 (1,90)	8,06 (1,77)	8,79 (1,63)	9,52 (1,50)	10,25 (1,37)	10,98 (1,24)	11,71 (1,11)	12,44 (0,98)	13,17 (0,85)	13,90 (0,72)	14,63 (0,59)	15,36 (0,46)	16,09 (0,33)	16,82 (0,20)	17,55 (0,07)	18,28 (-0,06)	19,01 (-0,19)	19,74 (-0,32)	20,47 (-0,45)	21,20 (-0,58)			
	120	1,93	1,19 (1,63)	2,57 (1,88)	3,21 (1,88)	3,85 (2,05)	4,49 (2,08)	5,13 (2,03)	5,77 (1,94)	6,41 (1,83)	7,05 (1,72)	7,69 (1,60)	8,33 (1,48)	8,97 (1,36)	9,61 (1,24)	10,25 (1,12)	10,89 (1,00)	11,53 (0,88)	12,17 (0,76)	12,81 (0,64)	13,45 (0,52)	14,09 (0,40)	14,73 (0,28)	15,37 (0,16)	16,01 (0,04)	16,65 (-0,08)	17,29 (-0,20)	17,93 (-0,32)	18,57 (-0,44)			
	160	1,68	0,85 (1,24)	2,02 (1,04)	2,52 (1,49)	3,02 (1,65)	3,52 (1,74)	4,02 (1,76)	4,52 (1,73)	5,02 (1,68)	5,52 (1,63)	6,02 (1,58)	6,52 (1,53)	7,02 (1,48)	7,52 (1,43)	8,02 (1,38)	8,52 (1,33)	9,02 (1,28)	9,52 (1,23)	10,02 (1,18)	10,52 (1,13)	11,02 (1,08)	11,52 (1,03)	12,02 (0,98)	12,52 (0,93)	13,02 (0,88)	13,52 (0,83)	14,02 (0,78)	14,52 (0,73)			
	240	1,31	0,69 (1,04)	1,75 (1,04)	2,19 (1,28)	2,62 (1,44)	3,06 (1,54)	3,50 (1,59)	3,94 (1,59)	4,38 (1,54)	4,82 (1,49)	5,26 (1,44)	5,70 (1,39)	6,14 (1,34)	6,58 (1,29)	7,02 (1,24)	7,46 (1,19)	7,90 (1,14)	8,34 (1,09)	8,78 (1,04)	9,22 (0,99)	9,66 (0,94)	10,10 (0,89)	10,54 (0,84)	10,98 (0,79)	11,42 (0,74)	11,86 (0,69)	12,30 (0,64)	12,74 (0,59)			
14	120	2,72	2,58	3,39	4,06	4,73	5,40	6,07	6,74	7,41	8,08	8,75	9,42	10,09	10,76	11,43	12,10	12,77	13,44	14,11	14,78	15,45	16,12	16,79	17,46	18,13	18,80	19,47	20,14			
	160	2,49	2,49	3,20	3,73	4,26	4,79	5,32	5,85	6,38	6,91	7,44	7,97	8,50	9,03	9,56	10,09	10,62	11,15	11,68	12,21	12,74	13,27	13,80	14,33	14,86	15,39	15,92	16,45			
	200	2,26	2,26	2,97	3,50	4,03	4,56	5,09	5,62	6,15	6,68	7,21	7,74	8,27	8,80	9,33	9,86	10,39	10,92	11,45	11,98	12,51	13,04	13,57	14,10	14,63	15,16	15,69	16,22			
	240	2,03	2,03	2,74	3,27	3,80	4,33	4,86	5,39	5,92	6,45	6,98	7,51	8,04	8,57	9,10	9,63	10,16	10,69	11,22	11,75	12,28	12,81	13,34	13,87	14,40	14,93	15,46	15,99			
16	120	2,84	2,84	3,54	4,25	4,95	5,65	6,35	7,05	7,75	8,45	9,15	9,85	10,55	11,25	11,95	12,65	13,35	14,05	14,75	15,45	16,15	16,85	17,55	18,25	18,95	19,65	20,35	21,05			
	160	2,61	2,61	3,32	3,85	4,38	4,91	5,44	5,97	6,50	7,03	7,56	8,09	8,62	9,15	9,68	10,21	10,74	11,27	11,80	12,33	12,86	13,39	13,92	14,45	14,98	15,51	16,04	16,57			
	200	2,38	2,38	3,09	3,62	4,15	4,68	5,21	5,74	6,27	6,80	7,33	7,86	8,39	8,92	9,45	9,98	10,51	11,04	11,57	12,10	12,63	13,16	13,69	14,22	14,75	15,28	15,81	16,34			
	240	2,15	2,15	2,86	3,39	3,92	4,45	4,98	5,51	6,04	6,57	7,10	7,63	8,16	8,69	9,22	9,75	10,28	10,81	11,34	11,87	12,40	12,93	13,46	13,99	14,52	15,05	15,58	16,11			
18	120	3,01	3,01	3,71	4,42	5,13	5,84	6,55	7,26	7,97	8,68	9,39	10,10	10,81	11,52	12,23	12,94	13,65	14,36	15,07	15,78	16,49	17,20	17,91	18,62	19,33	20,04	20,75	21,46			
	160	2,78	2,78	3,49	4,02	4,55	5,08	5,61	6,14	6,67	7,20	7,73	8,26	8,79	9,32	9,85	10,38	10,91	11,44	11,97	12,50	13,03	13,56	14,09	14,62	15,15	15,68	16,21	16,74			
	200	2,55	2,55	3,26	3,79	4,32	4,85	5,38	5,91	6,44	6,97	7,50	8,03	8,56	9,09	9,62	10,15	10,68	11,21	11,74	12,27	12,80	13,33	13,86	14,39	14,92	15,45	15,98	16,51			
	240	2,32	2,32	3,03	3,56	4,09	4,62	5,15	5,68	6,21	6,74	7,27	7,80	8,33	8,86	9,39	9,92	10,45	10,98	11,51	12,04	12,57	13,10	13,63	14,16	14,69	15,22	15,75	16,28			
20	120	3,18	3,18	3,88	4,59	5,30	6,01	6,72	7,43	8,14	8,85	9,56	10,27	10,98	11,69	12,40	13,11	13,82	14,53	15,24	15,95	16,66	17,37	18,08	18,79	19,50	20,21	20,92	21,63			
	160	2,95	2,95	3,66	4,19	4,72	5,25	5,78	6,31	6,84	7,37	7,90	8,43	8,96	9,49	10,02	10,55	11,08	11,61	12,14	12,67	13,20	13,73	14,26	14,79	15,32	15,85	16,38				
	200	2,72	2,72	3,43	3,96	4,49	5,02	5,55	6,08	6,61	7,14	7,67	8,20	8,73	9,26	9,79	10,32	10,85	11,38	11,91	12,44	12,97	13,50	14,03	14,56	15,09	15,62	16,15	16,68			
	240	2,49	2,49	3,20	3,73	4,26	4,79	5,32	5,85	6,38	6,91	7,44	7,97	8,50	9,03	9,56	10,09	10,62	11,15	11,68	12,21	12,74	13,27	13,80	14,33	14,86	15,39	15,92	16,45			

Tabla A.5.- Luz máxima permitida (m) en vigas de forjado en función del canto (h), del espesor (b), del interje (d) y de la capacidad portante del material en condiciones de incendio.
Sobrecarga de uso de 5 kN/m². Ejemplos de utilización: Edificios de acceso al público excepto zona de mesas o sillas o Zona de asientos fijos en edificios de acceso al público

interje b(cm)		Canto (cm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		12						16						20						24						28						32						36						40						48																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90	R30	R60	R90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
8	60	1,64 (1,56)	-	2,30 (1,98)	-	2,87 (2,20)	-	3,45 (2,57)	-	4,03 (3,12)	-	4,61 (3,50)	-	5,19 (4,08)	-	5,77 (4,56)	-	6,35 (5,04)	-	6,93 (5,52)	-	7,51 (6,00)	-	8,09 (6,48)	-	8,67 (6,86)	-	9,25 (7,44)	-	9,83 (8,02)	-	10,41 (8,60)	-	10,99 (9,18)	-	11,57 (9,76)	-	12,15 (10,34)	-	12,73 (10,92)	-	13,31 (11,50)	-	13,89 (12,08)	-	14,47 (12,66)	-	15,05 (13,24)	-	15,63 (13,82)	-	16,21 (14,40)	-	16,79 (15,00)	-	17,37 (15,60)	-	17,95 (16,20)	-	18,53 (16,80)	-	19,11 (17,40)	-	19,69 (18,00)	-	20,27 (18,60)	-	20,85 (19,20)	-	21,43 (19,80)	-	22,01 (20,40)	-	22,59 (21,00)	-	23,17 (21,60)	-	23,75 (22,20)	-	24,33 (22,80)	-	24,91 (23,40)	-	25,49 (24,00)	-	26,07 (24,60)	-	26,65 (25,20)	-	27,23 (25,80)	-	27,81 (26,40)	-	28,39 (27,00)	-	28,97 (27,60)	-	29,55 (28,20)	-	30,13 (28,80)	-	30,71 (29,40)	-	31,29 (30,00)	-	31,87 (30,60)	-	32,45 (31,20)	-	33,03 (31,80)	-	33,61 (32,40)	-	34,19 (33,00)	-	34,77 (33,60)	-	35,35 (34,20)	-	35,93 (34,80)	-	36,51 (35,40)	-	37,09 (36,00)	-	37,67 (36,60)	-	38,25 (37,20)	-	38,83 (37,80)	-	39,41 (38,40)	-	40,00 (39,00)	-	40,58 (39,60)	-	41,16 (40,20)	-	41,74 (40,80)	-	42,32 (41,40)	-	42,90 (42,00)	-	43,48 (42,60)	-	44,06 (43,20)	-	44,64 (43,80)	-	45,22 (44,40)	-	45,80 (45,00)	-	46,38 (45,60)	-	46,96 (46,20)	-	47,54 (46,80)	-	48,12 (47,40)	-	48,70 (48,00)	-	49,28 (48,60)	-	49,86 (49,20)	-	50,44 (49,80)	-	51,02 (50,40)	-	51,60 (51,00)	-	52,18 (51,60)	-	52,76 (52,20)	-	53,34 (52,80)	-	53,92 (53,40)	-	54,50 (54,00)	-	55,08 (54,60)	-	55,66 (55,20)	-	56,24 (55,80)	-	56,82 (56,40)	-	57,40 (57,00)	-	57,98 (57,60)	-	58,56 (58,20)	-	59,14 (58,80)	-	59,72 (59,40)	-	60,30 (60,00)	-	60,88 (60,60)	-	61,46 (61,20)	-	62,04 (61,80)	-	62,62 (62,40)	-	63,20 (63,00)	-	63,78 (63,60)	-	64,36 (64,20)	-	64,94 (64,80)	-	65,52 (65,40)	-	66,10 (66,00)	-	66,68 (66,60)	-	67,26 (67,20)	-	67,84 (67,80)	-	68,42 (68,40)	-	69,00 (69,00)	-	69,58 (69,60)	-	70,16 (70,20)	-	70,74 (70,80)	-	71,32 (71,40)	-	71,90 (72,00)	-	72,48 (72,60)	-	73,06 (73,20)	-	73,64 (73,80)	-	74,22 (74,40)	-	74,80 (75,00)	-	75,38 (75,60)	-	75,96 (76,20)	-	76,54 (76,80)	-	77,12 (77,40)	-	77,70 (78,00)	-	78,28 (78,60)	-	78,86 (79,20)	-	79,44 (79,80)	-	80,02 (80,40)	-	80,60 (81,00)	-	81,18 (81,60)	-	81,76 (82,20)	-	82,34 (82,80)	-	82,92 (83,40)	-	83,50 (84,00)	-	84,08 (84,60)	-	84,66 (85,20)	-	85,24 (85,80)	-	85,82 (86,40)	-	86,40 (87,00)	-	86,98 (87,60)	-	87,56 (88,20)	-	88,14 (88,80)	-	88,72 (89,40)	-	89,30 (90,00)	-	89,88 (90,60)	-	90,46 (91,20)	-	91,04 (91,80)	-	91,62 (92,40)	-	92,20 (93,00)	-	92,78 (93,60)	-	93,36 (94,20)	-	93,94 (94,80)	-	94,52 (95,40)	-	95,10 (96,00)	-	95,68 (96,60)	-	96,26 (97,20)	-	96,84 (97,80)	-	97,42 (98,40)	-	98,00 (99,00)	-	98,58 (99,60)	-	99,16 (100,20)	-	99,74 (100,80)	-	100,32 (101,40)	-	100,90 (102,00)	-	101,48 (102,60)	-	102,06 (103,20)	-	102,64 (103,80)	-	103,22 (104,40)	-	103,80 (105,00)	-	104,38 (105,60)	-	104,96 (106,20)	-	105,54 (106,80)	-	106,12 (107,40)	-	106,70 (108,00)	-	107,28 (108,60)	-	107,86 (109,20)	-	108,44 (109,80)	-	109,02 (110,40)	-	109,60 (111,00)	-	110,18 (111,60)	-	110,76 (112,20)	-	111,34 (112,80)	-	111,92 (113,40)	-	112,50 (114,00)	-	113,08 (114,60)	-	113,66 (115,20)	-	114,24 (115,80)	-	114,82 (116,40)	-	115,40 (117,00)	-	115,98 (117,60)	-	116,56 (118,20)	-	117,14 (118,80)	-	117,72 (119,40)	-	118,30 (120,00)	-	118,88 (120,60)	-	119,46 (121,20)	-	120,04 (121,80)	-	120,62 (122,40)	-	121,20 (123,00)	-	121,78 (123,60)	-	122,36 (124,20)	-	122,94 (124,80)	-	123,52 (125,40)	-	124,10 (126,00)	-	124,68 (126,60)	-	125,26 (127,20)	-	125,84 (127,80)	-	126,42 (128,40)	-	127,00 (129,00)	-	127,58 (129,60)	-	128,16 (130,20)	-	128,74 (130,80)	-	129,32 (131,40)	-	129,90 (132,00)	-	130,48 (132,60)	-	131,06 (133,20)	-	131,64 (133,80)	-	132,22 (134,40)	-	132,80 (135,00)	-	133,38 (135,60)	-	133,96 (136,20)	-	134,54 (136,80)	-	135,12 (137,40)	-	135,70 (138,00)	-	136,28 (138,60)	-	136,86 (139,20)	-	137,44 (139,80)	-	138,02 (140,40)	-	138,60 (141,00)	-	139,18 (141,60)	-	139,76 (142,20)	-	140,34 (142,80)	-	140,92 (143,40)	-	141,50 (144,00)	-	142,08 (144,60)	-	142,66 (145,20)	-	143,24 (145,80)	-	143,82 (146,40)	-	144,40 (147,00)	-	144,98 (147,60)	-	145,56 (148,20)	-	146,14 (148,80)	-	146,72 (149,40)	-	147,30 (150,00)	-	147,88 (150,60)	-	148,46 (151,20)	-	149,04 (151,80)	-	149,62 (152,40)	-	150,20 (153,00)	-	150,78 (153,60)	-	151,36 (154,20)	-	151,94 (154,80)	-	152,52 (155,40)	-	153,10 (156,00)	-	153,68 (156,60)	-	154,26 (157,20)	-	154,84 (157,80)	-	155,42 (158,40)	-	156,00 (159,00)	-	156,58 (159,60)	-	157,16 (160,20)	-	157,74 (160,80)	-	158,32 (161,40)	-	158,90 (162,00)	-	159,48 (162,60)	-	160,06 (163,20)	-	160,64 (163,80)	-	161,22 (164,40)	-	161,80 (165,00)	-	162,38 (165,60)	-	162,96 (166,20)	-	163,54 (166,80)	-	164,12 (167,40)	-	164,70 (168,00)	-	165,28 (168,60)	-	165,86 (169,20)	-	166,44 (169,80)	-	167,02 (170,40)	-	167,60 (171,00)	-	168,18 (171,60)	-	168,76 (172,20)	-	169,34 (172,80)	-	169,92 (173,40)	-	170,50 (174,00)	-	171,08 (174,60)	-	171,66 (175,20)	-	172,24 (175,80)	-	172,82 (176,40)	-	173,40 (177,00)	-	173,98 (177,60)	-	174,56 (178,20)	-	175,14 (178,80)	-	175,72 (179,40)	-	176,30 (180,00)	-	176,88 (180,60)	-	177,46 (181,20)	-	178,04 (181,80)	-	178,62 (182,40)	-	179,20 (183,00)	-	179,78 (183,60)	-	180,36 (184,20)	-	180,94 (184,80)	-	181,52 (185,40)	-	182,10 (186,00)	-	182,68 (186,60)	-	183,26 (187,20)	-	183,84 (187,80)	-	184,42 (188,40)	-	185,00 (189,00)	-	185,58 (189,60)	-	186,16 (190,20)	-	186,74 (190,80)	-	187,32 (191,40)	-	187,90 (192,00)	-	188,48 (192,60)	-	189,06 (193,20)	-	189,64 (193,80)	-	190,22 (194,40)	-	190,80 (195,00)	-	191,38 (195,60)	-	191,96 (196,20)	-	192,54 (196,80)	-	193,12 (197,40)	-	193,70 (198,00)	-	194,28 (198,60)	-	194,86 (199,20)	-	195,44 (199,80)	-	196,02 (200,40)	-	196,60 (201,00)	-	197,18 (201,60)	-	197,76 (202,20)	-	198,34 (202,80)	-	198,92 (203,40)	-	199,50 (204,00)	-	200,08 (204,60)	-	200,66 (205,20)	-	201,24 (205,80)	-	201,82 (206,40)	-	202,40 (207,00)	-	202,98 (207,60)	-	203,56 (208,20)	-	204,14 (208,80)	-	204,72 (209,40)	-	205,30 (210,00)	-	205,88 (210,60)	-	206,46 (211,20)	-	207,04 (211,80)	-	207,62 (212,40)	-	208,20 (213,00)	-	208,78 (213,60)	-	209,36 (214,20)	-	209,94 (214,80)	-	210,52 (215,40)	-	211,10 (216,00)	-	211,68 (216,60)	-	212,26 (217,20)	-	212,84 (217,80)	-	213,42 (218,40)	-	214,00 (219,00)	-	214,58 (219,60)	-	215,16 (220,20)	-	215,74 (220,80)	-	216,32 (221,40)	-	216,90 (222,00)	-	217,48 (222,60)	-	218,06 (223,20)	-	218,64 (223,80)	-	219,22 (224,40)	-	219,80 (225,00)	-	220,38 (225,60)	-	220,96 (226,20)	-	221,54 (226,80)	-	222,12 (227,40)	-	222,70 (228,00)	-	223,28 (228,60)	-	223,86 (229,20)	-	224,44 (229,80)	-	225,02 (230,40)	-	225,60 (231,00)	-	226,18 (231,60)	-	226,76 (232,20)	-	227,34 (232,80)	-	227,92 (233,40)	-	228,50 (234,00)	-	229,08 (234,60)	-	229,66 (235,20)	-	230,24 (235,80)	-	230,82 (236,40)	-	231,40 (237,00)	-	231,98 (237,60)	-	232,56 (238,20)	-	233,14 (238,80)	-	233,72 (239,40)	-	234,30 (240,00)	-	234,88 (240,60)	-	235,46 (241,20)	-	236,04 (241,80)	-	236,62 (242,40)	-	237,20 (243,00)	-	237,78 (243,60)	-	238,36 (244,20)	-	238,94 (244,80)	-	239,52 (245,40)	-	240,10 (246,00)	-	240,68 (246,60)	-	241,26 (247,20)	-	241,84 (247,80)	-	242,42 (248,40)	-	243,00 (249,00)	-	243,58 (249,60)	-	244,16 (250,20)	-	244,74 (250,80)	-	245,32 (251,40)	-	245,90 (252,00)	-	246,48 (252,60)	-	247,06 (253,20)	-	247,64 (253,80)	-	248,22 (254,40)	-	248,80 (255,00)	-	249,38 (255,60)	-	249,96 (256,20)	-	250,54 (256,80)	-	251,12 (257,40)	-	251,70 (258,00)	-	252,28 (258,60)	-	252,86 (259,20)	-	253,44 (259,80)	-	254,02 (260,40)	-	254,60 (261,00)	-	255,18 (261,60)	-	255,76 (262,20)	-	256,34 (262,80)	-	256,92 (263,40)	-	257,50 (264,00)	-	258,08 (264,60)	-	258,66 (265,20)	-	259,24 (265,80)	-	259,82 (266,40)	-	260,40 (267,00)	-	260,98 (267,60)	-	261,

ANEXO B.- Ejemplo de un proyecto en madera

Figura B.1: Planta de la vivienda



B.1. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Se trata de una vivienda unifamiliar aislada de tres dormitorios situada en Salamanca.

La solución estructural se plantea con elementos de madera. El sistema elegido es entramado ligero excepto en la cubierta del salón, en donde se quiere que la madera vaya vista, por lo que se plantea colocar viguetas vistas de mayores escuadrías.

B.2. EXIGENCIAS QUE DEBE CUMPLIR EL EDIFICIO

B.2.1. Reacción al fuego

Propagación interior: Al ser una vivienda, el DB SI no exige

una determinada clase de reacción al fuego de los revestimientos interiores (Tabla 0.12.).

Propagación exterior: No hay exigencia ya que las fachadas no son de acceso público.

B.2.2. Resistencia al fuego

La capacidad portante exigida a los elementos principales de una vivienda unifamiliar de menos de 15 m de altura de evacuación es R30, excepto en el caso del forjado sanitario en donde no existe exigencia. Esto es debido a que en los forjados, se considera la acción de incendio situada en su cara inferior, en el caso del forjado sanitario, está cara es exterior a la vivienda (Tabla 0.14.).

Los elementos secundarios de esta estructura no tienen requerimiento de capacidad portante (*Tabla 0.14.*). Esto es debido a que al colapsar no pueden ocasionar daños personales o comprometer la estabilidad global o evacuación del edificio

B.2.3. Comportamiento acústico

El edificio se sitúa en una zona residencial que no dispone de mapa de ruido, por lo que se adopta un índice de ruido día L_d de 60 dBA, lo que implica según la *Tabla 0.20* una exigencia de aislamiento a ruido aéreo entre recintos protegidos y el exterior de 30 dBA.

B.2.4. Comportamiento térmico y ahorro de energía

Se considera que el edificio se encuentra en Salamanca. En el apéndice D del documento DB HE, se clasifica a esta provincia en la zona climática D2. La temperatura y humedad relativa media en el mes de enero de 3,7°C y 85% respectivamente (Apéndice G del DB HE).

Para la zona D2 las transmitancias límites son las siguientes: Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno (*Tabla 0.26.*): $U_{Mlim}=0,66 \text{ W/m}^2\text{K}$ y la transmitancia límite de cubiertas: $U_{Clim}=0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$

B.2.5. Comportamiento en relación con la salubridad

Para obtener el grado de impermeabilidad exigido, debe obtenerse en primer lugar el grado de exposición al viento. En este caso nos encontramos en una clase de entorno E0, zona eólica A y altura del edificio inferior a 15m. Con estos datos a partir de la *Tabla 0.31.* se obtiene un grado de exposición al viento V2. Para obtener el grado de impermeabilidad exigido también es necesario conocer la zona pluviométrica de promedios en la que se encuentra el edificio a partir del mapa de la *Figura 0.14.*, que en nuestro caso es la zona IV. A partir de la *Tabla 0.32.* con estos datos se obtiene un grado impermeabilidad exigido de 3.

B.3. PREDIMENSIONADO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y ELECCIÓN DE LOS MATERIALES Y ESPESORES REQUERIDOS.

B.3.1. Entramado de muro

La altura de la vivienda es de 2,5 m, excepto en algunos muros exteriores, que por requerimientos de la cubierta, es igual a 2,5+0,85m. Se elige, para el entramado de muro, viguetas de madera maciza C24 de espesores de 38 mm.

B.3.1.1 Comportamiento mecánico

Desde un punto de vista estructural, la cubierta apoya sobre los muros perimetrales y sobre el tabique paralelo al muro Sur y que sirve de separación para las habitaciones de esta orientación. El resto de los tabiques no presentan ningunos requerimientos estructurales.

A continuación se analizará el comportamiento mecánico de cada uno de los elementos de la vivienda

a) El muro exteriores de la vivienda.

Para una primera aproximación de las escuadrias necesarias para los muros exteriores, se emplea la *Tabla 0.6.* Para utilizar esta tabla hay que tener en cuenta, además de los datos propios de la madera: 1) La vivienda tiene una planta. 2) La cubierta en la zona en donde se sitúan las cerchas (habitaciones y servicios) se puede considerar del tipo 1, es decir, la cubierta presenta una luz menor o igual a 9 metros con un apoyo (el tabique portante). En cambio, en la zona del salón, en donde se sitúan las viguetas vistas, la cubierta es de tipo 2, no existen apoyos intermedios. 3) La altura mayor requerida es 3,35 m (cubierta de tipo 2). Con estas condiciones, se puede emplear montantes con secciones de 38x140 colocados cada 0,63 m.

Figura B.2: Vista en planta de la solución constructiva de fachada (cotas en mm)

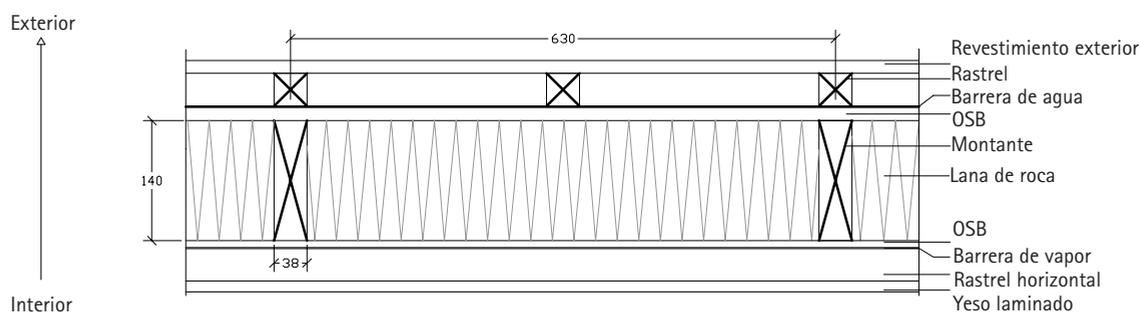
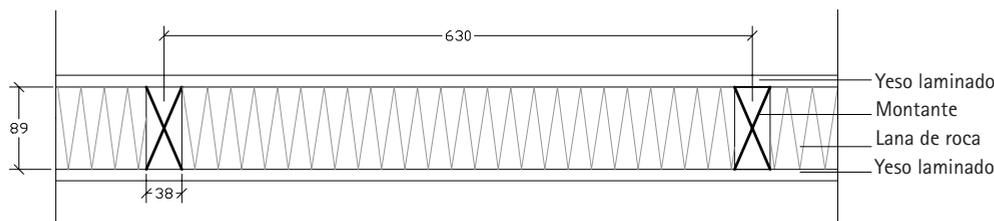


Figura B.3: Vista en planta de la solución constructiva de tabiques (cotas en mm)



La decisión de que haya tabiques estructurales es económica, debido a que la sección de los montantes no va a incrementar significativamente y en cambio si va a disminuir la sección de los diferentes elementos de la cercha al tener que salvar luces más pequeñas.

b) Particiones interiores

De forma similar, se realiza una aproximación de los montantes requeridos para los muros interiores con capacidad portante. Se puede entrar en la *Tabla 0.7.* considerando que la vivienda es de una planta y que la altura de los montantes es de 2,5 m. Con dicha tabla se obtiene que se requiere una sección de 38x89 mm o superior con un intereje entre montantes de 62 cm o inferior. La decisión de la sección de montantes y distancia entre ellos se tomará en base a la capacidad portante en situaciones de incendio.

Para los tabiques sin requerimientos estructurales no existen requerimientos estructurales sobre la sección de los montantes. Se decide emplear los una sección de 38 x 89 mm colocada cada 62 cm.

B.3.1.2. Comportamiento al fuego.

a) El muro exteriores de la vivienda (Figura B.2.).

Para determinar si el sistema puede asegurar la capacidad portante durante los 30 minutos requeridos, se emplea la aproximación presentada en el apartado 3.4.2.1. Para lo cual se calcula:

- 1.- El tiempo de carbonización del tablero de protección (*Tabla 0.15.*). Una placa de yeso laminado elegida es de 12,5 mm de espesor, que presenta un tiempo de carbonización de 21 min. y el del tablero OSB de 8 mm es de 1,6 min (se considera el 50% del tiempo de carbonización, es decir 0,8 mm). Por lo tanto, el tiempo de carbonización del conjunto de placa y tablero es de 21,8 min
- 2.- El tiempo de colapso del entramado (*Tabla 0.16.*). El requerido es al menos 30-21,8 min=8,2 min. En el caso más desfavorable, de cubierta de tipo 2, sin apoyos intermedios, el tiempo aproximado que es capaz de resistir los montantes estructurales C24 de 38x140 mm cada 63 cm y 3,35 m de longitud de un sistema de muros de entramado ligero

protegido por placas de yeso laminado cuando la cavidad entre los montantes están completamente llena de aislante es 9,5 min (valor obtenido extrapolando), superior a los 8,2 min necesarios.

Por lo tanto, se adopta la solución de los elementos estructurales de madera de los muros exteriores con montantes de 38 x 140mm colocados cada 63 cm.

b) Tabiques con capacidad estructural de la vivienda (Figura B.3.).

Para determinar si el sistema puede asegurar la capacidad portante durante los 30 minutos requeridos, se emplea la aproximación presentada en el apartado 3.4.2.1. Para lo cual se calcula:

- 1.- El tiempo de carbonización del tablero de protección (*Tabla 0.15.*). Una placa de yeso laminado elegida es de 15 mm de espesor, que presenta un tiempo de carbonización de 28 min.
- 2.- El tiempo de colapso del entramado (*Tabla 0.16.* para la tipología de cubierta tipo 1). El requerido es al menos 30-28 min=2 min. El tiempo aproximado que es capaz de resistir los montantes estructurales C24 de 38x 89 mm cada 63 cm y 2,5 m de longitud de un sistema de muros de entramado ligero protegido por placas de yeso laminado cuando la cavidad entre los montantes están completamente llena de aislante es 3 min, superior a los 2 min necesarios.

Por lo tanto, se adopta la solución de los elementos estructurales de madera de los muros exteriores con montantes de 38 x 89mm colocados cada 63 cm.

B.3.1.3. Comportamiento acústico

Al tratarse de una vivienda unifamiliar puede utilizarse la opción simplificada del DB HR. En primer lugar deben comprobarse los tabiques, que según la *Tabla 0.24* deben tener al menos una masa 25 kg/m² y un aislamiento acústico R_A de 33 dBA, por lo que debe utilizarse una solución que cumpla estos valores y que puede encontrarse en el catálogo de elementos constructivos.

En este caso, con montantes de 38x89 mm separados 62 cm y con la cavidad llena de lana de roca se alcanzan estos valores¹.

Nivel límite exigido $D_{2m,nI,Atr}$ dBA	Parte ciega 100% $R_{A,tr}$ dBA	Parte ciega ≠100% $R_{A,tr}$ dBA	Huecos Porcentaje de huecos $R_{A,tr}$ de la ventana y de la caja de persiana y $D_{n,e,Atr}$ del aireador				
			Hasta 15%	De 16 a 30%	De 31 a 60%	De 61 a 80%	De 81 a 100%
$D_{2m,nI,Atr}=30$	33	35	26	29	31	32	
		40	25	28	30	31	33
		45	25	28	30	31	

La siguiente comprobación es la de fachadas y cubiertas. La exigencia de aislamiento entre recintos protegidos y el exterior es de 30 dBA. En la *Tabla 0.25*. figuran los parámetros de aislamiento necesarios para el cumplimiento (Ver extracto de la *Tabla 0.25*):

En porcentaje de huecos de las fachadas del edificio se sitúa entre el 16 y el 30%. Para las fachadas, se puede optar por una solución que tenga un $R_{A,tr}$ de 35 dBA con ventanas que cumplan un $R_{A,tr}$ de 29 dBA, y que podremos encontrar en el Catálogo de Elementos Constructivos. En este caso, con la solución escogida anteriormente (montantes de 38x140, separados 63 cm y cavidades llenas de lana de roca se alcanza este valor por lo que cumple.

B.3.1.4. Comportamiento térmico y ahorro de energía

Se decide utilizar lana mineral como material aislante, elemento con una conductividad térmica entre $\lambda=0,031$ y $0,05$ W/mK (se toma, para el cálculo, el valor $\lambda=0,04$ W/mK) y su factor de resistencia a la difusión de vapor de agua es uno.

a) Espesor de aislante térmico. Para la zona climática D la U_{Mlim} es $0,66$ W/m²K (*Tabla 0.26*). Por lo tanto, empleando la *Tabla 0.27*. para el tipo de fachada 2.

$$0,66 \geq \frac{1}{0,70R_{A,T} + 0,83} \Rightarrow R_{A,T} \geq 0,98 \Rightarrow \frac{e_{ins}}{\lambda_{ins}} \geq 0,98$$

$$e_{ins} \geq 0,039m$$

Este espesor es menor a los 140 mm que se le exige al sistema para asegurar la capacidad portante en situación de incendio y a los 100 mm necesarios para poder asegurar el aislamiento en base a los resultados obtenidos del elemento F15.3 del Catálogo de Elementos Constructivos. Por lo tanto se recomienda la colocación de una lana mineral de este espesor.

b) Barrera de vapor. Para determinar si la fachada requiere de una barrera de vapor, se emplea la *Tabla 0.28*. Para una humedad relativa media de 85% en el mes de enero se requiere barrera de vapor si se cumple que la temperatura en esta zona y en este mes es menor a la fórmula que aparece en esta tabla. Para obtener los valores para $\lambda_{ais}=0,04$ W/mK se interpola el resultado obtenido en el caso de $\lambda_{ais}=0,03$ y $0,05$ W/mK

$$\lambda_{ais} = 0,03 \text{ W/mK} \Rightarrow 0,063 \times 85 + 3,4 = 8,9^\circ \text{C}$$

$$\lambda_{ais} = 0,05 \text{ W/mK} \Rightarrow 0,073 \times 85 + 2,2 = 8,4^\circ \text{C} \Rightarrow 3,7^\circ \text{C} \Rightarrow \text{B. vapor}$$

Se concluye que es necesaria la barrera de vapor al requerirse para una conductividad térmica inmediatamente inferior y superior de la que tiene el aislante estudiado.

B.3.1.5. Comportamiento en relación con la salubridad

El grado de impermeabilidad exigido es 3, por lo que habrá que comprobar que la solución elegida tiene un grado 3 o superior. Para ello, pueden utilizarse soluciones constructivas del Catálogo de Elementos Constructivos. En este caso, la solución elegida con una barrera contra el agua dispuesta entre el tablero OSB exterior y los rastreles del revestimiento exterior, es una solución habitual y tiene un grado de impermeabilidad 5¹, y por lo tanto suficiente.

B.3.2. Entramado de forjado

Como en el caso anterior, se elige utilizar viguetas de madera maciza C24 de espesores de 38 mm.

B.3.2.1. Comportamiento mecánico

La *Tabla 0.8*. permite obtener el canto aproximado de vigueta requerida para un elemento de forjado que salva una luz máxima de 3,80 m y que se decide colocar cada 0,42 m. Según esta tabla este valor es $h \geq L/15,2=250$ mm. La sección más próxima que existe en el mercado es 38x 286mm.

Se decide emplear un tablero de OSB sobre las viguetas. El tablero apoyará sobre 3 viguetas, aunque, ocasionalmente, en los bordes puede apoyarse en 2. El espesor elegido de tablero es 18 mm (*Tabla 0.11*). La exigencias de distancia entre elementos de unión (apartado 3.3 *Figura 0.9*) y de longitud mínima de penetración de los elementos de clavija (apartado 3.4.2.1) que unen el tablero con el elemento estructural figuran en el documento.

B.3.2.2. Comportamiento acústico

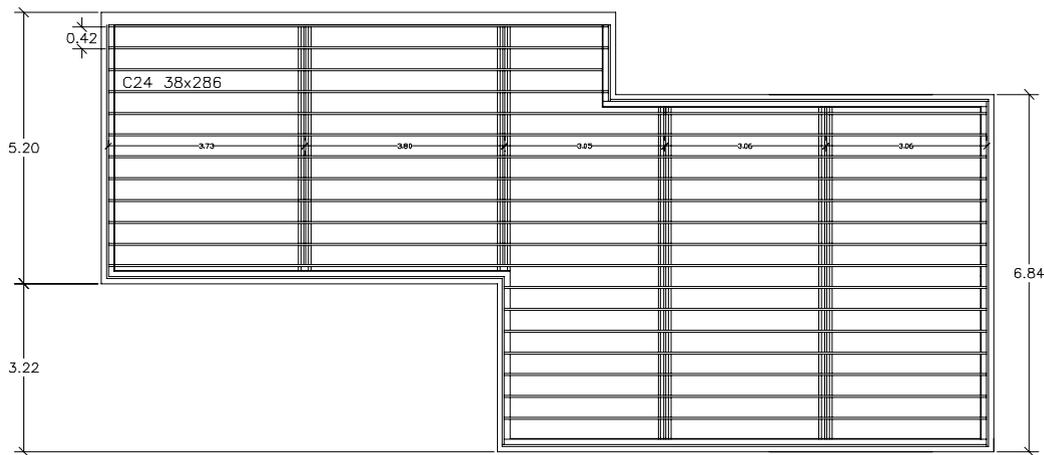
No hay exigencia acústica para el forjado.

B.3.2.3. Comportamiento térmico y ahorro de energía.

Se decide utilizar lana mineral con los valores de conductividad térmica y factor de resistencia a la difusión de vapor de agua vistos en el apartado anterior. El aislamiento acústico no se requiere al ser un forjado sanitario, por lo tanto $R_{AA}=0$ m²K/W

1 Véase el Catálogo de Elementos Constructivos (www.codigotecnico.org)

Figura B.4: Esquema estructural del forjado sanitario



a) Espesor de aislante térmico. Para la zona climática D la U_{Slim} es 0,49 W/m²K (Tabla 0.26). Por lo tanto, empleando la Tabla 0.27. para el tipo de Forjado 1.

$$0,49 \geq \frac{1}{0,58R_{AT} + 1,10 + R_{AA}} \Rightarrow R_{AT} \geq 1,76 \Rightarrow \frac{e_{ais}}{\lambda_{ais}} \geq 1,76$$

$$e_{ais} \geq 0,070m$$

El espesor mínimo requerido de lana mineral en el forjado es de 70mm.

b) Barrera de vapor. Para determinar si la fachada requiere de una barrera de vapor, se emplea la Tabla 0.28. Para una humedad relativa media de 85% en el mes de enero se requiere barrera de vapor si se cumple que la temperatura en esta zona y en este mes es menor a la fórmula que aparece en esta tabla. Para obtener los valores para $\lambda_{ais}=0,04$ W/mK se interpola el resultado obtenido en el caso de $\lambda_{ais}=0,03$ y 0,05 W/mK

$$\lambda_{ais} = 0,03 \text{ W/mK} \Rightarrow 0,261 \times 85 - 16,3 = 5,9^\circ \text{C}$$

$$\lambda_{ais} = 0,05 \text{ W/mK} \Rightarrow 0,254 \times 85 - 16,5 = 5,1^\circ \text{C}$$

$$\geq 3,7^\circ \text{C} \Rightarrow \text{B. vapor}$$

Se concluye que es necesaria la barrera de vapor al requerirse para una conductividad térmica inmediatamente inferior y superior de la que tiene el aislante estudiado.

B.3.3. Cubierta.

Existen dos tipos de sistemas diferentes en la cubierta: Cerchas de entramado ligero sobre las zonas de las habitaciones y elementos vistos de madera laminada en la zona del salón.

Por motivos de estética, se decide emplear una cubierta 10°. Se decide emplear madera maciza C24 y madera laminada encolada GL24h en la zona vista de la cubierta.

B.3.3.1. Comportamiento mecánico

a) *Entramado ligero.*

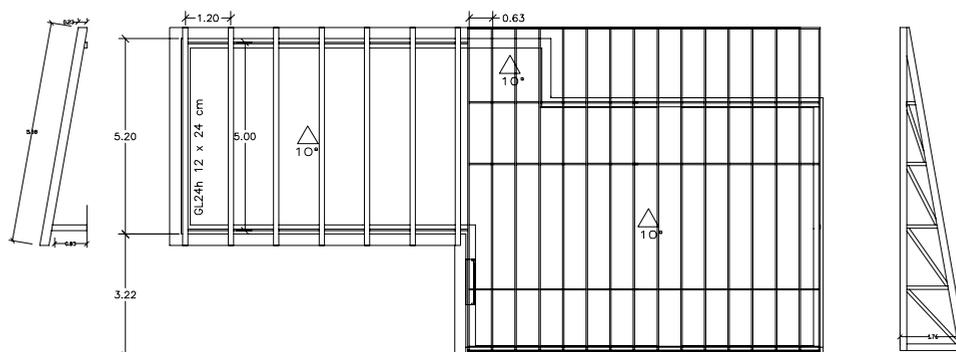
En la Tabla 0.10. se observa que el diseño de cercha elegida, con espesores de los elementos estructurales de 38 mm y separación entre cerchas de 0,63 m, permite luces de hasta 10 metros. En el caso estudiado, la luz máxima será de 8,42 m pero con un apoyo intermedio, por lo que este tipo de cubierta sería adecuado.

El espesor del tablero estructural se determina en base a la distancia entre cerchas (Tabla 0.11.). En este caso se requiere un tablero OSB de 15 cm siempre que este apoye sobre 3 o más elementos estructurales y la distancia sea menor a igual a 67 cm. Las exigencias de la distancia entre elementos de unión (apartado 3.3 Figura 0.9.) y de la mínima longitud de penetración de los elementos de clavija (apartado 3.4.2.1) que unen el tablero con el elemento estructural figuran en el documento.

b) *Entramado pesado*

La vigueta debe salvar una luz de 5,20 m además, al quedar visto el elemento estructural tiene unas exigencias de al menos R30. Para calcular la sección que se requiere se puede emplear la Tabla A-1 (cubiertas). En esta tabla se observa que las viguetas con sección 12x24 cm colocadas cada 120 cm son capaces de salvar luces de hasta 5,55 m y mantener su capacidad portante durante 30 minutos. Por lo tanto se elige esta sección.

Figura B.5: Esquema estructural de la cubierta



Sobre las viguetas se colocará un panel sándwich de cerramiento cuya resistencia mecánicas es facilitada por el fabricante en base a ensayos realizados sobre sus productos.

B.3.3.2. Comportamiento al fuego.

Reacción

El material de revestimiento exterior de la cubierta debe ser al menos B_{ROOf}, por lo que se decide emplear teja cerámica⁽¹⁾.

Resistencia

a) Entramado ligero

Para comprobar la capacidad portante del sistema de cubierta de entramado ligero se emplea la aproximación presentada en el este capítulo. En el caso de cubiertas, la acción de incendio se considera situada en su cara inferior, por lo que habrá que estudiar el tablero de cerramiento inferior. Lo más adecuado en este caso es emplear placas de yeso laminado (tipo A en los dormitorios y tipo H en el baño) de un espesor tal que el tiempo de carbonización sea superior a la capacidad portante requerida. Esto es debido a la dificultad de poder mantener el aislante en su lugar una vez desaparezca la placa. Por lo tanto, en este caso se recomienda emplear una placa de yeso laminado de 18 mm de espesor (t_{char}=36,4 min) o doble placas de 12,5 mm de espesor (t_{char}=21 +21 x 0,5=31,5 min) (Tabla 0.15.).

b) Entramado pesado

La comprobación de la capacidad portante de la estructura de entramado pesado ya ha sido considerada en el apartado anterior.

B.3.3.3. Comportamiento acústico.

El comportamiento acústico de la cubierta se comprueba de la misma forma que el de la fachada (véase el extracto de la Tabla 0.25.).

En este caso no hay huecos, por lo que el R_{A, tr} exigido es de 33dBA.

a) Entramado ligero

El elemento de cubierta se puede aproximar al C14.2 del Catálogo de Elementos Constructivos. Este elemento presenta un R_{Atr}=42 dBA si el espesor del aislamiento es mayor o igual a 120 mm. La variación entre el elemento presentado en el catálogo y el elegido en esta solución es que en el segundo caso se presenta una cámara de aire igual a la altura entre la parte superior del tirante y del par. El aislante se coloca entre los tirantes de la cercha y el tablero estructural sobre los pares (véase Figura B.6).

b) Entramado pesado

El elemento de cubierta se puede aproximar al C13.3 del Catálogo de Elementos Constructivos (Panel de madera un núcleo de poliestireno extraído). Este elemento presenta un R_{Atr}=36 dBA superior al requerido.

B.3.3.4. Comportamiento térmico y ahorro de energía.

a) Entramado ligero

Se decide utilizar lana mineral con los valores de conductividad térmica y factor de resistencia a la difusión de vapor de agua vistos en el apartado anterior.

a) Espesor de aislante térmico. Para la zona climática D la U_{Clim} es 0,38 W/m²K (Tabla 0.26.). Por lo tanto, empleando la Tabla 0.27. para el tipo de Cubierta 1.

$$0,38 \geq \frac{1}{0,51R_{AT} + 1,24} \Rightarrow R_{AT} \geq 2,73 \Rightarrow \frac{e_{ais}}{\lambda_{ais}} \geq 2,73$$

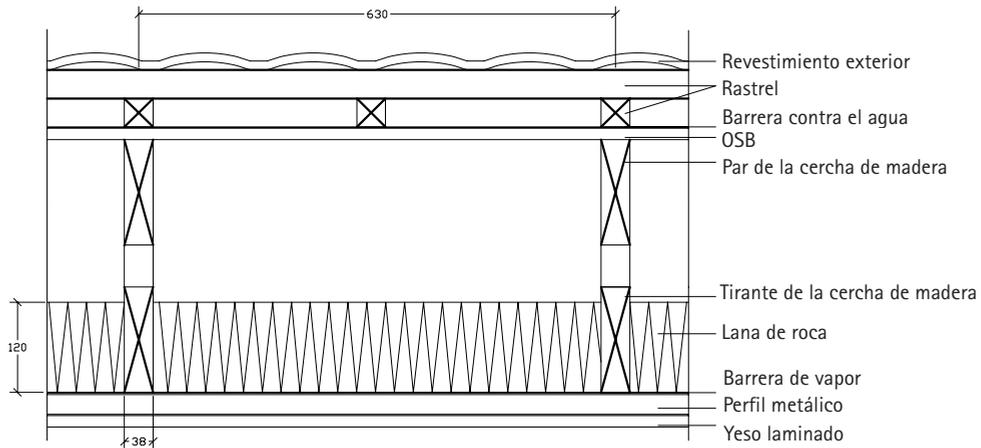
$$e_{ais} \geq 0,109m$$

Extracto de la tabla 0.25.

Nivel límite exigido D _{2m,nT,Atr} dBA	Parte ciega 100% R _{Atr} dBA	Parte ciega ≠100% R _{Atr} dBA	Huecos Porcentaje de huecos R _{Atr} de la ventana y de la caja de persiana y D _{n,eAtr} del aireador				
			R _{Atr} de la ventana y de la caja de persiana y D _{n,eAtr} del aireador				
			Hasta 15%	De 16 a 30%	De 31 a 60%	De 61 a 80%	De 81 a 100%
D _{2m,nT,Atr} =30	33	35	26	29	31	32	33
		40	25	28	30	31	
		45	25	28	30	31	

¹ Véase el RD 110/2008 (<http://www.boe.es/boe/dias/2008/02/12/pdfs/A07410-07428.pdf>)

Figura B.6: Vista en sección de la solución constructiva de cubiertas (cotas en mm)



El espesor mínimo requerido de lana mineral en el forjado es de 110mm. Para que cumpla los requerimientos acústicos, el espesor empleado será de 120 mm.

b) Barrera de vapor. Para determinar si la fachada requiere de una barrera de vapor, se emplea la *Tabla 0.28*. Para una humedad relativa media de 85% en el mes de enero se requiere barrera de vapor si se cumple que la temperatura en esta zona y en este mes es menor a la fórmula. Para obtener los valores para $\lambda_{a15}=0,04 \text{ W/mK}$ se interpola el resultado obtenido en el caso de $\lambda_{a15}=0,03$ y $0,05 \text{ W/mK}$

$$\begin{aligned} \lambda_{a15} = 0,03 \text{ W/mK} &\Rightarrow 0,017 \times 85 + 8,1 = 9,5^\circ \text{C} \\ \lambda_{a15} = 0,05 \text{ W/mK} &\Rightarrow 0,018 \times 85 + 7,5 = 9,0^\circ \text{C} \end{aligned} \quad \left| \geq 3,7^\circ \text{C} \Rightarrow \text{B. vapor} \right.$$

Se concluye que es necesaria la barrera de vapor al requerirse para una conductividad térmica inmediatamente inferior y superior de la que tiene el aislante estudiado.

b) Entramado pesado

En el caso del entramado pesado, el aislamiento térmico irá incluido dentro del panel sándwich. Normalmente estos paneles están fabricados con poliestireno extruido (XPS), material que presenta una conductividad térmica entre $\lambda=0,029$ y $0,039 \text{ W/mK}$ (se toma, para el cálculo, el valor $\lambda=0,03 \text{ W/mK}$).

a) Espesor de aislante térmico. Para la zona climática D la U_{Clim} es $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ (*Tabla 0.26*). Por lo tanto, empleando la *Tabla 0.27* para el tipo de Cubierta 1.

$$0,38 \geq \frac{1}{0,51R_{AT} + 1,24} \Rightarrow R_{AT} \geq 2,73 \Rightarrow \frac{e_{a15}}{\lambda_{a15}} \geq 2,73$$

$$e_{a15} \geq 0,082\text{m}$$

El espesor mínimo requerido del núcleo de poliestireno extruido es de 90 mm.

b) Barrera de vapor. Este caso consideramos $\lambda= 0,03$ y $\mu=140$ (entre 100-220 según Catálogo de Elementos Constructi-

vos). Utilizando la *Tabla 0.28*, se concluye que no se requiere barrera de vapor.

B.3.3.5. Comportamiento en relación con la salubridad

Para cubiertas no se establecen en el DB HS grados de impermeabilidad, pero sin condiciones de impermeabilidad aplicables a todas las cubiertas y que deberán cumplirse. No se trata de condiciones específicas de soluciones de madera por lo que no se tratan en este ejemplo.

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



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

PROHOLZ

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



www.construirconmadera.org

Capítulo 1

Productos de madera para la construcción

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

Autores:

FRANCISCO ARRIAGA MARTITEGUI

MIGUEL ESTEBAN HERRERO

GUILLERMO ÍÑIGUEZ GONZÁLEZ

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes
Universidad Politécnica de Madrid

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:

Fotografía 1 y 3: los autores

Resto de fotografías: JUAN I. FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO

Dibujos y esquemas: los autores

ISBN: 978-84-693-1289-6

Depósito legal: M-17443-2010

Derechos de la edición: CONFEMADERA

© de los textos: los autores

Con la financiación del

ÍNDICE

Introducción	3
Madera en rollo estructural	5
Madera aserrada estructural	9
Madera empalmada estructural	20
Madera aserrada encolada	24
Madera laminada encolada	31
Madera microlaminada	37
Perfiles de madera reconstituida	44
Paneles contralaminados	47
Tableros estructurales	51
Vigas mixtas prefabricadas	68
Paneles sándwich de cerramiento	72
Paneles sándwich portantes	76

INTRODUCCIÓN

El objeto de esta publicación es reunir la información técnica sobre los productos de madera y derivados de la madera con aplicaciones estructurales para servir de apoyo al proyectista de una estructura de madera. Recoge los materiales y productos habituales en el mercado de la construcción con madera en el ámbito europeo incluyendo de manera genérica la siguiente información de cada producto:

- Definición
- Aplicaciones
- Materiales
- Dimensiones y tolerancias
- Propiedades
- Tipos estructurales
- Mercado CE
- Especificaciones
- Bibliografía
- Normativa

En la actualidad el Documento Básico de Seguridad Estructural – Madera (DB SE-M) del Código Técnico de la Edificación incluye la información necesaria para algunos de estos productos. Sin embargo, hay productos que no se citan en el DB SE-M y que se están utilizando habitualmente. En esta publicación también se incluye información añadida a la contenida en el DB SE-M que es de ayuda para la correcta utilización de estos productos.

MADERA EN ROLLO ESTRUCTURAL

DEFINICIÓN

Piezas de madera constituidas por el tronco del árbol desramado, generalmente descortezado, con una sección sensiblemente circular para uso estructural.



APLICACIONES

Las aplicaciones estructurales más habituales son las siguientes:

- Pies derechos en construcciones de uso agrícola como cobertizos y naves de pequeñas luces o como soportes de pasarelas y pasos elevados.
- Viguetas de forjado de piso y parecillos en cubiertas.
- Construcciones de embarcaderos y pantalanes.
- Pilotes de cimentación.
- Cercados, empalizadas, postes de señalización y equipamiento de parques y jardines.

También se han utilizado, ocasionalmente, en grandes luces para la construcción de estructuras espaciales o pasarelas peatonales.

MATERIALES

En principio cualquier especie se puede utilizar como madera en rollo estructural si se conocen sus propiedades mecánicas, pero en la práctica el número de las más habituales es reducido. En Europa se han realizado estudios sobre la madera en rollo con las siguientes especies:

- abeto (Norway spruce): *Picea abies* Karst.
- pino silvestre (Scots pine): *Pinus sylvestris* L.
- pino oregón (Douglas fir): *Pseudotsuga menziesii* Franco.
- abeto sitka (Sitka spruce): *Picea sitchensis*
- alerce (Larch): *Larix kaempferi*

Las principales especies españolas utilizadas en la actualidad, o en el pasado, en estructuras de madera y que podrían utilizarse como madera en rollo son las siguientes:

- Pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.)
- Pino laricio (*Pinus nigra* Arnold ssp. o *Pinus laricio* Loud)
- Pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait.)
- Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don)
- Castaño (*Castanea sativa* Mill.)
- Roble (*Quercus robur* L. o *Quercus petraea* Liebl.)
- Chopo (*Populus* sp.)
- Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.)

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

El diámetro de la madera en rollo abarca desde los 100 hasta los 350 mm, aproximadamente. La longitud puede llegar a un máximo de unos 18 m. Una limitación frecuente de la longitud a 14 m se debe a la introducida por la longitud de los autoclaves, empleados cuando la madera debe ser tratada en profundidad.

Gran parte de la madera en rollo procede de claras realizadas en el bosque durante la fase inicial de crecimiento. Por este motivo, los diámetros más frecuentes están entre 100 y 130 mm.

El diámetro se medirá sin corteza utilizando forcípulas con un contenido de humedad de referencia del 20 %. Este contenido de humedad se determina, habitualmente, de acuerdo con la norma UNE-EN 13183-2 (haciendo uso de xilohigrómetros).

De acuerdo con el proyecto de norma prEN 14544 la tolerancia en la longitud será de $-0/+1\%$; sin embargo para longitudes inferiores a 2 m será de $-0/+20$ mm. La tolerancia para el diámetro nominal referido al contenido de humedad de referencia y medido en la mitad de la longitud sin corteza será de $-0/+20$ mm.

Salvo que se disponga de una información más precisa el proyecto de norma prEN 14544 especifica que el diámetro modificará su valor en función del contenido de humedad con el siguiente criterio:

- se aumentará en un 0,25% para cada incremento de una unidad del contenido de humedad, cuando esté comprendido entre el 20 y 30%;
- y se disminuirá en un 0,25% para cada disminución de una unidad del contenido de humedad, cuando sea inferior al 20%.

El acabado de la superficie puede ser de tres tipos: descortezado manual manteniendo la forma original del tronco, descortezado mecánico con desbaste mínimo de la superficie y mecanizado por cilindrado con un diámetro constante y superficie lisa. En el mercado es habitual encontrar Rollizos Torneados e Impregnados, conocidos como RTI.

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

Clasificación visual

En Europa hay muy poca normativa relativa a la madera en rollo. La más relevante es la norma alemana DIN 4074-2 que recoge las reglas de clasificación de madera de coníferas en rollo, desde 1958. Esta norma diferencia tres calidades: I, II y III.

Tras su aprobación definitiva, el proyecto de norma prEN 14544 constituirá la norma armonizada del material, en la que se especifican los requisitos para la clasificación visual de este producto. Tras su aprobación, las normas nacionales, en el caso de existir, deberán adaptarse a estas especificaciones.

Comentarios:

*En España no hay norma de clasificación para la madera en rollo. Se han realizado investigaciones (Fdez-Golfin et al. 2007, Hermoso et al. 2007) sobre las propiedades mecánicas de la madera en rollo de pequeño diámetro de la especie Pino laricio (*Pinus nigra* subsp. *Saltzmanii*). Se considera madera delgada o de pequeño diámetro a la procedente de árboles con menos de 230 mm de diámetro, generalmente originada en las claras o extracción de los pies sobrantes en la gestión forestal. Se ensayaron 445 rollizos torneados con diámetros finales de 80, 100, 120 y 140 mm. El valor característico de la resistencia a flexión variaba entre 22,3 y 25 N/mm² y el módulo de elasticidad medio entre 6.570 y 7.970 N/mm².*

*El proyecto FAIR (Ranta-Maunus 1999) exploró el posible uso de la madera de rollizo de pequeño diámetro en la construcción descubriendo una enorme capacidad de este producto para su empleo estructural. Estudió la madera de pino silvestre, abeto (*Picea abies*), Abeto sitka, Alerce y pino Oregón con diámetros de 100 a 127 mm. La resistencia de la madera en rollo presenta valores superiores a los esperados, si se comparan con los obtenidos en la madera aserrada. En el anexo A de la citada publicación se proponía unas reglas para la clasificación de la madera en rollo de pino silvestre y abeto estableciendo dos calidades: A y B. Este trabajo también estudió los sistemas de unión de la madera de rollizo, analizando las uniones con alambre de atado, de anclajes internos y de placas metálicas postformadas*



Clases resistentes

Las propiedades mecánicas de la madera en rollo deben obtenerse mediante ensayos efectuados según la norma UNE-EN 14251. Esta norma especifica los métodos de ensayo para la determinación de la resistencia y módulo de elasticidad en flexión y en compresión. Además define métodos para la determinación del contenido de humedad y de la densidad. Para la asignación de los valores característicos se aplicará la norma UNE-EN 384.

La norma DIN 1052 recoge una asignación de la clase resistente para la madera de pino silvestre y el abeto de C30, C24 y C18 para las calidades I, II y III, respectivamente, de la norma DIN 4074-2.

Análogamente, el proyecto FAIR proponían una asignación de clases resistentes para la madera de pino silvestre y abeto de C30 y C18 para las calidades A y B, respectivamente.

Durabilidad

En la práctica no existen problemas de durabilidad en piezas situadas en las clases de uso 1 y 2 (interior y bajo cubierta sin exposición directa al agua de lluvia) y cualquier especie es apta. En la clase de uso 3.1 y de forma especial en las 3.2, 4 y 5 se requiere una especie de mayor durabilidad natural o un tratamiento químico de protección. Normalmente las especies coníferas habituales en estructuras no presentan durabilidad natural suficiente (casi siempre incorporan parte de albura que no es durable) y por tanto requieren tratamiento. Para la elección del tipo de tratamiento adecuado puede consultarse el Documento Básico de Seguridad Estructural – Madera o el capítulo de durabilidad de esta guía.

Comportamiento al fuego

En aquellos casos en los que se requiera conocer la reacción al fuego de este material, se determinará de acuerdo con la norma UNE-EN 13823 y UNE-EN ISO 11925-2.

De acuerdo con el proyecto de norma prEN 14544 la Euroclase de reacción al fuego de la madera, en función de la especie, puede variar de la clase C a la clase E.

La resistencia al fuego de la pieza de madera se deberá calcular de acuerdo con el DB de Seguridad contra Incendio o de acuerdo con la norma UNE-EN1995-1-2. El parámetro dependiente de la madera es la velocidad de carbonización, que toma los valores eficaces de 0,8 mm/min en madera aserrada de coníferas y de 0,5 a 0,7 mm/min en madera aserrada de frondosas y madera laminada encolada.

En madera de coníferas una pieza de madera en rollo trabajando a flexión expuesta al fuego (típica configuración de una

vigueta o parecillo visto) requiere un diámetro mínimo de unos 120 mm para cubiertas y 140 mm para forjados para alcanzar la resistencia R30. Estos valores deberán comprobarse mediante el cálculo preciso.

MARCADO CE

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción, por lo que cuando se apruebe su norma armonizada (que actualmente está en fase de borrador prEN 14544) deberá incorporar el Marcado CE.

ESPECIFICACIONES

A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para una estructura de madera con rollizos.

- **Especie:** Definida por la denominación comercial "oficial" y si es posible se añadirá el nombre botánico para mayor precisión. Se empleará la terminología contemplada en la norma UNE-EN 13556.
- **Propiedades mecánicas:** Especificadas mediante la denominación de la especie y su calidad, haciendo referencia a la norma de clasificación correspondiente al país de procedencia. Esto sólo puede hacerse actualmente si la madera es de pino silvestre o abeto procedente del centro de Europa y ha sido clasificada con la norma DIN 4074-2. En caso de utilizar madera procedente de pinos españoles se recomienda no superar una clase resistente C14, salvo estudios o información más precisa.
- **Dimensiones nominales:** Deducidas a partir del cálculo para las piezas de madera y los elementos de conexión. Existen unas tolerancias para estas dimensiones definidas en el proyecto de norma prEN 14544. Si es posible, deberían ajustarse a una gama de dimensiones comerciales.
- **Contenido de humedad:** Como norma general se debe especificar un contenido de humedad en la madera no superior al 18 % o 20 % y, si es posible, lo más cercana posible a la humedad media de equilibrio higroscópico correspondiente a la ubicación de la obra. El control de la humedad debe hacerse en la recepción en obra.
- **Tratamiento preventivo:** Deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso correspondiente. Cuando sea necesario un tratamiento en profundidad (clases de uso 3.2, 4 y 5) deberá utilizarse una madera impregnable.

- **Comportamiento al fuego:** Mediante cálculo debe justificarse la estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Si es necesario una mejora de la reacción al fuego (que además aumenta ligeramente la estabilidad al fuego) se pueden prescribir productos para mejorar su comportamiento al fuego. Las propiedades y garantías de los productos deben ser aportadas por el fabricante.
- **Almacenaje, transporte y montaje:** Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos.

En el caso de rollizos de gran longitud deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical.

Los elementos de madera almacenados en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie, evitando que queden almacenados en clases de uso distintas para las que han sido diseñados o solicitados. Para clases de uso 1 y 2, una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura.

La madera en rollo apilada sobre rastreles deberá mantenerse flejada para evitar el riesgo de caída de la pila.

BIBLIOGRAFÍA

Fernández-Golfin J.I ; Mier, R; Díez M.R.; Hermoso, E. (2007). *Mechanical characterization of visually classified small-diameter larch pine round timber*. . *Spanish Journal of Agricultural Research* vol. 5 (3): 304-311

Hermoso, E., Fernández-Golfin, J.I., Díez, R. y Mier, R. (2007). *Aplicación de los ultrasonidos a la evaluación de las propiedades mecánicas de la madera en rollo de pequeño diámetro*. *Informes de la Construcción*. Vol. 59, 506, 87-95.

Ranta-Maunus, A. (1999). *Round small-diameter timber for construction*. Final report of Project FAIR CT 95-0091. VTT Building Technology, Espoo, Finland.

Stern, E. G. (2001). *Construction with small diameter round wood*. *Forest Products Journal*, Vol 51, Nº 4.

Winter, S. (1995). *Roundwood structures. Timber Engineering Step 2. Design. Details and structural systems*. EU Comett Programme. Centrum Hout, Netherland.

NORMATIVA

DIN 1052:2004. *Design of timber structures. General rules and rules for buildings*.

DIN 4074-2:1958. *Bauholz für holzbauteile. Gütebedingungen für Baurundholz (Nadelholz)*.

UNE-EN1995-1-2:2004. *Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: General. Proyecto en situación de incendio*.

prEN 14544:2006. *Timber structures. Structural timber with round cross-section. Requirements*.

UNE-EN 13183-2:2004. *Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica*.

UNE-EN 13556:2004. *Madera aserrada y madera en rollo. Nomenclatura de las maderas utilizadas en Europa*.

UNE-EN 13823: 2002. *Ensayos de reacción al fuego de productos de construcción. Productos de construcción excluyendo revestimientos de suelos expuestos al ataque térmico provocado por un único objeto ardiendo*.

UNE-EN 14251:2004. *Madera en rollo estructural. Métodos de ensayo*.

UNE-EN 384:2004. *Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad*.

UNE-EN ISO 11925-2:2002. *Ensayo de reacción al fuego de los materiales de construcción. Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama. Parte 2. Ensayo con una fuente de llama única (ISO 11925-2:2002)*.

MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

DEFINICIÓN

Piezas de madera aserrada de sección rectangular que han sido clasificadas estructuralmente por alguno de los procedimientos reconocidos en la normativa (clasificación visual o mecánica).



APLICACIONES

La madera aserrada se utiliza principalmente en estructuras de luces pequeñas (4 a 6 m) y medias (6 a 17 m) formando una estructura completa o como parte de ella en los sistemas mixtos formados por muros de fábrica con forjados y cubierta de madera.

En los sistemas de entramado ligero la madera constituye las viguetas de forjado con luces que no suelen superar los 4,5 m, los pies derechos de los muros entramados y las armaduras de la cubierta, que pueden llegar a salvar vanos de 12 a 16 m. En estos casos la sección de las piezas tiene gruesos muy reducidos (38 a 45 mm) y no quedan vistas por encontrarse protegidas del fuego por otros materiales.

En los sistemas mixtos con muros de carga de fábrica normalmente la madera forma la estructura de los forjados y las armaduras de la cubierta utilizando secciones de mayor grueso (generalmente superior a 100 mm), motivo por lo cual no suelen necesitar revestimientos protectores frente al fuego.

MATERIALES

De acuerdo con el DB-SE-M, la madera aserrada, para su uso en estructuras, estará clasificada quedando asignada a una clase resistente. Para las maderas más habituales, la norma UNE-EN 1912 aporta un completo listado de especies, procedencias, calidades y asignaciones a clases resistentes.

Las principales especies españolas utilizadas en la actualidad o en el pasado en estructuras de madera son las siguientes:

- Pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.)
- Pino laricio (*Pinus nigra* Arnold ssp. o *Pinus laricio* Loud)
- Pino pinaster (*Pinus pinaster* Ait.)
- Pino radiata (*Pinus radiata* D. Don)
- Castaño (*Castanea sativa* Mill.)
- Roble (*Quercus robur* L. o *Quercus petraea* Liebl.)
- Chopo (*Populus* sp.)
- Eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.)

De éstas, en la actualidad sólo están recogidas en la normativa española de clasificación y en la norma UNE-EN 1912 los cuatro pinos y el eucalipto.

La mayor parte de las estructuras de madera en España se fabrican con especies importadas del Centro y Norte de Europa y de Norteamérica. Las más habituales son las siguientes:

- falso abeto (también llamado abeto o pino-abeto): *Picea abies* Karst.
- pino silvestre: *Pinus sylvestris* L.
- abeto: *Abies alba* Mill.
- pino pinaster: *Pinus pinaster* Ait.
- pino insignis o radiata: *Pinus radiata* D. Don.
- pino laricio: *Pinus nigra* Arnold.
- pino oregón (Douglas fir): *Pseudotsuga menziesii* Franco.
- pinos amarillos del sur (Southern Yellow Pines, SYP):
Agrupación de varias especies de procedencia americana:
 - *Pinus echinata* Mill.
 - *Pinus elliotii* Engelm.
 - *Pinus palustris* Mill.
 - *Pinus taeda* L.
- Picea-Pino-Abeto (Spruce-Pine-Fir, SPF): agrupación de varias especies de procedencia americana:
 - *Abies balsamea* Mill.
 - *Abies lasiocarpa* Nutt.
 - *Picea engelmannii* Engelm.
 - *Picea glauca* Voss.

- *Pinus banksiana* Dougl., etc.
- abeto sitka: *Picea sitchensis*

Las especies más frecuentes son las tres primeras (falso abeto, abeto y pino silvestre) procedentes del Norte de Europa.

Así mismo, en España se emplean en estructuras maderas de especies frondosas importadas, como son el Roble procedente del norte de Francia y de Alemania, y el Elondo, procedente de África.

Comentarios:

En el comercio y la industria de la madera se utiliza una denominación vulgar que varía de un país a otro, e incluso entre regiones. Por ejemplo, la especie *Pinus sylvestris* L. se denomina pino de Suecia, pino Norte, pino Soria o pino Val-saín, en función de su procedencia. Para evitar posibles indefiniciones se deberá utilizar la denominación comercial oficial que se recoge en la norma UNE-EN 13556 "Madera aserrada y en rollizo. Nomenclatura de las maderas utilizadas en Europa".

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

Dimensiones

Las dimensiones de las piezas de madera aserrada no están normalizadas en el ámbito europeo. Existen varios grupos de países que aserran con unas dimensiones estandarizadas, pero no existe una norma europea que establezca unas dimensiones comunes.

Las normas UNE 56544 (madera aserrada de coníferas) y UNE 56546 (madera aserrada de frondosas) establecen que debe entenderse como anchura de cara (h) a la mayor dimensión perpendicular al eje longitudinal de la pieza y como espesor o grosor (b) a la distancia entre caras, figura 1.

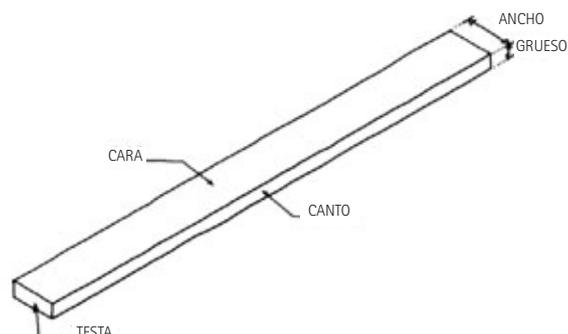


Figura 1. Nomenclatura de las piezas de madera aserrada.

Análogamente, las citadas normas establecen que por dimensión nominal deberá entenderse la dimensión declarada para la pieza para un contenido de humedad del 20%. Las dimensiones se medirán de acuerdo con lo especificado en la norma UNE-EN 1309-1.

En España la madera aserrada para uso estructural generalmente está formada por escuadrías superiores a 100x100 mm. Para la madera de pino silvestre y laricio suelen ser corrientes las siguientes dimensiones transversales: 100x150, 150x150, 150x200, 200x200 y 200x250 mm. Los largos llegan a los 5-6 m, y hasta 9 m aunque bajo pedido pueden conseguirse largos mayores.

En la tabla 1 y de forma indicativa se resumen las dimensiones más habituales para groesos mayores o iguales a 38 mm.

En Europa se imponen por su gran cuota de mercado las dimensiones con las que trabajan los países nórdicos, cuyo grueso característico es de 45 mm, tablas 2 y 3. En cada caso convendrá consultar con los suministradores las dimensiones disponibles.

Tabla 1. Dimensiones de especies españolas para madera aserrada (sin cepillar).

Especie	Groesos (mm)	Anchuras (mm)	Largos (m)
Pino silvestre	38-50-75-100	150-180-205-230	2,2 y 4,4
Pino radiata	38-50-65-75-100	100-125/130-150-175/180-200-225/230	5 y 5,5
Pino pinaster	40-50-76	170-240-250	2,5 y 3

Grueso (mm)	Anchura (mm)					
	100	125	150	175	200	225
38	X	X	X	X	XX	X
44	X	X	X			
47	X	X	X	X	X	X
50	X	X	XX	X	XX	XX
63	X	X	X	X	XX	XX
75	X	X	X	X	XX	XX
100	X		X		X	

XX: medidas más frecuentes en almacén.

Largos (m): 1,50 - 1,80 - 2,10 - 2,40 - 2,70 - 3,00 - 3,30 - 3,60 - 3,90 - 4,20 - 4,50 - 4,80 - 5,10 - 5,40 - 5,70 y 6,00.

*Tabla 2: Madera aserrada.
Dimensiones producidas normalmente por los aserraderos suecos y finlandeses referidas a un contenido de humedad del 20%.*

*Tabla 3.
Dimensiones usuales para madera cepillada (las cuatro caras) referidas a un contenido de humedad del 17% (maderas nórdicas).*

Grosor (mm)	Anchura (mm)					
	95	120	145	170	195	220
34	X	X	X	X	X	
45	X	X	X	X	X	X
70	X	X	X	X	X	X

En Norteamérica dentro del término de madera aserrada (lumber) se consideran tres grupos:

- Tablas (boards): piezas de pequeño grosor utilizadas principalmente en recubrimientos.
- Tablones (dimension lumber): piezas con grosor comprendido entre 38 y 89 mm principalmente utilizadas en estructuras (viguetas de forjado, muros entramados, tabiquería, cerchas, etc).
- Madera escuadrada (timber): piezas cuya dimensión menor de la sección transversal es igual o superior a 140 mm. Son piezas de gran escuadría utilizadas como vigas o pilares, cuya longitud puede llegar a 5 ó 9 metros.

Las dimensiones más comunes en la madera con uso estructural son las siguientes:

Piezas utilizadas como montantes de muros entramados y en cerchas de cubierta: (Light Framing y Structural Light Framing): 38x64, 38x89, 47x75 y 40x100 mm.

Piezas utilizadas como viguetas de forjados y en cerchas de cubierta que requieran grandes escuadrías: (Structural Joist and Planks): 38x140 a 286 mm y 44x150 a 300 mm.

Largos (m): usuales: 2,45 - 3,05 - 3,70 - 4,30 - 4,90 - 5,50 - 6,10 - 6,80 - 7,55 - 7,95 - 8,55. Y en menor medida los valores intermedios.

Comentarios:

Debe tenerse presente que en el comercio de estas maderas de Norteamérica para definir la sección transversal se emplean las dimensiones nominales expresadas en pulgadas. Las dimensiones nominales difieren de las reales una cantidad que depende de la dimensión concreta, pero que generalmente resultan 0,5 ó 0,25 pulgadas mayores que las reales.

Así por ejemplo las secciones muy comunes de 2x4 y 2x6 pulgadas, tienen como dimensiones reales 1,5x5,5 y 1,5x5,5 pulgadas (38x89 y 38x140 mm, respectivamente).

Tolerancias

Así como no existe una normativa unificada para las dimensiones sí existe una norma para las tolerancias. La norma UNE-EN 336 establece dos clases de tolerancias para las dimensiones de cualquier sección transversal de la pieza, válidas para madera aserrada y escuadrada con grueso o ancho comprendido entre los 22 y 300 mm:

- Clase de tolerancia 1:
 - a) Para gruesos y anchos ≤ 100 mm: (-1 / +3) mm
 - b) Para gruesos y anchos > 100 mm: (-2 / +4) mm
- Clase de tolerancia 2:
 - a) Para gruesos y anchos ≤ 100 mm: (-1 / +1) mm
 - b) Para gruesos y anchos > 100 mm: (-1,5 / +1,5) mm



Estas tolerancias se establecen respecto a las dimensiones nominales a un contenido de humedad de referencia (20 %). Este contenido de humedad se determinará utilizando un xilohigrómetro de acuerdo con la norma UNE-EN 13183-2. Si las dimensiones se miden a diferente humedad se deberá supo-

ner que el grueso y el ancho de la pieza se incrementan un 0,25 % por cada incremento unitario de contenido de humedad por encima del 20 % hasta llegar al 30 %, y que decrecen un 0,25 % por cada disminución unitaria de contenido de humedad por debajo del 20 %. El grueso medio y el ancho medio de la pieza no deberán ser inferiores a las dimensiones nominales, teniendo en cuenta los cambios dimensionales debidos a la variación del contenido de humedad

Como mínimo se deberán cumplir las tolerancias de la clase menos exigente de la norma (clase 1). En la longitud de la pieza no se admiten desviaciones negativas.

La madera aserrada se suele ofrecer con superficie rugosa, tal y como sale de la sierra. Para construcciones vistas o aplicaciones especiales (por ejemplo láminas para madera laminada) se suele ofrecer cepillada.

Comentarios

Las dimensiones nominales de las piezas que forman una estructura deberán ser las utilizadas en el proyecto de la misma. Por lo tanto, es importante especificar en el proyecto el contenido de humedad de referencia para esas dimensiones (normalmente será el 12 % en condiciones de interior y en exteriores un contenido no superior al 20 %).

En algunas ocasiones el aserradero suministra la madera con las dimensiones nominales correspondientes al estado verde (contenido de humedad superior al 30 %). Después del secado las dimensiones de la sección transversal de las piezas pueden disminuir entre un 3 y un 4 %.

Igualmente, es importante especificar si las piezas irán simplemente aserradas o cepilladas. En el caso del cepillado se puede esperar una reducción del grueso por cara cepillada de 4 a 8 mm.

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

Debido a la heterogeneidad del material, la determinación de las propiedades mecánicas de la madera con destino estructural ha de llevarse a cabo sobre material previamente clasificado según sistemas aprobados y con total sujeción a los métodos normalizados de muestreo, ensayo y cálculo contenidos en las normas UNE-EN 384 y UNE-EN 408. Entre los métodos de clasificación aprobados cabe destacar los siguientes:

Clasificación visual: es el método más extendido y consiste en la asignación de una clase resistente (norma UNE-EN 338) a una determinada categoría, o clase de calidad, definida en una norma de clasificación visual en función de las singularidades de la madera (nudos, desviación de la fibra, fendas, acebolladuras, anillos de crecimiento, gemas, bolsas de resina, la madera de reacción, la madera juvenil y la acción producida por ataques de origen biótico (hongos e insectos xilófagos). En Europa todas las normas de clasificación visual son de carácter nacional pero han de ser desarrolladas siguiendo los principios establecidos en la norma armonizada UNE-EN 14081-1.

Clasificación mecánica: consiste en la realización de un ensayo mecánico no destructivo y rápido con el que se obtiene el módulo de elasticidad de la pieza a partir del que se asigna a una clase resistente de la norma UNE-EN 338. En la práctica industrial estos ensayos no destructivos se llevan a cabo de forma continua y a gran velocidad (superior a 90 m/min) por máquinas clasificadoras. El procedimiento para la puesta a punto y uso de las máquinas de clasificación estructural queda regulado en las normas UNE-EN 14081-2, 3 y 4. Habitualmente, las máquinas de clasificación tienen una limitación en el grueso máximo de las piezas que es de 70 mm. Por tanto, no es aplicable a piezas de mayores gruesos. En la actualidad este procedimiento está siendo desplazado por métodos más avanzados como los que se describen a continuación.

Clasificación acústica: consiste en la clasificación automática de las piezas basándose en la determinación del módulo de elasticidad dinámico de la madera a partir de la frecuencia propia de vibración y de su densidad. En muchos casos los aserraderos de gran producción de madera aserrada estructural utilizan este procedimiento junto con otros automáticos como puede ser la clasificación mecánica y la determinación de los defectos en la superficie mediante el escaneado de las piezas. El procedimiento para la puesta a punto y uso de este tipo de máquinas de clasificación estructural queda regulado en las normas UNE-EN 14081-2, 3 y 4.

Normas de clasificación visual estructural

Existe una gran diversidad de normas de clasificación visual de la madera aserrada. Prácticamente, cada país tiene su propia norma, que establece un determinado número de calidades (normalmente varían entre 1 y 4 clases), así como la forma de medir y evaluar los defectos. En la norma europea UNE-EN 1912 se puede consultar un completo listado de especies, procedencias, calidades y asignaciones a clases resistentes, citándose seguidamente las normas de uso más frecuente en España con el detalle de la denominación de sus calidades:

- Alemania, DIN 4074-1: S13, S10 y S7
- Francia, NF B 52001: ST-I, ST-II y ST-III
- Países Nórdicos, INSTA 142: T3, T2, T1 y T0
- EEUU, NGRDL: J&P (Sel, N°1, N°2 y N°3), SLF (Sel, N°1, N°2 y N°3), LF Const, LF Std y Stud
- Canadá, NLGA: J&P (Sel, N°1 y N°2), SLF (Sel, N°1 y N°2), LF Const, LF Std y Stud
- España, UNE 56544: ME-1, ME-2 y MEG (gruesa escuadría)
- España, UNE 56546: MEF (madera de frondosas)

Comentarios:

A nivel europeo existe un sistema de registro de las normas reconocidas de clasificación, con indicación de sus calidades y asignaciones resistentes, basado en su inclusión en la norma UNE-EN 1912. Para que una determinada madera, de una determinada especie y procedencia, clasificada con una determinada norma nacional tenga sus calidades reconocidas y asignadas a clases de resistencia de la norma UNE-EN 338, el Comité Europeo de Normalización CEN-TC 124 establece un minucioso proceso de aprobación, que se basa en el estricto cumplimiento de los contenidos de las normas UNE-EN 384 y UNE-EN 408, tanto en la fase de muestreo como en las posteriores de ensayo y cálculo de los valores característicos.

Normas españolas de clasificación visual

En España existen dos normas de clasificación visual por resistencia de la madera aserrada. Para las coníferas la norma UNE 56544:2007 establece un sistema de clasificación visual aplicable a la madera aserrada de uso estructural de las principales especies de coníferas españolas, asignando una clase resistente a cada una de las combinaciones de especie y calidad. Esta norma es de aplicación a la madera aserrada de procedencia española de las siguientes especies:

- Pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.)
- Pino laricio (*Pinus nigra* Arn.var. *Saltzmanii*)
- Pino gallego y pino pinaster de la meseta (*Pinus pinaster* Ait.)
- Pino insigne (*Pinus radiata* D. Don)

Para la madera aserrada de las cuatro especies de coníferas antes citadas con grueso inferior o igual a 70 mm, la norma establece dos calidades visuales: ME-1 y ME-2 (ME = Madera Estructural). Para madera de gran escuadría, entendiendo como tal a aquella que posee un grueso superior a 70 mm, la norma establece una única calidad, denominada MEG.

Para las maderas de frondosas se ha redactado la norma UNE 56546:2007 en la que de momento únicamente se encuentra incluida la especie del Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) con una sola calidad denominada MEF. En la actualidad se están llevando a cabo ensayos para incluir en la citada norma a la madera de castaño (*Castanea sativa*).

Clases resistentes

Con el fin de simplificar el proceso de cálculo se ha establecido en Europa un sistema de clases resistentes en el que se pueden encuadrar todas las combinaciones de especie-procedencia-calidad. El sistema de clases resistentes adoptado en Europa es el definido en la norma UNE-EN 338, la cual distingue las siguientes clases:

- Coníferas y chopo: se diferencian doce clases resistentes denominadas C14, C16, C18, C20, C22, C24, C27, C30, C35, C40, C45 y C50.
- Frondosas: se diferencian ocho clases resistentes denominadas D18, D24, D30, D35, D40, D50, D60 y D70.

La letra C o D hace referencia a la inicial del término en inglés para denominar la familia de especies (C: "coniferous" y D: "deciduous").

El número que acompaña a la letra C o D es la resistencia característica a flexión expresada en N/mm². En la tabla 4 se recogen los valores de las propiedades mecánicas de cada clase resistente.

	Especies coníferas													Especies frondosas							
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
Propiedades resistentes en N/mm ²																					
Flexión	f _{m,k}	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	18	24	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela	f _{t,0,k}	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	11	14	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular	f _{t,90,k}	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela	f _{c,0,k}	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	18	21	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular	f _{c,90,k}	2,0	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5
Cortante	f _{v,k}	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0
Propiedades de rigidez en kN/mm ²																					
Módulo elast. paralelo medio	E _{0,mean}	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	9,5	10	11	12	13	14	17	20
Módulo elast. paralelo 5º percentil	E _{0,05}	4,7	5,4	6,0	6,4	6,7	7,4	7,7	8,0	8,7	9,4	10,0	10,7	8,0	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8
Módulo elast. perpendicular medio	E _{90,mean}	0,23	0,27	0,30	0,32	0,33	0,37	0,38	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33
Módulo de cortante medio	G _{mean}	0,44	0,50	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1,00	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25
Densidad en kg/m ³																					
Densidad característica	ρ _k	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	475	485	530	540	550	620	700	900
Densidad media	ρ _{mean}	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	570	580	640	650	660	750	840	1080

Tabla 4. Clases resistentes de madera aserrada. Valores característicos (norma UNE-EN 338:2009).

Asignación de la clase resistente

La relación entre las combinaciones especie-procedencia-calidad visual y las clases resistentes está recogida en la norma UNE-EN 1912. En la tabla 5 se recogen las asignaciones de las principales especies de coníferas empleadas en España.

Tabla 5. Correspondencia entre clases resistentes y calidades para los casos más frecuentes (extracto de la norma UNE-EN 1912).

NORMA Y PROCEDENCIA	C14	C16	C18	C22	C24	C27	C30
DIN 4074 abeto, (CNE)		S7			S10		S13
picea, pino silvestre (CNE)			S7		S10		S13
NFB 52.001 abeto, picea (Francia)			ST-III		ST-II		ST-I
pino oregón, pino pinaster (Francia)			ST-III		ST-II		
INSTA 142 abeto, picea pino silvestre (NNE)	T0		T1		T2		T3
NGRDL pinos amarillos del sur (USA)	LF Std	J&P N°3, SLF N°3, Stud	LF Const	J&P N°1, J&P N°2, SLF N°1, SLF N°2			J&P Sel, SLF Sel
NLGA abeto sitka (Canadá)	J&P N°1, J&P N°2, SLF N°1, J&P N°2		J&P Sel, SLF Sel				
NGRDL y NLGA pino oregón, SPF (USA y Canadá)	LF Const, Stud	J&P N°1, J&P N°2, SLF N°1, SLF N°2			J&P Sel, SLF Sel		
UNE 56 544 pino silvestre (España)			ME-2	MEG		ME-1	
pino radiata, pino pinaster (España)			ME-2		ME-1		
pino laricio (España)			ME-2	MEG			ME-1

CNE: Europa Central, del Norte y del Este.
NNE: Europa Norte y Nordeste.
La denominación abeto se refiere al *Albies alba* y la denominación picea (también llamado falso abeto) a la *Picea Albies*.

Durabilidad

En la práctica no existen problemas de durabilidad en piezas situadas en las clases de uso 1 y 2 (interior y exterior no sometida a la intemperie directa, respectivamente), siendo apta para estos usos cualquier especie de madera. En la clase de uso 3.1 y de forma especial en las 3.2, 4 y 5 se requiere una especie de mayor durabilidad natural o un tratamiento químico de protección. Normalmente las especies coníferas habituales en estructuras no presentan durabilidad natural suficiente (casi siempre incorporan parte de albura que no es durable) y por tanto requieren tratamiento para su empleo en clases de uso 3.1, 3.2, 4 y 5. Para la elección del tipo de tratamiento adecuado puede consultarse el Documento Básico de Seguridad Estructural – Madera o el capítulo de Durabilidad de esta Guía.

Comportamiento al fuego

La reacción al fuego de las piezas de madera aserrada de sección rectangular sin necesidad de ensayos previos puede asignarse a la Euroclase D-s2,d0, de acuerdo con el anexo C de la norma UNE-EN 14081-1, siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

- Valor mínimo de la densidad media de la madera: 350 kg/m³
- Espesor total mínimo de la pieza: 22 mm

Esta reacción al fuego se puede mejorar con la aplicación de tratamientos retardadores del fuego. En estos casos el suministrador deberá aportar el correspondiente informe de ensayo y clasificación realizado de acuerdo con la norma UNE-EN 13501-1. Sin embargo, en la práctica no es frecuente recurrir a estos tratamientos cuando se trata de madera aserrada con destino estructural.

La resistencia al fuego de la pieza de madera se deberá calcular de acuerdo con el método simplificado del DB de Seguridad contra Incendio o de acuerdo con la norma EN1995-1-2. El parámetro dependiente de la madera es la velocidad de carbonización que toma los valores eficaces de 0,8 mm/min en madera aserrada de coníferas y de 0,5 a 0,7 mm/min en madera aserrada de frondosas y madera laminada encolada.

En madera de coníferas una pieza de madera trabajando a flexión con 3 caras expuestas al fuego (típica configuración de una vigueta o correa vista) requiere unos 100 mm de anchura para alcanzar la resistencia R30.

Propiedades térmicas

En la tabla 6 se recogen los valores de las propiedades físicas relacionadas con el acondicionamiento ambiental extraídas del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

Material	$\rho^{(1)}$ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Frondosa				
Frondosa, muy pesada	$\rho > 870$	0,29	1600	50
Frondosa, pesada	$750 < \rho \leq 870$	0,23	1600	50
Frondosa, de peso medio	$565 < \rho \leq 750$	0,18	1600	50
Frondosa, ligera	$435 < \rho \leq 565$	0,15	1600	50
Frondosa, muy ligera	$200 < \rho \leq 435$	0,13	1600	50
Conífera				
Conífera, muy pesada	$\rho > 610$	0,23	1600	20
Conífera, pesada	$520 < \rho \leq 610$	0,18	1600	20
Conífera, de peso medio	$435 < \rho \leq 520$	0,15	1600	20
Conífera, ligera	$\rho \leq 435$	0,13	1600	20
Balsa	$\rho \leq 200$	0,057	1600	20

⁽¹⁾ Valor medio de densidad de la madera y de los productos de madera correspondiente a una temperatura de 20°C y con una humedad relativa del 65%.

λ conductividad térmica, en W/m K, o la resistencia térmica R, en m²·K/W;

c_p calor específico, en J/kg K;

μ factor de resistencia a la difusión del vapor de agua.

Tabla 6. Propiedades físicas de la madera relacionadas con el aislamiento térmico.

MARCADO CE

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE es la UNE-EN 14.081-1, que entró en vigor el 1 de septiembre de 2006. Desde dicha fecha y hasta el final del periodo de coexistencia (1 de septiembre de 2009) el marcado CE de la madera aserrada es voluntario pero no obligatorio.

ESPECIFICACIONES

A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para una estructura de madera.

- **Especie:** Definida por la denominación comercial "oficial" y si es posible se añadirá el nombre botánico para mayor precisión. Se empleará la terminología contemplada en la norma UNE-EN 13556.
- **Propiedades mecánicas:** En el DB-SEM se establece que la madera aserrada, para su uso en estructuras, estará clasificada quedando asignada a una clase Resistente (Capítulo 4, apartado 4.1). Las características exigidas en el proyecto para la madera aserrada estructural quedarán especificadas mediante la denominación de la especie y su calidad, haciendo referencia a la norma de clasificación correspondiente al país de procedencia (Ejemplo. Pino silvestre ME-1 de procedencia española clasificado de acuerdo con UNE 56544). También y siempre que el proyectista considere que el factor especie no es importante se puede especificar directamente la madera aserrada citando la clase resistente deseada (Ejemplo, Madera aserrada C27). Las clases resistentes más fáciles de encontrar en el mercado Español son la C18 (coníferas) o D18 (frondosas) aunque en el mercado no es difícil encontrar maderas con clases resistentes declaradas de hasta C30 o D30.
- **Dimensiones nominales:** Serán las deducidas a partir del cálculo para las piezas de madera y los elementos de conexión. Salvo indicación en contra, las tolerancias dimensionales serán las correspondientes a la clase 1 de la norma UNE-EN 336. Si es posible, las dimensiones nominales exigidas por proyecto a la madera aserrada deberían ajustarse a una gama de dimensiones comerciales.
- **Contenido de humedad:** Como norma general se debe especificar un contenido de humedad en la madera no superior al 20 % (salvo madera de gruesa escuadría que en su interior podría alcanzar el 25%) y, si es posible, lo más cercana posible a la humedad media de equilibrio higroscópico corres-

pondiente a la ubicación de la obra. El control de la humedad debe hacerse en la recepción. Para la estimación del contenido de humedad de la madera a su recepción podrá utilizarse la metodología contemplada en la norma UNE-EN 13183-2 (xilohigrómetro de resistencia) y en el Anexo A.3 de la norma UNE 56544.

- **Tratamiento preventivo:** Deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso correspondiente. Cuando sea necesario un tratamiento en profundidad (clases de uso 3.2, 4 y 5) deberá utilizarse una madera impregnable. El tratamiento deberá estar documentado de acuerdo con lo establecido al respecto en el Capítulo 13 del DB-SE-M. Para más información sobre tratamientos, durabilidad natural de maderas y calificación de su impregnabilidad se recomienda consultar el documento de aplicación de Durabilidad.
- **Comportamiento al fuego:** La estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio deberá ser justificada mediante cálculo de acuerdo con los principios del DB-SI o de acuerdo con la norma EN1995-1-2, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Si es necesario una mejora de la reacción al fuego (que además aumenta ligeramente la estabilidad al fuego) se pueden prescribir productos para mejorar su comportamiento al fuego. Las propiedades y garantías de los productos deben ser aportadas por el fabricante.
- **Almacenaje, transporte y montaje:** Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos.
En el caso de vigas de gran longitud deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical.
Los elementos de madera almacenados en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie, evitando que queden almacenados en clases de uso distintas para las que han sido diseñados o solicitados. Para clases de uso 1 y 2, una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura.

BIBLIOGRAFÍA

Arriaga, F., Peraza, F. y Esteban, M. (2003). *Madera aserrada estructural*. Editorial AITIM. (159 págs.).

Guindeo, A., García, L., Peraza, F., Arriaga, F., Kasner, C., Medina, G., Palacios, P. y Touza, M. (1997). *Especies de madera*. Editorial AITIM. (738 págs.).

Argüelles, R., Arriaga, F. y Martínez C., J.J. (2000). *Estructuras de madera. Diseño y cálculo*. Editorial AITIM. Segunda Edición actualizada (663 págs.).

Catálogo de elementos constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. Versión preliminar: Mayo 08.

Clasificación de la madera aserrada. (1994). Revista AITIM nº 172 "Finlandia". Madrid, nov.-dic. 1994.

Fernández-Golfin, J.I. y otros (2003). *Madera estructural: estrategias para su clasificación*. Revista AITIM nº 223, mayo-junio, págs. 36-42.

Fernández-Golfin, J.I. y otros (2003). *Manual de clasificación de madera*. Editorial AITIM, Madrid.

Fernández-Golfin, J.I. y otros. (2003). *Normas aplicables a las estructuras de madera maciza*. Revista AITIM nº 221, págs. 40-43, Madrid.

NORMATIVA

DIN 4074-1:2003. *Strength grading of wood. Part 1: Coniferous sawn timber*.

EN1995-1-2:2004. *Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: General. Proyecto en situación de incendio*.

Nordic timber - Grading rules for pine and spruce sawn timber (1994). Föreningen Svenska Sagversmän (FSS), Sweden Suomen Sahateollisuusmiesten Yhdistys (STMY), Finland Treindustriens Tekniska Forening (TTF), Norway.

INSTA 142. *Reglas nórdicas de clasificación visual de la resistencia de la madera*.

NF B52001. *Règles d'utilisation du bois dans les constructions; Classement visuel pour pour emploi en structure pour les principales essences résineuses et feuillues*.

NGRDL. *The National Grading Rules for Softwood Dimension Lumber*.

NLGA. *The National Grading Rules for Dimension Lumber*.

UNE 56544:2007. *Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de coníferas*.

UNE 56546:2007. *Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural. Madera de frondosas*.

UNE-EN 1309-1:1997. *Madera aserrada y madera en rollo. Método de medida de las dimensiones. Parte 1: Madera aserrada*.

UNE-EN 13501-1:2007. *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elemen-*

tos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.

UNE-EN 13556:2004. *Madera aserrada y en rollizo. Nomenclatura de las maderas utilizadas en Europa*.

UNE-EN 1912:2008. *Madera estructural. Clases resistentes. Asignación de calidades visuales y especies (UNE-EN 1912:2005+A2)*.

UNE-EN 336:2003. *Madera estructural. Dimensiones y tolerancias*.

UNE-EN 338:2008. *Madera estructural. Clases resistentes*.

UNE-EN 844-6:1997. *Madera aserrada y madera en rollo. Terminología. Parte 6: Términos generales relativos a las dimensiones de la madera aserrada*.

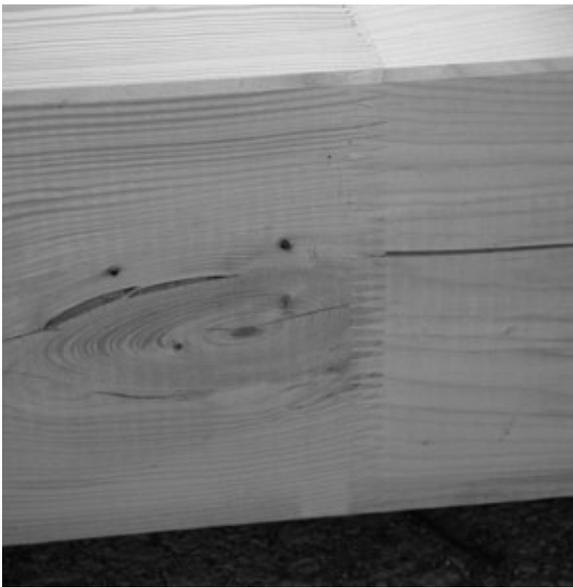
UNE-EN14081-1:2006. *Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales*.

UNE-EN 13183-2:2004. *Contenido de humedad de una pieza de madera aserrada. Parte 2: Estimación por el método de la resistencia eléctrica*.

MADERA EMPALMADA ESTRUCTURAL

DEFINICIÓN

Piezas rectas de sección rectangular obtenidas por el empalme de piezas de madera aserrada destinadas a un empleo estructural.



Comentarios: Este producto puede fabricarse con madera de coníferas y de frondosas. La definición está basada en la incluida en el borrador de norma prEN 15497.

Es frecuente la denominación comercial de este producto con las siglas KVH, procedente de la palabra alemana Konstruktionsvollholz (madera para construcción), siendo la marca utilizada por la German Timber Promotion Fund.

APLICACIONES

Las aplicaciones de este material son las mismas que las de la madera aserrada estructural, pero con la ventaja de que es un material más homogéneo con longitudes notablemente mayores que la madera aserrada del que procede, tan sólo limitadas por las habituales de transporte, en el entorno de los 14 m. Este material se comercializa clasificado, con asignación de clase resistente y un contenido de humedad en el entorno de un 15 %.

Los adhesivos utilizados para la unión de empalme por enta-

lladura múltiple son de color claro y translúcido, por lo que la unión apenas se aprecia una vez puesta en obra.

MATERIALES

Madera. Especies y calidades

En Europa la mayor parte de este producto se fabrica con madera de falso abeto o píceo (*Picea abies* L. Karst.), aunque también se emplean la madera de pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.), abeto (*Abies alba* Mill.) y alerce (*Larix decidua* Miller).

En España hay fabricantes que utilizan madera de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill.) y castaño (*Castanea sativa* Mill.).

Puede utilizarse cualquier especie que presente compatibilidad para el encolado. En el proyecto de norma prEN 15497 se consideran adecuadas las siguientes especies: Falso abeto y Abeto (*Picea abies*, *Abies alba*); Pino silvestre (*Pinus sylvestris*); Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*); Pino Laricio (*Pinus nigra*); Alerce (*Larix decidua*); Pino marítimo o pinaster (*Pinus pinaster*); Chopó (*Populus robusta*, *Populus alba*); Pino radiata (*Pinus radiata*); Abeto Sitka (*Picea sitchensis*); Hemlock del Oeste (*Tsuga heterophylla*), Cedro Rojo (*Thuja plicata*)

La madera utilizada para la fabricación de este material debe estar clasificada estructuralmente.

Adhesivos

De acuerdo con el proyecto de norma prEN 15497, el adhesivo deberá producir uniones resistentes y durables que mantengan la integridad del elemento durante toda la vida en servicio planificada para la estructura. En el proyecto de norma prEN 15497 se especifica que el adhesivo deberá cumplir los siguientes requisitos:

- Los adhesivos fenólicos y aminoplásticos serán de Tipo I según norma UNE-EN 301.
- Los adhesivos monocomponentes de poliuretano serán de Tipo I según la norma UNE-EN 15425.

Además de los anteriores podrán emplearse los adhesivos contemplados en la norma armonizada de Madera Laminada Encolada UNE-EN 14080. En la actualidad el adhesivo más empleado es el de poliuretano y a veces la resorcina.

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

Actualmente en el mercado la longitud máxima de este producto es del orden de 14 m, aunque bajo pedido pueden encontrarse productos de hasta 16 m. El grueso máximo es de 120 mm y el ancho máximo de 240 mm. En la tabla 1 se recoge la gama dimensional de escuadrías más frecuente.

Tabla 1. Gama dimensional de escuadrías en madera estructural empalmada.

Ancho (mm)	120	140	160	180	200	240
Grueso (mm)						
60	X	X	X	X	X	X
80	X	X	X		X	X
100	X				X	
120	X				X	X

La tolerancia dimensional actualmente especificada por los fabricantes para las dimensiones de la sección transversal es de ± 1 mm para un contenido de humedad de referencia del 15 %.

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de la madera empalmada son las mismas que las de la madera aserrada con la que se fabrica, siempre que se garantice que la resistencia característica (en flexión y tracción) de los empalmes dentados sea mayor o igual a los valores característicos de la madera.

La resistencia característica de las uniones dentadas se obtendrá mediante ensayos de flexión de canto, según norma UNE-EN 408, siguiendo el procedimiento de la norma UNE-EN 14358.

En el cálculo no se considera ninguna reducción de la resistencia debida al empalme dentado.

El producto más habitual en el mercado europeo se comercializa con una clase resistente C24. Bajo pedido puede suministrarse C30.

Durabilidad

Respecto de la durabilidad de estos materiales se aplicarán

los mismos principios ya vistos al tratar la madera aserrada estructural. Habitualmente este producto se comercializa sin tratamiento químico de protección.

Comportamiento al fuego

De acuerdo con el proyecto de norma prEN 15497 la clasificación en reacción al fuego de la madera empalmada se realizará según el ensayo definido en la norma UNE-En 13501-1.

Cuando se utilicen adhesivos de tipo I según UNE-EN 301, se admite que la resistencia al fuego de la madera empalmada es la misma que la de la madera maciza.

Acabado

Habitualmente estos productos se comercializan con sus superficies cepilladas y los aristas redondeadas. En el centro de Europa se comercializan dos calidades en función de su calidad superficial: Vi con acabado mejorado para aplicaciones visibles y NVi cuando el aspecto no es una variable fundamental al ir dirigidos estos elementos a aplicaciones donde no son visibles.

Contenido de humedad

Generalmente el producto se comercializa con un contenido de humedad del $15 \pm 3\%$.

TIPOS ESTRUCTURALES

Este producto se utiliza en los mismos tipos estructurales que la madera aserrada. Se pueden utilizar para la elaboración de elementos estructurales bien de forma individual o bien formando sistemas estructurales, con las siguientes posibilidades:

- Estructura horizontal: vigas, viguetas de forjado y entrevigado de suelo. Presenta la particularidad de permitir forjados continuos gracias a su longitud.
- Estructura vertical: pilares o muros entramados
- Estructura de cubierta: armaduras de cubierta (cerchas, correas, pares, parecillos). Es muy frecuente el empleo de la madera empalmada para armaduras ligeras de cubierta ya que su longitud facilita la fabricación de las mismas.

MARCADO CE

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE está todavía en fase de aprobación (prEN 15497). Cuando ésta sea definitivamente aprobada, el marcado CE de estos productos será voluntario siendo obligatorio sólo cuando las Autoridades administrativas nacionales establezcan el fin del periodo de coexistencia.

ESPECIFICACIONES

A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para la utilización de madera estructural empalmada.

- **Especie y propiedades mecánicas:** Al tratarse de un producto industrializado es suficiente con especificar la clase resistente. La más habitual en coníferas es la C24. Además puede especificarse la especie con la denominación comercial "oficial" y si es posible y para mayor precisión se añadirá el nombre botánico de la especie de madera con la que está fabricado.
- **Fabricación:** Deberá especificarse en proyecto que el fabricante debe acreditar que la fabricación ha sido realizada de acuerdo con las especificaciones de fabricación definidas en el proyecto de norma prEN 15497 (o hasta su vigencia la norma UNE-EN 385).
- **Dimensiones nominales:** Serán las deducidas a partir del cálculo y deberán cumplir la tolerancia de ± 1 mm en las dimensiones de la sección transversal, referidas el 15 % de contenido de humedad. Si es posible, deberían ajustarse a una

gama de dimensiones comerciales.

- **Contenido de humedad:** A la salida de fábrica el producto se comercializa con un contenido de humedad del 15 ± 3 %, valor adecuado para su puesta en obra.
- **Tratamiento preventivo:** Se seguirán las mismas indicaciones que para madera aserrada
- **Comportamiento al fuego:** Seguir las mismas indicaciones que para madera aserrada
- **Almacenaje, transporte y montaje:** Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos.

En el caso de vigas de gran longitud deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical.

Los elementos de madera almacenados en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie, evitando que queden almacenados en clases de uso distintas para las que han sido diseñados o solicitados. Para clases de uso 1 y 2, una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura.

BIBLIOGRAFÍA

Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R., Volz, M. and Winter, W. (2004). *Timber construction manual*. Birkhäuser. Edition Detail.

Fernández-Golfín Seco, J.I.; Díez Barra, M.R.; Hermoso Prieto, E. (2003) *Normas aplicables a las estructuras de madera laminada encolada*. Revista AITIM: (222): 56-58 (2003).

Schickhofer, G. (2003). *Productos de madera para la construcción*. ProHolz Austria.

NORMATIVA

DIN 1052:2004. *Design of timber structures. General rules and rules for buildings*.

DIN 4074-1:2003. *Strength grading of wood. Part 1: Coniferous sawn timber*.

EN1995-1-2:2004. *Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: General. Proyecto en situación de incendio*.

prEN 15497:2009. *Finger jointed structural timber*.

UNE-EN 13501-1:2007. *Clasificación en función del comportamiento al fuego de los productos de construcción y de los elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego*.

UNE-EN 14080:2006. *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Requisitos*.

UNE EN 14081-1:2006. *Estructuras de madera. madera clasificada estructuralmente con sección rectangular. parte 1: Requisitos generales*.

UNE-EN 14358:2007. *Estructuras de madera. Cálculo del valor característico del percentil del 5% y criterio de aceptación para una muestra*.

UNE-EN 15425:2008. *Adhesivos. Adhesivos de poliuretano de un componente para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento*.

UNE-EN 301:2007. *Adhesivos fenólicos y aminoplásticos para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento*.

UNE-EN 350-1:1995. *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 1: guía para los principios de ensayo y clasificación de la durabilidad natural de la madera*.

UNE-EN 350-2:1995. *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa*.

UNE-EN 385:2002. *Empalmes por unión dentada en madera estructural. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación*.

UNE-EN 717-1:2006. *Tableros derivados de la madera. Determinación de la emisión de formaldehído. Parte 1: Emisión de formaldehído por el método de la cámara*.

MADERA ASERRADA ENCOLADA

DEFINICIÓN

Perfiles estructurales de sección rectangular formados por el encolado de dos o tres láminas de madera, con un espesor superior a 45 mm y menor o igual a 85 mm, dispuestas en dirección paralela al eje de las láminas. Comercialmente se conocen con el nombre de dúos y tríos.

Comentarios:

La definición anterior procede del proyecto de norma prEN 14080. La norma francesa NF B52-010 define el producto Bois Massif Reconstitué (BMR) de forma similar pero el número máximo de láminas admitido es de cinco y la esbeltez de la sección acabada se limita a 3,5 (canto/ancho $\leq 3,5$).

APLICACIONES

Este producto comparte los usos estructurales con la madera aserrada y laminada encolada en luces pequeñas y medias. Principalmente se emplea como vigas, viguetas, pares y correas en viviendas y edificios de luces reducidas. Presentan la ventaja de permitir luces y escuadras mayores que la madera aserrada.

También son utilizados para la fabricación de armaduras de cubierta aprovechando sus mayores longitudes.

MATERIALES

Madera

Especies: En principio puede utilizarse cualquier especie que sea apta para el encolado de acuerdo con una calificación de un organismo competente. Las especies más empleadas son las siguientes:

- Abeto o falso Abeto (*Picea abies* L. Karst). La más común.
- Pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.)
- Abeto blanco (*Abies alba* Mill.)
- Pino laricio (*Pinus nigra* Arnold spp. nigra)
- Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* Franco)

En el proyecto de norma prEN 14080 se indica que para la fa-

bricación de la madera aserrada encolada sólo podrán utilizarse las especies siguientes:

Abeto rojo, Abeto o falso Abeto (*Picea abies*), Abeto blanco (*Abies alba*), Pino silvestre (*Pinus sylvestris*), Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*), Hemlock Occidental (*Tsuga heterophylla*), Pino laricio (*Pinus nigra*), Alerce (*Larix decidua*), Pino pinaster o Pino marítimo (*Pinus pinaster*), Chopo (*Populus robusta*, *Populus alba*), Pino radiata (*Pinus radiata*), Picea Sitka (*Picea sitchensis*), Pino Amarillo del Sur (*Pinus palustris*), Cedro rojo del Pacífico (*Thuja plicata*), Cedro amarillo (*Chamaecyparis nootkatensis*).

No obstante, en España se emplean algunas especies frondosas como el Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), el Roble (*Quercus robur* y *Quercus petraea*) y el Castaño (*Castanea sativa*) y se están llevando a cabo acciones para la inclusión en la norma.

Calidad o clase resistente de la madera:

La madera utilizada en la fabricación de la madera maciza encolada deberá estar clasificada estructuralmente de acuerdo con la norma UNE-EN 14081-1. En el centro de Europa lo más frecuente es utilizar abeto con una calidad S10 (o S10K) según la norma DIN 4074-1, y bajo pedido puede utilizarse la calidad S13 (o S13K). Las clases resistentes que se obtienen son C24 y C30, respectivamente. Si se clasifica mecánicamente las calidades son C35M y C40M según DIN 4074-1 que corresponden a las clases resistentes C35 y C40, respectivamente.

Puede observarse que, generalmente, las propiedades mecánicas que se asignan al producto formado por las láminas son las mismas que presentan las láminas (la misma clase resistente).

Contenido de humedad:

En el proceso de fabricación del producto la fase de encolado obliga a un secado y control del contenido de humedad de las láminas. En la norma NF B52-010 se recogen los requisitos de contenido de humedad exigidos en la fabricación de madera laminada encolada, norma UNE-EN 386, que a continuación se resumen:

El contenido de humedad medio de cada lámina depende de si la madera ha sido tratada o no con un producto protector.

- Madera no tratada: durante el armado deberá estar comprendido entre el 8 y el 15%.
- Madera tratada: durante el armado debe estar comprendido entre el 11 y 18%.

En ambos casos la variación de contenido de humedad de las láminas de una misma pieza no excederá del 4%.

Comentarios:

En el proyecto de norma prEN 14080 la especificación del contenido de humedad de la madera en el borrador actual difiere ligeramente. Según este proyecto de norma el contenido de humedad de cada lámina deberá encontrarse en el rango del 6 % al 15 %, a no ser que el fabricante del adhesivo requiera un margen más estrecho. La variación del contenido de humedad de las láminas dentro de una pieza no deberá ser mayor que el 5 %.

Adhesivos

El adhesivo deberá ser capaz de producir uniones durables en las piezas encoladas destinadas a las respectivas clases de servicio de acuerdo con la norma UNE-EN 1995-1-1. Para piezas situadas en clase de servicio 1 se podrán utilizar adhesivos de Tipo I o II según la norma UNE-EN 301 o la UNE-EN 15425. Para piezas en clase de servicio 2 o 3 se deberán utilizar adhesivos clasificados como Tipo I en las normas UNE-EN 301 o en la UNE-EN 15425.

Si se aplica un producto protector antes del encolado de las láminas deberá documentarse que los requisitos del proyecto de norma prEN 14080 se cumplen para la combinación de adhesivo y producto protector.

Los adhesivos más utilizados son las resinas de melamina y poliuretano. En el proyecto de norma prEN 14080 se incluye un anexo con una lista de adhesivos aptos para la fabricación de piezas encoladas con uso estructural.

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

Las escuadrías más habituales para piezas formadas por dos o tres láminas, figura 1, se recogen en las tablas 1 y 2. La longitud máxima es de 18 m.

Tabla 1. Secciones transversales de dúos.

Secciones transversales de los dúos	Dimensión (h) en mm				
	80	100	120	140	160
100		X			X
120			X		X
140	X			X	
160	X	X	X		X
180	X	X	X		
200	X	X	X	X	
220	X	X	X		
240	X	X	X		

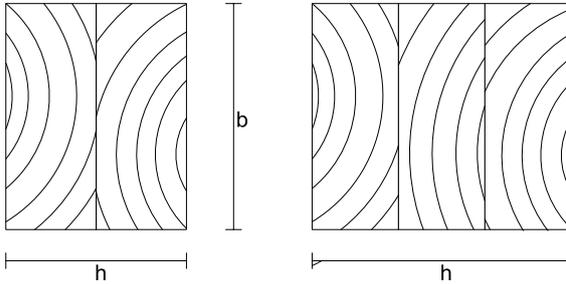
Anchura de lámina (b) en mm

Tabla 2. Secciones transversales de tríos.

Secciones transversales de los tríos	Dimensión (h) en mm		
	180	200	240
120			X
140			X
160		X	X
180	X		X
200	X	X	
220	X		

Anchura de lámina (b) en mm

Figura 1. Secciones de Dúo y Tríó.

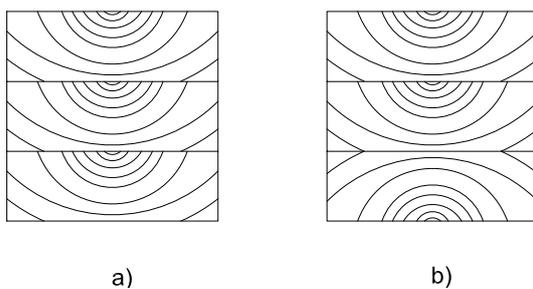


Generalmente, el grueso, t , la anchura, b , y el área de la sección transversal de las laminas cepilladas, A , cumplen las siguientes condiciones:

$$t \leq 80 \text{ mm}; \quad b \leq 240 \text{ mm}; \quad A \leq 15.000 \text{ mm}^2$$

El proyecto de norma prEN 14080 limita el grueso a un máximo de 85 mm, la anchura a 280 mm y el canto a 240 mm. También se indica que todas las laminas deberán tener el corazón hacia el mismo lado, figura 2a, con la excepción de las piezas destinadas a la clase de servicio 3 en las que las laminas extremas en cada lado deberán tener el corazón mirando hacia el exterior, figura 2b.

Figura 2. Orientación de las laminas en la sección transversal.



Comentarios:

En algunos casos (Herzog 2004) se admite como valor máximo de la anchura 280 mm si el grueso de lámina es menor o igual a 80 mm; para el caso de tríos, además, admite un máximo de anchura de 100 mm si el grueso es menor o igual a 120 mm. Sin embargo, el grueso de lámina de 120 mm supera lo que habitualmente se admite para este producto.

La norma francesa NFB52-010 limita el grueso de lámina a 80 mm y la anchura a 260 mm. Igualmente indica que las laminas externas se dispondrán en la sección con el corazón hacia fuera.

En el borrador de norma prEN 14080 se especifican las tolerancias dimensionales que se recogen en la tabla 3.

Tabla 3. Tolerancias dimensionales para las piezas de madera aserrada encolada.

	Tolerancia	
	Dimensiones sección transversal	≤ 100 mm
	> 100 mm	± 1,5 mm
Máximo descuadre de la sección transversal respecto al ángulo recto	1:50	
Longitud de una pieza recta	l ≤ 10 m	± 3 mm
	l > 10 m	± 5 mm

Las dimensiones de la pieza se corregirán por hinchazón y merma con un coeficiente unitario, k, definido en la tabla 4 por el proyecto de norma prEN 14080.

Tabla 4. Coeficiente unitario de deformación (para un cambio de contenido de humedad del 1%).

	k
Perpendicular a la fibra	0,0025
Paralelo a la fibra	0,0001

Los valores son válidos para madera de coníferas y chopo con un contenido de humedad comprendido entre el 6 % y el 25 %. El coeficiente unitario de deformación k perpendicular a la fibra es un valor medio entre la deformación tangencial y radial.

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas (resistencia y rigidez) y la densidad del producto pueden obtenerse mediante ensayos, o a partir de la clasificación de las propiedades de las láminas. Esta verificación deberá realizarse de acuerdo con lo especificado en el proyecto de norma prEN 14080.

La práctica habitual en este producto para asignar la clase resistente es adoptar la misma que tenga la madera aserrada que forma las láminas. Normalmente es C24. Bajo pedido puede conseguirse C30. La resistencia característica de los empalmes dentados de las láminas necesaria es función de la resistencia característica a flexión de la madera maciza encolada, según prEN 14080.

Cuando las propiedades mecánicas de la madera aserrada encolada se obtengan a partir de ensayos, éstos se realizarán de acuerdo con el anexo H del proyecto de norma prEN 14080.

Comentarios:

La norma francesa NF B52-010 da como valor mínimo de la clase resistente una C18 y como máximo una C24.

En el proyecto de norma prEN 14080 para la madera aserrada encolada se proponen los factores de altura y de volumen iguales a los que actualmente se aplican en la madera laminada encolada.

Durabilidad

Para garantizar la durabilidad de la estructura se puede elegir una especie con la durabilidad natural suficiente para la clase de uso según norma UNE-EN 350-2 o aplicar el tratamiento adecuado de protección de acuerdo con el proyecto de norma prEN 15228, siempre que la madera sea suficientemente impregnable.

En la práctica no existen problemas de durabilidad en piezas situadas en las clases de uso 1 y 2 (interior y bajo cubierta sin exposición directa al agua de lluvia) y cualquier especie es apta. En la clase de uso 3 y de forma especial en las 4 y 5 se requiere una especie de mayor durabilidad natural o un tratamiento químico de protección. Normalmente las especies coníferas habituales en estructuras no presentan durabilidad natural suficiente (casi siempre incorporan parte de albura que no es durable) y por tanto requieren tratamiento. Para la elección del tipo de tratamiento adecuado puede consultarse el Documento Básico de Seguridad Estructural – Madera.

Generalmente este producto se comercializa sin tratamiento químico de protección.

Comportamiento al fuego

En el proyecto de norma prEN 14080 se indica que la Euroclase de reacción al fuego es la D-s2,d0, siempre que la den-

sidad media sea mayor o igual a 380 kg/m³ y que el espesor total mínimo de la pieza sea igual a 40 mm.

Si el fabricante define una clase de reacción al fuego diferente, tiene que aportar el correspondiente informe de ensayo y de clasificación realizado de acuerdo con la norma UNE-EN 13501-1.

La resistencia al fuego de la pieza de madera se deberá calcular de acuerdo con el DB de Seguridad contra Incendio o de acuerdo con la norma UNE-EN 1995-1-2. El parámetro dependiente de la madera es la velocidad de carbonización que toma los valores eficaces de 0,8 mm/min en madera aserrada de coníferas y de 0,5 a 0,7 mm/min en madera aserrada de frondosas y madera laminada encolada.

En este producto que se encuentra a medio camino entre la madera aserrada y laminada la normativa no especifica que velocidad de carbonización le corresponde. A favor de la seguridad se recomienda emplear el valor correspondiente a la madera aserrada.

En madera de coníferas una pieza de madera trabajando a flexión con 3 caras expuestas al fuego (típica configuración de una vigueta o correa vista) requiere unos 100 mm de anchura para alcanzar la resistencia R30.

Acabado

En el centro de Europa se comercializan dos calidades en función de su acabado: NVi con las aristas redondeadas para piezas no vistas, y Vi con las cuatro caras cepilladas y aristas redondeadas para piezas que quedarán vistas.

Contenido de humedad

El contenido de humedad del producto acabado es menor o igual al 15 %.

TIPOS ESTRUCTURALES Y PREDIMENSIONADO

Este producto se utiliza en los mismos tipos estructurales que la madera aserrada y la madera laminada en pequeñas luces. Se pueden utilizar para la elaboración de elementos estructurales bien de forma individual o bien formando sistemas estructurales, con las siguientes posibilidades:

- Estructura horizontal: vigas, viguetas de forjado y entrevigado de suelo. Presenta la particularidad de permitir forjados continuos gracias a su longitud y mayor sección.

- Estructura vertical: pilares o muros entramados
- Estructura de cubierta: armaduras de cubierta (cerchas, correas, pares, parecillos). Es frecuente el empleo de este producto para armaduras de cubierta ya que su longitud y sección facilita la fabricación de las mismas.

FABRICACIÓN Y MONTAJE

Fabricación

El proyecto de norma prEN 14080 incluye un capítulo sobre los requisitos de fabricación de piezas estructurales encoladas (de aplicación para la madera laminada encolada, la madera maciza encolada y los elementos compuestos por piezas de madera laminada encolada).

Comentarios:

La norma francesa NFB52-010 recoge los requisitos que deben reunir los locales para la fabricación, los equipos y las condiciones de la madera. La integridad de las líneas de cola sigue un planteamiento similar al que se utiliza en la madera laminada encolada. Utiliza los métodos de ensayo de cortante en línea de cola (UNE-EN 392) y delaminación (UNE-EN 391) e incluye una tabla de especificaciones para los resultados de ensayo con unos criterios similares a los de la norma de madera laminada encolada UNE-EN 386. Además, incluye especificaciones para la resistencia de los empalmes dentados.

Almacenaje, transporte y montaje

A falta de información sobre este producto, se podría adoptar las recomendaciones definidas para la madera laminada encolada: "Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos.

Los elementos de madera laminada encolada almacenadas en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie. Una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura."

MARCADO CE

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE está todavía en fase de aprobación (prEN 14080). Cuando ésta sea definitivamente aprobada, el marcado CE de estos productos será voluntario siendo obligatorio sólo cuando las Autoridades administrativas nacionales establezcan el fin del periodo de coexistencia.

ESPECIFICACIONES

A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para la utilización de madera maciza encolada.

- **Especie y propiedades mecánicas:** Al tratarse de un producto industrializado es suficiente con especificar la clase resistente. La más habitual es la C24. Además puede especificarse la especie con la denominación comercial "oficial" y si es posible se añadirá el nombre botánico para mayor precisión.

La especie más utilizada en Europa es el abeto (*Picea abies* L. Karst). Esta especie no es impregnable por lo que cuando es necesario un tratamiento de protección en profundidad se recurre en la mayoría de los casos al pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.).

- **Fabricación:** Deberá especificarse que la fabricación se realizará de acuerdo con el las especificaciones del proyecto de norma prEN 14080. Opcionalmente podrá hacerse referencia a la norma NF B52-010.
- **Dimensiones nominales:** Deducidas a partir del cálculo y deberán cumplir las tolerancias indicadas en el proyecto de norma prEN 14080. Si es posible, deberían ajustarse a una gama de dimensiones comerciales.
- **Contenido de humedad:** El producto se comercializa con un contenido de humedad no superior al 15 %, valor adecuado para su puesta en obra.
- **Tratamiento preventivo:** Deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso correspondiente. Cuando sea necesario un tratamiento en profundidad deberá utilizarse una madera impregnable.
- **Comportamiento al fuego:** Mediante cálculo debe justificarse la estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Si

es necesario una mejora de la reacción al fuego (que además aumenta ligeramente la estabilidad al fuego) se pueden prescribir productos para mejorar su comportamiento al fuego. Las propiedades y garantías de los productos deben ser aportadas por el fabricante.

- **Almacenaje, transporte y montaje:** Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos.

En el caso de vigas de gran longitud deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical.

Los elementos de madera almacenados en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie, evitando que queden almacenados en clases de uso distintas para las que han sido diseñados o solicitados. Para clases de uso 1 y 2, una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura.

BIBLIOGRAFÍA

Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R., Volz, M. And Winter, W. (2004). *Timber construction manual*. Birkhäuser. Edition Detail.

Schickhofer, G. (2003). *Productos de madera para la construcción*. ProHolz Austria.

NORMATIVA

EN1995-1-2:2004. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: General. Proyecto en situación de incendio.

NF B52-010 Octubre 2006. Bois de structure - Bois massif reconstitué (BMR) - Éléments linéaires reconstitués par collage de lames de bois massif de forte épaisseur - Définitions - Exigences - Caractéristiques.

prEN 14080 :2009. Timber structures. Glued laminated timber and glued laminated solid timber. Requirements.

prEN 15228:2008. Structural timber – Structural timber preservative treated against biological attack.

UNE-EN 13501-1:2007. Clasificación en función del comportamiento al fuego de los productos de construcción y de los elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.

UNE-EN 14081-1:2006. Estructuras de madera. Madera estructural con sección rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales.

UNE-EN 15425:2008. Adhesivos. Adhesivos de poliuretano de un componente para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento.

UNE-EN 1995-1-1:2006. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación.

UNE-EN 301:2007. Adhesivos fenólicos y aminoplásticos para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento.

UNE-EN 350-2:1995. Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza. Parte 2: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa.

UNE-EN 386:2002. Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.

UNE-EN 391:2002 (+Erratum 2004). Madera laminada encolada. Ensayo de delaminación de líneas de adhesivo.

UNE-EN 392:1995. Madera laminada encolada. Ensayo de esfuerzo cortante en líneas de adhesivo.

MADERA LAMINADA ENCOLADA PARA USO ESTRUCTURAL

DEFINICIÓN

Son elementos estructurales formados por el encolado de láminas de madera en dirección paralela al eje de las láminas. Según la norma UNE-EN 14080 las láminas tendrán un espesor comprendido entre 6 y 45 mm, y podrán utilizarse maderas de especies coníferas o chopo tratadas o no frente a agentes biológicos.



Comentarios:

En el proyecto de norma prEN 14080 se define la madera laminada encolada como una pieza estructural compuesta por al menos dos láminas encoladas en dirección paralela al eje de la pieza. También se observa que debido al cepillado el grueso de las láminas externas puede ser algo inferior a las internas.

APLICACIONES

La madera laminada encolada se utiliza como elemento estructural para la construcción. Las estructuras de madera laminada encolada resultan especialmente indicadas en las siguientes condiciones:

- Grandes luces libres en edificios de uso público, comercial o deportivo. Luces de 30 a 70 m.
- Luces moderadas (8 a 14 m) en construcciones mixtas de madera aserrada y laminada, para los elementos principales.
- Estructura de cubierta de peso propio reducido.
- Cuando se requiere un aspecto natural y cálido.
- Cuando se precisa una resistencia a los agentes químicos agresivos.

MATERIALES

Madera

- Especies

De acuerdo con las normas UNE-EN 14080 y UNE-EN 386, las maderas aptas para la fabricación de este producto serán las siguientes: falso Abeto (*Picea abies*), Abeto (*Abies alba*); Pino silvestre (*Pinus sylvestris*); Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*); Pino Laricio (*Pinus nigra*); Alerce (*Larix decidua*); Pino marítimo o pinaster (*Pinus pinaster*); Chopo (*Populus robusta*, *Populus alba*); Pino radiata (*Pinus radiata*); Picea Sitka (*Picea sitchensis*); Hemlock del Oeste (*Tsuga heterophylla*), Cedro Rojo (*Thuja plicata*) y Cedro Amarillo (*Chamaecyparis nootkatensis*).

La especie más utilizada en Europa es la *Picea abies*, que vulgarmente se conoce como abeto, abeto rojo, picea o falso abeto. El pino silvestre es la siguiente especie más empleada, principalmente cuando se requiere un tratamiento en profundidad, aplicable para clases de uso 3.2, 4 y 5.

En España se emplean además, algunas especies frondosas como el Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), el Roble (*Quercus robur* y *Quercus petraea*), el castaño (*Castanea sativa*) y en menor medida el Fresno (*Fraxinus excelsior*), el Haya (*Fagus sylvatica*) y el Iroko (*Chlorophora excelsa* y *Chlorophora regia*). Actualmente se están llevando a cabo acciones para su inclusión en la norma.

- Calidad o clase resistente de la madera

La madera deberá estar clasificada de acuerdo con la norma UNE-EN 14081-1. El fabricante puede recurrir a uno de los dos sistemas siguientes: utilizar madera clasificada estructuralmente y marcada con la clase resistente correspondiente (según UNE-EN 338); o, utilizar madera sin clasificar y realizar la clasificación estructural en la propia fábrica.

- Contenido de humedad

El contenido de humedad medio especificado de cada lámina depende de si la madera ha sido tratada o no con un producto protector.

- Madera no tratada: durante el armado deberá estar comprendido entre el 6 y el 15%. (Salvo especificaciones del fabricante del adhesivo)
- Madera tratada: durante el armado debe estar comprendido entre el 11 y 18%.

En ambos casos la variación de contenido de humedad de las láminas dentro de una misma pieza no excederá del 5%.

Comentarios:

En el proyecto de norma prEN 14080 la especificación del contenido de humedad de la madera, en el borrador actual, difiere ligeramente. Según este proyecto de norma, el contenido de humedad de cada lámina deberá encontrarse en el rango del 6 al 15%, a no ser que el fabricante del adhesivo requiera un margen más estrecho. La variación del contenido de humedad de las láminas dentro de una pieza no debe ser mayor que el 5%.

Adhesivos

El adhesivo deberá ser capaz de producir uniones durables en las piezas encoladas destinadas a las respectivas clases de servicio de acuerdo con la norma UNE-EN 1995-1-1. Para piezas situadas en clase de servicio 1 se podrán utilizar adhesivos de Tipo I o II según la norma UNE-EN 301 o la UNE-EN 15425. Para piezas en clase de servicio 2 o 3 se deberán utilizar adhesivos clasificados como Tipo I en las normas UNE-EN 301 o en la UNE-EN 15425.

Si se aplica un producto protector antes del encolado de las láminas deberá documentarse que los requisitos de la norma UNE-EN 14080 se cumplen para la combinación de adhesivo y producto protector.

Los adhesivos más utilizados en la actualidad son los siguientes:

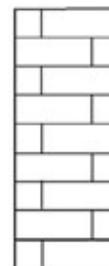
- Melamina-Urea-Formaldehído (MUF), de color translúcido y resistente a la humedad y al fuego.
- Resorcina-Fenol-Formaldehído (RPF), de color marrón oscuro, resistente a la humedad y al fuego. Permite tiempos de trabajo algo mayores que los adhesivos MUF. Ha sido desplazado por la melamina debido a razones medioambientales de sus residuos y emisiones de formaldehído durante la fabricación.
- Poliuretano (PU), de color transparente.

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

Las dimensiones de este producto no están normalizadas en una serie de tamaños, sino que cada fabricante tiene dimensiones ligeramente diferentes para el ancho y espesor de lámina.

La gama de anchuras habituales es la siguiente: 80, 100, 110, 130, 140, 160, 180, 200 y 220 mm. Por lo general, la exigencia de resistencia al fuego de 30 minutos obliga a un ancho mínimo en madera de coníferas del orden de 90 a 100 mm. En cualquier caso esto deberá ser comprobado por el cálculo.

Figura 1. Pieza de ancho elevado con láminas formadas por dos tablas.



Si fuera necesaria una anchura superior a 220 mm, la solución más habitual es disponer dos piezas juntas. En caso de precisar una pieza única de mayor anchura deberá recurrirse a acoplar en cada lámina dos tablas, contrapeando las juntas al tresbolillo, figura 1.

En elementos curvos, el espesor máximo de lámina está también limitado por el radio de curvatura r de las láminas y por la resistencia característica a flexión de la unión dentada. Esta resistencia tiene que cumplir un mínimo que es función de la clase resistente. Así, para las clases resistentes: GL24, GL28, GL32 y GL36 el espesor máximo de lámina deberá ser $r/185$, $r/177$, $r/169$ y $r/163$, respectivamente.

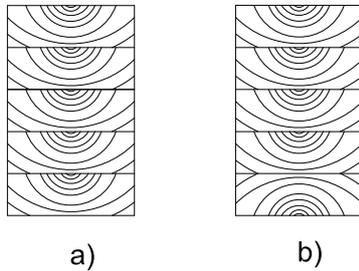
La altura máxima de la pieza varía con las características particulares de cada fabricante, pero suele estar en torno a 2.400 mm. La longitud máxima en pieza recta es del orden de 42 m. La anchura y altura envolventes del vehículo de transporte se limitan a unos 4,50 m. Para obtener luces mayores se puede recurrir a tipos estructurales de celosía o arcos articulados.

Los valores nominales de anchura, altura y longitud de las piezas se ajustarán a las tolerancias especificadas en la norma UNE-EN 390.

- anchura de la sección transversal: ± 2 mm
- altura de la sección transversal:
 - $h \leq 400$ mm $+ 4 / -2$ mm
 - $h > 400$ mm $(+ 1 / -0,5) \%$
- longitud de un elemento recto:
 - $l \leq 2$ m ± 2 mm
 - $2 \text{ m} > l \leq 20$ m $(\pm 0,1) \%$
 - $l > 20$ m ± 20 mm

Si el contenido de humedad es diferente al de referencia (12 %) las dimensiones deberán corregirse con los coeficientes que indica la norma anteriormente citada. En coníferas y chopo y para humedades comprendidas entre el 6 y el 25 %

Figura 2. Orientación de las láminas en la sección transversal.



se puede emplear el coeficiente de contracción unitario siguiente: 0,0025 en dirección perpendicular a la fibra y 0,0001 en dirección paralela a la fibra. El valor correspondiente a la dirección perpendicular a la fibra es la media entre el coeficiente tangencial y radial.

Los ángulos de la sección transversal no deben desviarse respecto a un ángulo recto en más de 1:50.

Todas las láminas deberán tener el corazón hacia el mismo lado, figura 2a, con la excepción de las piezas destinadas a la clase de servicio 3 en las que las láminas extremas en cada lado deberán tener el corazón mirando hacia el exterior, figura 2b.

PROPIEDADES

Clases resistentes

El sistema de clases resistentes es el definido en la norma UNE-EN 1194 que distingue 8 clases resistentes: 4 cuando la composición es homogénea (todas las láminas son de la misma clase resistente) y otras 4 cuando es combinada (las láminas extremas son de una clase resistente superior), que se exponen en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Clases resistentes de madera laminada encolada homogénea, según la norma UNE-EN 1194.

CLASES RESISTENTES	COMPOSICIÓN HOMOGÉNEA			
	GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Valores característicos N/mm ² (densidad en kg/m ³)				
Resistencia flexión	24	28	32	36
Resistencia tracción				
- paralela	16,5	19,5	22,5	26
- perpendicular	0,4	0,45	0,5	0,6
Resistencia compresión				
- paralela	24	26,5	29	31
- perpendicular	2,7	3,0	3,3	3,6
Resistencia cortante	2,7	3,2	3,8	4,3
Módulo de elasticidad				
- paralelo				
- medio	11.600	12.600	13.700	14.700
- característico	9.400	10.200	11.100	11.900
- perpendicular	390	420	420	490
Módulo de cortante	720	780	850	910
Densidad característica (kg/m ³)	380	410	430	450
Clase resistente requerida en las láminas	C24	C30	C40	-

Durabilidad

La estructura deberá tener una durabilidad al menos igual a la vida de servicio considerada para las condiciones de uso correspondientes. Esta durabilidad puede garantizarse por dos sistemas:

- Elección de una especie de madera con suficiente durabilidad natural, según la norma UNE-EN 350-2.

Tabla 2: Clases resistentes de madera laminada encolada combinada, según la norma UNE-EN 1194.

CLASES RESISTENTES	COMPOSICIÓN COMBINADA			
	GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c
Valores característicos N/mm ² (densidad en kg/m ³)				
Resistencia flexión	24	28	32	36
Resistencia tracción				
- paralela	14	16,5	19,5	22,5
- perpendicular	0,35	0,4	0,45	0,5
Resistencia compresión				
- paralela	21	24	26,5	29
- perpendicular	2,4	2,7	3,0	3,3
Resistencia cortante	2,2	2,7	3,2	3,8
Módulo de elasticidad				
- paralelo				
- medio	11.600	12.600	13.700	14.700
- característico	9.400	10.200	11.100	11.900
- perpendicular	390	390	420	460
Módulo de cortante	590	720	780	850
Densidad característica (kg/m ³)	350	380	410	430
Clase resistente requerida en las láminas	C24/C18	C30/C24	C40/C30	-

En esta línea de actuación en el centro de Europa se ha recurrido a la utilización de especies de madera de mayor durabilidad natural, que mantengan su aptitud para el laminado (como es el caso del alerce, género *Larix*). Más frecuente es el empleo de madera de "sacrificio" consistente en la protección de las piezas estructurales con un recubrimiento exterior construido con entablados de madera durable, que se reponga con facilidad al final de su vida útil.

- Tratamiento químico de protección adecuado a la clase de uso en la que se encuentre situada la estructura de acuerdo con el proyecto de norma prEN 15228, siempre que la madera sea suficientemente impregnable.

En general para clases de uso 1 y 2 el tratamiento aplicado a la madera laminada consiste en un tratamiento superficial mediante pulverizado o pincelado. Para las clases de uso 3 y 4 se recurre a un tratamiento en profundidad mediante autoclave. Lo más frecuente es el tratamiento de las láminas antes del encolado, utilizando sales hidrosolubles.

El tratamiento deberá estar documentado de acuerdo con lo establecido al respecto en el Capítulo 13 del DB-SE-M, con indicación expresa de la clase de uso correspondiente.

En cualquier caso es importante señalar la importancia de que el diseño constructivo de la estructura evite la exposición innecesaria a la intemperie y la posibilidad de retención de agua. Un correcto diseño puede rebajar la clase de uso en la que trabajará el elemento (especialmente desde la clase de uso 3.2 a la 3.1), disminuyendo o evitando totalmente la intensidad del tratamiento químico protector. Para más detalles sobre este particular se recomienda la consulta del Documento de Aplicación de Durabilidad.

Comportamiento al fuego

Según la norma UNE-EN 14080, la clasificación de reacción al fuego de la madera laminada encolada es la D-s2-d0 del sistema de Euroclases, siempre que cumpla las siguientes condiciones:

- Densidad media mínima: 380 kg/m³.
- Espesor total mínimo de la pieza: 40 mm.

Si el fabricante definiera una clase de reacción al fuego dife-

rente, tendría que aportar el correspondiente informe de ensayo y de clasificación realizado de acuerdo con la norma UNE-EN 13501-1.

La resistencia al fuego de la pieza de madera se deberá calcular de acuerdo con el DB de Seguridad contra Incendio o de acuerdo con la norma UNE-EN1995-1-2. El parámetro dependiente de la madera es la velocidad de carbonización que toma los valores eficaces de 0,7 mm/min en madera laminada encolada.

En madera de coníferas una pieza de madera laminada encolada trabajando a flexión con 3 caras expuestas al fuego (típica configuración de una vigueta o correa vista) requiere una anchura mínima de 90 a 100 mm para alcanzar la resistencia R30. En cualquier caso esto deberá comprobarse mediante el cálculo.

MARCADO CE

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE es la UNE-EN 14080, que entró en vigor el 1 de abril de 2008. Desde dicha fecha y hasta el final del periodo de coexistencia (1 de abril de 2010) el marcado CE de la madera aserrada es voluntario pero no obligatorio.

ESPECIFICACIONES

A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para una estructura de madera laminada encolada.

- **Especie y propiedades mecánicas:** Normalmente no es necesario llegar a especificar la especie de madera para la fabricación de la madera laminada encolada. En su caso, se definirá por la denominación comercial "oficial" y si es posible se añadirá el nombre botánico para mayor precisión. La especie más utilizada en Europa es el abeto (*Picea abies* L. Karst). Esta especie no es impregnable por lo que cuando es necesario un tratamiento de protección en profundidad se recurre en la mayoría de los casos al pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.).

Respecto de las propiedades mecánicas, al tratarse de un producto industrializado es suficiente con especificar la clase resistente elegida entre las existentes en la norma UNE-EN 1194. La clase más habitual es la GL24h y en algunas ocasiones la GL28c.

- **Fabricación:** Deberá especificarse en el proyecto que el fabricante debe acreditar que la fabricación ha sido realizada de

acuerdo con las especificaciones de fabricación definidas en la norma UNE-EN 386.

- **Dimensiones nominales:** Serán las deducidas a partir del cálculo para las piezas de madera y los elementos de conexión y deberán cumplir las tolerancias contempladas en la norma UNE-EN 390. Si es posible, deberían ajustarse a una gama de dimensiones comerciales.
- **Tratamiento preventivo:** Deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso correspondiente. Cuando sea necesario un tratamiento en profundidad (clases de uso 3.2, 4 y 5) deberá utilizarse una madera impregnable. El tratamiento deberá estar documentado de acuerdo con lo establecido al respecto en el Capítulo 13 del DB-SE-M. Para más información sobre tratamientos, durabilidad natural de maderas y calificación de su impregnabilidad se recomienda consultar el Documento de Aplicación de Durabilidad.
- **Comportamiento al fuego:** La estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio deberá ser justificada mediante cálculo de acuerdo con los principios del DB-SI o de acuerdo con la norma UNE-EN1995-1-2, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Si es necesario una mejora de la reacción al fuego (que además aumenta ligeramente la estabilidad al fuego) se pueden prescribir productos para mejorar su comportamiento al fuego. Las propiedades y garantías de los productos deben ser aportadas por el fabricante.
- **Almacenaje, transporte y montaje:** Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos.

En el caso de arcos, pórticos y otras estructuras similares deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical.

Los elementos de madera laminada encolada almacenados en obra deberán protegerse adecuadamente frente a la intemperie. Una vez colocados no es conveniente superar el plazo de un mes sin la protección de la cobertura.

BIBLIOGRAFÍA

- Argüelles, R., Arriaga, F. y Martínez C., J.J. (2000). *Estructuras de madera. Diseño y cálculo*. Editorial AITIM, Madrid. 663 págs.
- Arriaga, F., González, M.A., Medina, G., Ortiz, J., Peraza, F., Peraza, J.E. y Touza, M. (1994) *Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración*. Editorial Aitim, Madrid. 572 pp.
- Daguzé, D. (1992). *Conception des structures en bois lamellé collé*. Ed. Eyrolles, Paris. 192 págs.
- García, L., Guindeo, A., Peraza, C., De Palacios, P. y García, F. (2002). *La madera y su tecnología*. Editorial: Fundación Conde del Valle de Salazar, Mundi Prensa y AITIM. Madrid, 322 págs.
- Laner, F. (1994). *Il legno lamellare. Il progetto*. Ed. Francesco Lonati. Habitat Legno s.p.a. Edolo, Italia. 157 págs.
- Syndicat National des Constructeurs de Charpentiers en Bois Lamellé-Collé (1986). *Charpentiers en bois lamellé - collé. Guide pratique de conception et de mise en oeuvre*. Ed. Eyrolles, Paris. 222 págs.

NORMATIVA

- DIN 1052:2004. *Design of timber structures. General rules and rules for buildings*.
- EN1995-1-2:2004. Eurocódigo 5. *Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: General. Proyecto en situación de incendio*.
- prEN 14080:2009. *Timber structures. Glued laminated timber and glued laminated solid timber. Requirements*.
- prEN 15228:2008. *Structural timber – Structural timber preservative treated against biological attack*.
- UNE-EN 1194:1999. *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos*.
- UNE-EN 13501-1:2007. *Clasificación en función del comportamiento al fuego de los productos de construcción y de los elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego*.
- UNE-EN 14080:2006. *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Requisitos*.
- UNE-EN 14081-1:2006. *Estructuras de madera. Madera estructural con sección rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales*.
- UNE-EN 15425:2008. *Adhesivos. Adhesivos de poliuretano de un componente para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento*.
- UNE-EN 1995-1-1:2006. Eurocódigo 5. *Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación*.
- UNE-EN 301:2007. *Adhesivos fenólicos y aminoplásticos para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento*.
- UNE-EN 350-2:1995. *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza*.

- Parte 2: Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa*.
- UNE-EN 386:2002. *Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación*.
- UNE-EN 391:2002 (+Erratum 2004). *Madera laminada encolada. Ensayo de delaminación de líneas de adhesivo*.
- UNE-EN 392:1995. *Madera laminada encolada. Ensayo de esfuerzo cortante en líneas de adhesivo*.
- UNE-EN 408:2004. *Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas*.
-

MADERA MICROLAMINADA

DEFINICIÓN

Material compuesto por chapas de madera con la fibra orientada esencialmente en la misma dirección. No se excluye la presencia de chapas orientadas perpendicularmente. Generalmente se comercializa en forma de perfiles de sección rectangular con uso estructural.



Comentarios:

En inglés se denomina "Laminated Veneer Lumber" (LVL) y en francés "Lamibois".

APLICACIONES

Es un material específicamente diseñado para usos estructurales debido a la elevada resistencia, uniformidad de sus propiedades y a su poco peso. De forma muy ocasional se utilizan como elementos decorativos; los requisitos para esta última aplicación no se contemplan en este capítulo. Las aplicaciones son las siguientes:

- Viguetas de forjado en edificación residencial y comercial. Si son soluciones con la madera oculta las piezas pueden ser simples y quedarán protegidas con el cerramiento inferior. El intereje varía entre 0,60 y 1,10 m. Si son vistas los requisitos de incendio suelen llevar a la necesidad de colocar piezas dobles.
- Pares de cubierta.
- Vigas y cargaderos en construcción ligera.
- Paneles prefabricados ligeros para forjados y cubiertas con anchuras de hasta 2,5 m y longitud de hasta 13 m.

- Material para la fabricación de viguetas prefabricadas con sección en doble T. En concreto para la fabricación de las cabezas de la vigueta.
- Forjados mixtos de viguetas de madera microlaminada y hormigón. El grueso de la capa de hormigón suele ser del orden de 65 mm. Las elevadas propiedades mecánicas de este material permiten llegar a soluciones de alta eficacia.
- Pórticos triarticulados para construcciones agrícolas, industriales y deportivas con luces de 10 a 20 m.
- Cerchas y otros tipos estructurales de celosía con luces de 15 a 45 m. Normalmente emplean barras formadas por dos piezas con los herrajes ocultos.
- Rehabilitación de estructuras de madera. Su elevada capacidad mecánica permite el refuerzo de piezas de madera mediante el adosado de piezas laterales o la constitución de sistemas mixtos con tableros de madera microlaminada en la cara superior.



MATERIALES

Para su fabricación se utilizan especies coníferas. En Finlandia el abeto (*Picea abies* L. Karst) y el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y en Norteamérica Pino Oregón – Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) y Pino amarillo del Sur (*Southern pine*).

El número mínimo de chapas en una sección transversal debe ser de cinco y el grosor máximo de cada chapa debe ser de 6 mm. En Europa el espesor de lámina es normalmente de 3 mm. En Norteamérica varía entre 2,5 y 4,8 mm.

Para su fabricación normalmente se utilizan adhesivos fenólicos.

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

La madera microlaminada fabricada en Europa se comercializa habitualmente con las siguientes dimensiones:

- Grosos: 21, 24, 27, 33, 36, 39, 45, 51, 57, 63, 69 y 75 mm.
- Anchuras: 200, 225, 260, 300, 360, 400, 450, 500 y 600 mm. Estos son las anchuras estándares que son consecuencia del máximo aprovechamiento de la anchura de los paneles (1.800 y 2.500 mm).
- Longitud: a medida con un máximo de 23 m.

La madera microlaminada fabricada en Norteamérica se comercializa con las siguientes dimensiones:

- Grosos: 19 a 64 mm. Algún fabricante llega a 89 mm). El más común en construcción es el de 45 mm.
- Anchuras: las más comunes en construcción son 241, 302, 356, 406 y 476 mm. También se comercializan los siguientes: 140, 184 y 610 mm. La anchura del panel en fábrica es de 610 y 1.220 mm.
- Longitud: hasta un máximo de 24 m. Son comunes los largos siguientes: 14,6 – 17 – 18,3 y 20,1 m.

Las dimensiones nominales de las piezas son las especificadas por el comprador con el contenido de humedad de referencia del 10 ± 2 %. Los valores nominales de anchura, altura y longitud de las piezas se ajustarán a las tolerancias especificadas en la norma UNE-EN 14374 que se recogen a continuación:

- Grosor: $+(0,8+0,03 t)$ mm ó $-(0,4+0,03 t)$ mm, donde "t" es el espesor nominal. Se admiten desviaciones locales debidas a discontinuidades de las chapas, tales como orificios de nudos y juntas entre chapas.
- Anchura:
 - para anchuras < 400 mm: ± 2 mm respecto a la anchura nominal
 - para anchuras ≥ 400 mm: $\pm 0,5$ % de la anchura nominal
- Longitud: no debe desviarse más de ± 5 mm de la longitud nominal

Los ángulos de la sección transversal no deben desviarse respecto a un ángulo recto en más de 1:50 (aproximadamente $1,1^\circ$).

Para el cálculo de las variaciones dimensionales de la madera microlaminada fabricada con abeto en Europa es habitual emplear los siguientes coeficientes unitarios de contracción, tabla 1.

Tabla 1. Coeficientes de contracción (%) para cada grado de variación del contenido de humedad.

Dirección	Composición con chapas paralelas	Con chapas paralelas y perpendiculares
Grosor	0,24	0,24
Anchura	0,32	0,03
Longitud	0,01	0,01

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

El fabricante debe aportar los valores característicos de resistencia y rigidez correspondientes al 5º percentil, obtenidos de acuerdo con la norma UNE-EN 14358. Los ensayos se realizarán de acuerdo con la norma UNE-EN 408, excepto para la resistencia y módulo de elasticidad a cortante en flexión de cara que se realizará de acuerdo con la norma UNE-EN 789.

En Europa la madera microlaminada se fabrica con dos tipos de composición. La primera denominada paralela se caracteriza por tener todas las láminas orientadas en la misma dirección. Adecuado para elementos estructurales como vigas, barras de estructuras en celosía, etc. Y la segunda se puede denominar cruzada y se caracteriza por tener un porcentaje (aproximadamente un 20 %) de las láminas orientadas perpendicularmente. El producto presenta una mayor estabilidad dimensional frente a los cambios de humedad. Se utiliza principalmente como tablero estructural y a veces para determinados elementos lineales como pilares de pórticos.

En la tabla 2 y para material de procedencia europea de madera de abeto se recogen los valores característicos más habituales de las propiedades mecánicas.

Tabla 2. Valores característicos más habituales de las propiedades mecánicas de la madera microlaminada con madera de abeto.

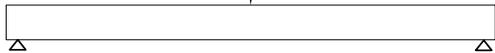
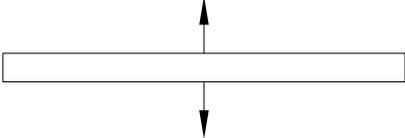
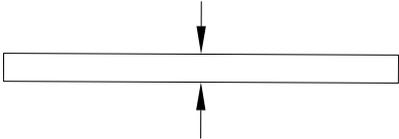
Propiedad	Símbolo	Valor característico, N/mm ² o kg/m ³		
		Composición paralela	Con chapas paralelas y perpendiculares	Con chapas paralelas y perpendiculares
		Grueso: 21-90 mm	Grueso: 21-24 mm	Grueso: 27-69 mm
5º percentil				
Resistencia a flexión:				
De canto (h = 300 mm)	$f_{m,canto,k}$	44,0	28,0	32,0
De cara (grueso 21 a 90 mm)	$f_{m,cara,k}$	50,0	32,0	36,0
Resistencia a tracción:				
Paralela a la fibra (longitud 3000 mm)	$f_{t,0,k}$	35,0	19,0	26,0
Perpendicular a la fibra, de canto	$f_{t,90,canto,k}$	0,8	6,0	6,0
Perpendicular a la fibra, de cara	$f_{t,90,cara,k}$	-	-	-
Resistencia a compresión:				
Paralela a la fibra	$f_{c,0,k}$	35,0	19,0	26,0
Perpendicular a la fibra, de canto	$f_{c,90,canto,k}$	6,0	9,0	9,0
Perpendicular a la fibra, de cara	$f_{c,90,cara,k}$	1,8	2,2	2,2
Resistencia a cortante:				
De canto	$f_{v,canto,k}$	4,1	4,5	4,5
De cara	$f_{v,cara,k}$	2,3	1,3	1,3
Módulo de elasticidad:				
Paralelo a la fibra	$E_{0,k}$	11.600	8.300	8.800
Perpendicular a la fibra, de canto	$E_{90,canto,k}$	350	2.000	2.000
Perpendicular a la fibra, de cara	$E_{90,cara,k}$	100	100	100
Módulo de cortante:				
De canto	$G_{canto,k}$	400	400	400
De cara	$G_{cara,k}$	400	-	-
Densidad	ρ_k	480	480	480
Valores medios				
Módulo de elasticidad:				
Paralelo a la fibra	$E_{0,mean}$	13.800	10.000	10.500
Perpendicular a la fibra, de canto	$E_{90,canto,mean}$	430	2.400	2.400
Perpendicular a la fibra, de cara	$E_{90,cara,mean}$	130	130	130
Módulo de cortante:				
De canto	$G_{canto,mean}$	600	600	600
De cara	$G_{cara,mean}$	600	60	120
Densidad	ρ_{mean}	510	510	510
s= 0,12 (parámetro del efecto de tamaño)				

Comentarios:

Debido a la orientación de las láminas es posible diferenciar dos posiciones de trabajo en relación a la flexión: flexión de canto cuando las láminas quedan en dirección perpendicular al eje de giro por flexión (viga) y flexión de cara cuando las láminas quedan en dirección paralela al eje de giro por flexión (tablero). Además, se diferencian dos direcciones en las sollicitaciones axiales de tracción y compresión: paralela a la fibra cuando las chapas externas son paralelas a la dirección

del esfuerzo y perpendicular a la fibra cuando las chapas externas son perpendiculares a la dirección del esfuerzo. En la figura 1 se describe la nomenclatura de las propiedades en relación con la orientación de las chapas y la posición de las piezas.

Figura 1. Nomenclatura para las propiedades mecánicas. (UNE-EN 14374)

Condiciones de carga	Madera microlaminada en flexión de canto 	Madera microlaminada en flexión de cara 
	$f_{m,0,canto}$ $f_{v,0,canto}$	$f_{m,0,cara}$ $f_{v,0,cara}$
	$f_{t,0}$	$f_{t,0}$
	$f_{t,90,canto}$	$f_{t,90,cara}$
	$f_{c,0}$	$f_{c,0}$
	$f_{c,90,canto}$	$f_{c,90,cara}$

Para la madera microlaminada se utiliza un coeficiente k_{mod} para ajustar las propiedades mecánicas de resistencia en función de la clase de servicio y duración de la carga especificado en el Eurocódigo 5 (norma UNE-EN 1995-1-1), tabla 3.

Tabla 3. Coeficiente k_{mod} para la madera microlaminada.

Clase de servicio	Clases de duración de la carga				
	Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Para la madera microlaminada con todas las chapas con la fibra en la misma dirección se utiliza el coeficiente k_{def} para el cálculo de la deformación por fluencia que se especifica en el Eurocódigo 5 (norma UNE-EN 1995-1-1) para este producto, tabla 4. Para la madera microlaminada con algunas láminas en dirección perpendicular se deberá utilizar el coeficiente k_{def} correspondiente al tablero contrachapado, tabla 4.

Tabla 4. Coeficiente k_{def} para la madera microlaminada con todas las láminas en dirección paralela y con algunas láminas en dirección perpendicular.

	Clase de servicio		
	1	2	3
Microlaminada chapas paralelas	0,60	0,80	2,00
Microlaminada chapas paralelas y perpendiculares	0,80	1,00	2,50

Cuando los perfiles se diseñan con canto variable las piezas se cortan con un ángulo con respecto a la directriz de la pieza. Para esta aplicación se utilizará el producto con algunas chapas transversales. La desviación de la fibra en el borde de corte oblicuo produce una disminución de la resistencia que se recoge en la tabla 5.

Tabla 5. Factor de reducción de la resistencia cuando la pieza se corta con un ángulo con respecto a la dirección de la fibra de las chapas externas.

	Ángulo α			
	0°	15°	30°	45-90°
Flexión de canto	1,00	0,40	0,25	0,20
Tracción paralela a la fibra	1,00	0,30	0,20	0,15
Compresión paralela a la fibra	1,00	0,50	0,35	0,25

Durabilidad

Generalmente durante la fabricación de la madera microlaminada no se aplica ningún producto protector y por tanto su durabilidad natural corresponde a la de la madera utilizada. Durante la construcción de la edificación resiste sin problemas la intemperie temporalmente, siempre que posteriormente se pueda secar.

Comportamiento al fuego

Para la clasificación de la reacción al fuego de este producto, el fabricante deberá aportar el correspondiente informe de ensayo y de clasificación realizado de acuerdo con la norma UNE-EN 13501-1. Los fabricados en Europa suelen ser de la Euroclase D-s1, d0.

La resistencia al fuego de la pieza de madera microlaminada se deberá calcular de acuerdo con el DB de Seguridad contra Incendio o de acuerdo con la norma UNE-EN1995-1-2. El parámetro dependiente de la madera es la velocidad de carbonización que toma el valor nominal de 0,7 mm/min en madera microlaminada con densidad característica mayor o igual a 480 kg/m³.

En madera de coníferas una pieza de madera trabajando a flexión con 3 caras expuestas al fuego (típica configuración de una viga vista) requiere unos 100 mm de anchura para alcanzar la resistencia R30. Por este motivo, suele ser necesario utilizar piezas formados por dos o más perfiles de madera microlaminada.

Acabado

En Europa la madera microlaminada se comercializa con un acabado de superficie cepillada pensado para poder dejarlo visto. En Norteamérica por lo general se comercializa con una superficie más basta que incluye las marcas del tipo de producto impresas en la superficie, pensado para dejar oculto. Sin embargo, hay fabricantes que bajo pedido pueden suministrar una calidad de acabado que denominan "architectural grade" para dejar vista. El aspecto de las caras del producto con la superficie cepillada es similar al del tablero contrachapado.

Curvado

Al tratarse de un producto de grosor reducido en comparación con su longitud es posible la utilización del producto en forma de grandes tableros curvados para la construcción de cubiertas de perfil curvo. El radio de curvatura mínimo, R_{\min} depende del grosor del tablero, t y de la orientación de las fibras en las chapas externas:

- $R_{\min} \geq 200 \cdot t$ cuando el curvado produce tensiones normales de compresión y tracción paralelas a la dirección de la fibra en las chapas externas.
- $R_{\min} \geq 600 \cdot t$ cuando el curvado produce tensiones normales de compresión y tracción perpendiculares a la dirección de la fibra en las chapas externas.

MARCADO CE

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su mercado CE es la UNE-EN 14374, que entró en vigor de forma voluntaria el 1 de septiembre de 2005 y de forma obligatoria el 1 de septiembre de 2006. Por dicho motivo la pre-

sencia del Marcado CE de estos productos en el mercado español es obligatoria.

ESPECIFICACIONES

Las especificaciones en el proyecto sobre este producto deberán hacerse con referencia al fabricante. A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para la utilización de madera microlaminada.

- **Definición del material y propiedades mecánicas:** Al tratarse de un producto industrializado puede especificarse la marca comercial del producto e incluir las propiedades mecánicas que define el fabricante.
- **Fabricación:** De acuerdo con lo establecido en la Norma armonizada del producto, UNE-EN 14374, el fabricante deberá disponer de un Certificado del sistema de Control de la Producción en Fábrica emitido por un Organismo Notificado. En la norma UNE-EN 14374 se especifican las condiciones para el Control de la Producción en Fábrica.
- **Dimensiones nominales:** Serán las deducidas a partir del cálculo para las piezas y deberán cumplir las tolerancias indicadas en la norma UNE-EN 14374. Si es posible, deberían ajustarse a la gama de dimensiones comerciales más habituales.
- **Contenido de humedad:** El producto se comercializa con un contenido de humedad del orden del 10 %, valor adecuado para su puesta en obra.
- **Tratamiento preventivo:** El producto se comercializa sin tratamiento de protección. Por dicho motivo, deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso prevista. El tratamiento deberá efectuarse siguiendo las prescripciones del fabricante del producto y estar documentado de acuerdo con lo establecido al respecto en el Capítulo 13 del DB-SE-M. Para más información sobre tratamientos, durabilidad natural de maderas y calificación de su impregnabilidad se recomienda consultar el Documento de Aplicación de Durabilidad.
- **Comportamiento al fuego:** La estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio deberá ser justificada mediante cálculo de acuerdo con los principios del DB-SI o de acuerdo con la norma UNE-EN1995-1-2, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Debe tenerse en cuenta que las piezas de madera microlaminada tienen gruesos reducidos, por lo que generalmente para alcanzar una R30 suele ser precisar el uso de secciones múltiples, adosando dos o más piezas.

- **Almacenaje, transporte y montaje:** El producto que presenta un acabado preparado para dejar visto se suministra empaquetado con plástico. Sin embargo este envoltorio tiene como misión la protección durante el transporte, pero no es suficiente para el almacenamiento en obra. La exposición a la intemperie en la obra sólo será temporal y debe reducirse al mínimo. Deben protegerse con lonas impermeables del agua de lluvia, polvo y la radiación solar continuada. También deben tomarse medidas para evitar la condensación y la humedad alta. Deben almacenarse sobre un plano utilizando el número de soportes de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos. En el caso de vigas de gran longitud deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical.

UNE-EN 408:2004. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.

BIBLIOGRAFÍA

APA (2000). PRL 501 - Performance Standard for APA EWS (Engineer Wood System) Laminated Veneer Lumber.

APA (2005). Proper Storage and Handling of I-joist and LVL. Number EWS E 705.

DRAFT ISO/DIS 22390-1:2008. Timber structures. Laminated veneer lumber (LVL). Part 1: Structural properties.

Finnforest (2005). Kerto - A wood product for advanced structural engineering.

NORMATIVA

UNE-EN 14279:2007. Estructuras de madera. Madera microlaminada (LVL). Definiciones, clasificación y especificaciones.

UNE-EN 14374:2005. Estructuras de madera. Madera microlaminada (LVL). Requisitos.

UNE-EN 314-1:2007. Tableros contrachapados. Calidad del encolado. Parte 1: Métodos de ensayo.

UNE-EN 314-2:1994 Tableros contrachapados. Calidad del encolado. Parte 2: Especificaciones.

UNE-EN 1995-1-1:2006. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación.

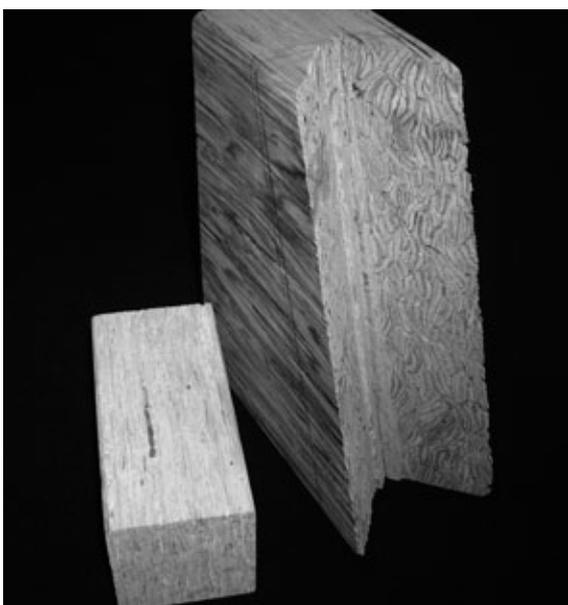
UNE-EN 789:2006. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la madera.

UNE-EN 14358:2007. Estructuras de madera. Cálculo del valor característico del percentil del 5% y criterio de aceptación para una muestra.

PERFILES DE MADERA RECONSTITUIDA

DEFINICIÓN

La denominación de madera reconstituida engloba varios productos de uso estructural en forma de perfiles con sección rectangular que están fabricados con chapas, tiras o virutas de madera encoladas.



Se trata de productos de propiedades mecánicas elevadas y muy homogéneas y que permiten el aprovechamiento de trozas que no tienen dimensiones suficientes para el aserrado o de recortes de las chapas empleadas para la fabricación del tablero contrachapado y obtenidas mediante desenrollado periférico de troncos. Existe una gran variedad de productos con diferentes denominaciones que se diferencian según el formato de la madera utilizado (chapas, virutas, tiras). Algunos se fabrican directamente con la sección final, pero en otros casos se fabrica un tablero que posteriormente se corta a la medida deseada. Los tipos de productos más habituales son los siguientes:

Perfiles de tiras de madera (PSL-Parallel Strand Lumber)

La materia básica son recortes de chapas obtenidas por desenrollado. Se cortan tiras de estas chapas con una longitud de hasta 2,4 m, una anchura de unos 13 mm y un grosor de unos

3 mm y se encolan orientadas de tal forma que la dirección de la fibra de la gran mayoría de las tiras siga la dirección longitudinal del perfil. Se fabrica en Norteamérica y utiliza madera de coníferas.

Perfiles de virutas de madera laminadas (LSL-Laminated Strand Lumber)

Es un producto parecido al PSL con un proceso de fabricación similar pero que utiliza virutas más gruesas y anchas. Se obtienen encolando virutas de madera que durante el proceso de formación se orientan siguiendo la dirección longitudinal del tablero. Las dimensiones de las virutas tienen una anchura variable entre 5 y 25 mm mientras que su longitud suele ser de 300 mm, aunque lo habitual es que sean de unos 50 mm. Suelen utilizar madera de chopo.

Perfiles de macro-virutas de madera orientadas (OSL-Oriented Strand Lumber)

Es un producto parecido al LSL pero con virutas más estrechas y largas. Se obtienen encolando virutas de madera con una longitud que varía entre 472 y 945 mm con una anchura de 2 a 5 mm. Durante el proceso de formación se orientan de tal forma que la dirección de la fibra de la inmensa mayoría de las virutas sigue la dirección longitudinal del tablero. Es similar al tablero de virutas orientadas (OSB) con la diferencia de que todas las capas de virutas tienen la misma dirección paralela a la dirección longitudinal.

Perfiles de lino (SPSL – Steam Pressed Scrim Lumber)

Este perfil es de reciente aparición y apenas se dispone de información. De todas formas se reseña dentro de este apartado y se destaca que la materia prima utilizada para su fabricación es el lino.

APLICACIONES

Las aplicaciones de estos productos son similares a las que tienen las piezas de madera empalmada, madera aserrada encolada y madera microlaminada; vigas de luces medias y pilares; tipos estructurales de celosía de luces medias y elevadas utilizadas en cubiertas de edificios industriales y comerciales.

MATERIALES

Se pueden utilizar especies de madera de coníferas y de frondosas. Las más habituales son las especies de crecimiento rápido, coníferas y los chopos. El producto terminado se comercializa con un contenido de humedad cercano al 11 %.

Comentarios:

El producto PSL, habitualmente se fabrica en Canadá con madera de Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* Franco) y en Estados Unidos de América con *Southern pine* – Pino amarillo del Sur. En España se fabrica LSL con madera de chopo.

Normalmente se utilizan adhesivos con altas prestaciones estructurales como los de fenol-formaldehído e isocianatos. Los adhesivos para la fabricación del PSL deben ser del tipo de los resistentes a la humedad según las especificaciones de la norma ASTM D 2559.

DIMENSIONES

Las dimensiones de comercialización de estos productos son variables según los productores, por lo que es necesario recurrir a la información del fabricante.

El producto PSL se fabrica con longitud de hasta 24 m. Sin embargo, en España llega con un máximo de unos 12 m por las limitaciones habituales de transporte. Las escuadrías estándares se recogen en la tabla 1.

La pieza obtenida se puede cortar a las dimensiones requeridas. Asimismo se pueden obtener dimensiones mayores encolando dos piezas de este producto utilizando técnicas parecidas a las empleadas en la fabricación de madera laminada encolada.

El producto LSL se suele fabricar en forma de tableros, con anchos de 2.400 mm y longitudes de 15 metros. El tablero o pieza obtenida se puede cortar en su anchura para obtener las dimensiones requeridas de la sección transversal de la pieza.

En la actualidad no hay normas que especifiquen las tolerancias dimensionales para estos productos. Sin embargo, parece adecuado exigir las mismas tolerancias que al producto de madera microlaminada.

PROPIEDADES

En la actualidad no hay normas europeas que regulen estos productos. Por lo tanto, las propiedades deben ser declaradas y garantizadas por los fabricantes y es muy recomendable que exista alguna certificación de la producción emitida por un organismo competente y que incluya un protocolo de inspección externa periódica.

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son declaradas por los fabricantes de cada producto. El fabricante deberá aportar la información necesaria sobre sus propiedades mecánicas en valores característicos de acuerdo con el planteamiento de cálculo del Eurocódigo 5 (UNE-EN 1995-1-1) o DB SE-M del Código Técnico de la Edificación.

Con un carácter informativo se puede citar que la resistencia característica a flexión del PSL procedente de EEUU es de 42 a 46 N/mm² y el valor medio módulo de elasticidad en flexión es de 14.500 N/mm².

Tabla 1. Escuadrías estándar de PSL.

Ancho (mm)	Canto (mm)								
	89	133	178	241	292	318	356	406	457
45				X	X	X	X		
89	X	X	X	X	X	X	X	X	X
133		X	X	X	X	X	X	X	X
178			X	X	X	X	X	X	X

En el Eurocódigo 5, norma UNE-EN 1995-1-1 no se especifica el factor de modificación de la resistencia (k_{mod}) ni el factor de fluencia (k_{def}) para estos productos. Deberá ser el fabricante quien aporte estos datos para el cálculo basados en ensayos realizados con sus productos.

Durabilidad

Estos productos se comercializan normalmente sin incluir tratamientos de protección. No obstante, aceptan un alto grado de penetración el tratamiento con productos protectores.

Comportamiento al fuego

Para la clasificación de la reacción al fuego el fabricante deberá aportar el correspondiente informe de ensayo y de clasificación realizado de acuerdo con la norma UNE-EN 13501-1.

En relación a la resistencia al fuego la norma UNE-EN 1995-1-2 no incluye la velocidad de carbonización de estos productos. El fabricante deberá declarar estos valores para sus productos basados en los ensayos adecuados.

Acabado

Estos productos se suelen entregar lijados. Puede mecanizarse, teñirse y recibir cualquier tipo de acabado utilizando las mismas técnicas que se emplean para la madera maciza.

MARCADO CE

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción pero la norma armonizada que regularía su marcado CE todavía no existe, motivo por lo cual el Marcado CE ni puede ser aplicado por el fabricante ni puede ser exigido por el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D2559 -04. Standard Specification for Adhesives for Structural Laminated Wood Products for Use Under Exterior (Wet Use) Exposure Conditions.

Canadian wood Council. (1991). Wood Reference Handbook.

Forest Products Laboratory. (1999). Wood Handbook - Wood as an engineering product.

Galiläa, K.J. y Mohrmann, M.. (2006). Zimmerarbeiten clever planen und ausführen. Ed. Weka Media. Munich. ISBN: 3-8277-3079-1

NORMATIVA

ASTM D2559 - 04 Standard Specification for Adhesives for Structural Laminated Wood Products for Use Under Exterior (Wet Use) Exposure Conditions.

EN1995-1-2:2004. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: General. Proyecto en situación de incendio.

UNE-EN 13501-1:2007. Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.

UNE-EN 14374:2005. Estructuras de madera. Madera microlaminada (LVL). Requisitos.

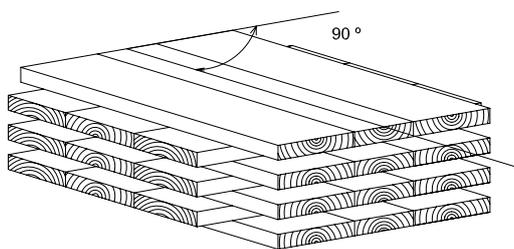
UNE-EN 1995-1-1:2006. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación.

PANELES CONTRALAMINADOS

DEFINICIÓN

Panel formado por varias capas de madera aserrada encoladas entre sí o a veces unidas con clavos o espigas de madera, de forma que la orientación de las fibras de dos capas adyacentes es perpendicular entre sí. Cada una de las tablas que componen las capas del tablero ha debido ser clasificadas estructuralmente, bien mediante métodos visuales o mediante métodos automatizados (de máquina), con carácter previo a su encolado o fijación mecánica (clavijas). La estructura transversal del panel debe ser simétrica y estar compuesta por un mínimo de tres capas, figura 1. Las tablas de cada capa pueden estar unidas longitudinalmente a tope o mediante empalme dentado. Estos paneles tienen uso estructural.

Figura 1. Composición de un panel contralaminado.



Comentarios:

Este tipo de paneles podría confundirse con los tableros de uso estructural de madera maciza multicapa (SWP), muy habituales para encofrados y en menor medida para decoración. Sin embargo, los paneles contralaminados tienen unas dimensiones muy superiores a las de los multicapa, tanto en espesor como en longitud. Tienen una identidad propia en el sector de la construcción y unas prestaciones estructurales diferentes. En el mercado se le conoce a veces por sus siglas en inglés: CLT (Cross Laminated Timber).

APLICACIONES

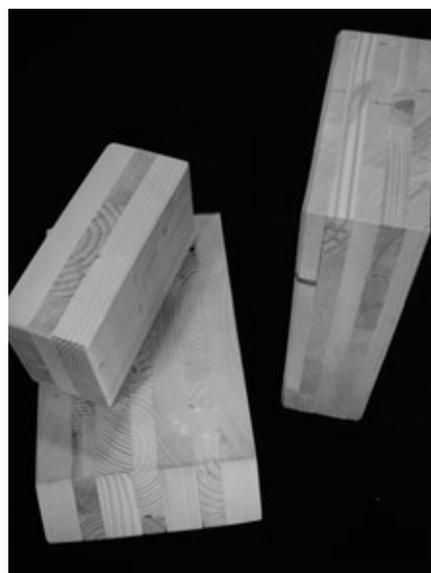
Estos paneles pueden trabajar como muros, forjados y cubiertas, en clases de servicio 1 y 2. En el caso de cubiertas, se limita a locales con higrometría baja o media y se excluye para locales con higrometrías altas o muy altas (por encima de $W/n > 5 \text{ g/m}^3$, siendo: W = cantidad de vapor de agua que se produce en el interior del edificio en una hora y n = tasa horaria de renovación del aire).

Se utilizan tanto en viviendas como en construcciones industriales de hasta 3 ó 4 alturas. Los sistemas constructivos con paneles estructurales son muy flexibles y permiten insertar sin dificultad puertas y ventanas, incluso durante y después de que la obra haya finalizado.

MATERIALES

Normalmente se utilizan tablas clasificadas de madera aserrada de coníferas de los géneros: picea (*Picea* spp.), pino (*Pinus* spp.), abeto (*Abies* spp.) o alerce (*Larix* spp.), siendo la picea (*Picea abies* (L) Karst.) la especie más utilizada.

Los adhesivos más utilizados para encolar las tablas y las uniones dentadas entre tablas, son los de poliuretano o de urea-formaldehído. Estos adhesivos deben cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 301, y en su defecto, el anexo C de la Guía ETAG 011.



Hay algún fabricante que utiliza espigas de madera en vez de adhesivo para unir las diferentes capas de tablas. Otros fabricantes, en vez de utilizar clavijas de madera, utilizan clavos de adherencia mejorada de aluminio.

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

Los paneles contralaminados estructurales poseen un amplio rango dimensional, pero como dimensiones máximas de fabricación se pueden citar las siguientes: longitud, de entre 15 a 25 metros; anchura hasta 5 m y un espesor que puede llegar a los 600 mm, dependiendo de la configuración de capas y del espesor relativo de cada una de ellas.

El espesor de las piezas de madera utilizada en cada capa varía según el fabricante, pero es común el rango de 10 a 40 mm (siendo algunos espesores habituales: 13, 24, 26, 30, 34, 40, 45 y 50 mm). La tolerancia de espesor tras el cepillado suele ser $\pm 0,15$ mm.

La anchura de tabla suele estar comprendida entre 80 y 240 mm, de tal forma que el ratio anchura / espesor, sea superior a 4.

El número de capas de madera utilizado habitualmente es impar y suele ser de: 3, 5, 7, 9, 13 y 15.

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

Cada fabricante debe aportar la información correspondiente a las propiedades de su producto en base a un Documento de Idoneidad Técnico Europeo (DITE), emitido por el correspondiente organismo notificado y conforme al CUAP (Common Understanding of Assessment Procedure) establecido para este tipo de productos, que es el CUAP nº 03.04/06.

Nota: Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE) o European Technical Approval (ETA) u Homologación Técnica Europea (HTA).

De forma indicativa se aportan los datos de la tabla 1, en la que quedan recogidos los valores característicos de la resistencia y rigidez de estos paneles.

Tabla 1. Valores característicos de paneles contralaminados.

Tipo de sollicitación		Clase resistente de la madera utilizada	
		C 16	C24
Valores característicos de resistencia (N/mm ²)			
Flexión	$f_{m,k}$	16	24
Tracción	$f_{t,0,k}$	10	14
	$f_{t,90,k}$	0,4	0,4
Compresión	$f_{c,0,k}$	17	21
	$f_{c,90,k}$	2,2	2,5
Cortante	$f_{v,k}$	1,8	2,5
Cortante por rodadura	$f_{r,k}$	0,70	
Valores característicos de rigidez (N/mm ²)			
Módulo de elasticidad flexión	$E_{0,mean}$	8000	11000
	$E_{90,mean}$	270	370
Módulo de cortante	G_{mean}	500	690
Módulo de cortante por rodadura	$G_{r,mean}$	50	

Los adhesivos que se utilicen en la clase de servicio 2, deben cumplir con lo especificado en la norma UNE-EN 301. Los adhesivos de poliuretano deberán cumplir con lo especificado en la norma UNE-EN 301 y, además, superar los ensayos definidos en el anexo C de la Guía ETAG 011.

Durabilidad

Estos productos se comercializan normalmente sin incluir tratamientos de protección. El uso de los paneles de madera contralaminada está actualmente permitido solo en las clases de servicio 1 y 2, según UNE-EN 1995-1-1. Si los elementos se emplean al exterior deberán contar con una protección adicional y permanente contra agentes meteorológicos.

Comportamiento al fuego

De acuerdo con el HTE-06/0009, los paneles contralaminados usados para muros, cubiertas y módulos especiales pertenecen a la clase de reacción al fuego D-s2, d0 y los elementos usados para forjados y cubiertas pertenecen a la clase DFL-s1.

En relación a la resistencia al fuego ni la norma UNE-EN 1995-1-2 ni el HTE-06/0009 incluyen el valor de la velocidad de carbonización de estos productos. El fabricante deberá declarar estos valores para sus productos basados en los ensayos adecuados. No obstante, al tratarse de madera aserrada pueden tomarse como valores de la velocidad de carbonización los de la velocidad básica de la madera maciza.

MARCADO CE

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción 89/106/CEE y al no disponer de norma armonizada, ni de Guía EOTA, su marcado CE se regula mediante CUAP (Common Understanding of Assessment Procedure 03.04/06), que el fabricante tiene que solicitar al correspondiente organismo notificado. La disposición de un DITE acreditativo de haber superado las exigencias del CUAP 03.04/06 habilita al fabricante a colocar la estampilla del Marcado CE en su producto pero no impone la obligatoriedad de su presencia. Ya existen en el mercado productos que disponen del Marcado CE.

BIBLIOGRAFÍA

- Betz, J. (2006). *Development of MPB thick laminate wood plate products*. Faculty of Forestry. University of British Columbia.
- CUAP nº 03.04/06. (2005). *Solid wood slab element to be used as a structural element in buildings*.
- Gsell, D.; Feltrin, G.; Schubert, S.; Steiger, R.; Motavalli, M. (2007). *Cross-Laminated Timber Plates: Evaluation and Verification of Homogenized Elastic Properties*. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 133, Issue 1, pp. 132-138.
- Homologación Técnica Europea HTE-06/0009. (2006). *Paneles de madera contrachapada Binder BBS*. Binder Holzbausysteme GMBH.
- Homologación Técnica Europea HTE-06/0138 (European Technical Approval ETA-06/0138). (2006). *KLH solid wood slabs*. KLH Massivholz GmbH.
- Lam, F.; Chen, J. Y. (2007). *Development of Thick Laminated MPB Wood Plates. Year Two Report*. Project No. MDP-07-0020A. Wood Science Department. University of British Columbia.

NORMATIVA

- CTE - DB - SI: *Código Técnico de la Edificación - Documento Básico - Seguridad en caso de incendio*. (2006).
- Decisión 2003/43/CE de la Comisión de las Comunidades Europeas por la que se establecen las clases de reacción al fuego para determinados productos de construcción (2003).
- Directiva 89/106/CEE sobre los productos de construcción (1988).
- Directiva 98/8/CE relativa a la comercialización de biocidas (1998).
- ETAG 011 (2002). *Guideline for European Technical Approval of light composite wood-based beams and columns*.
- ETAG 019. (2004). *Guideline for European Technical Approval for prefabricated wood-based loadbearing stressed skin panels*.
- UNE-EN 301. (2007). *Adhesivos fenólicos y aminoplásticos para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento*.
- UNE-EN 338. (2003). *Madera estructural. Clases resistentes*.
- UNE-EN 385. (2002). *Empalmes por unión dentada en madera estructural. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación*.
- UNE-EN 1194. (1999). *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos*.
- UNE-EN 1995-1-1. (2006). *Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación*.
- UNE-ENV 1995-1-2. (1999). *Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego*.
- UNE-EN 12114. (2000). *Prestaciones térmicas de los edificios. Permeabilidad al aire de componentes y elementos de los edificios. Mé-*

todo de ensayo de laboratorio.

UNE-EN 12354-1. (2000). *Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos.*

UNE-EN 12524. (2000). *Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados.*

UNE-EN 20354/A1. (1998). *Acústica. Medición de la absorción sonora en cámara reverberante. Modificación 1: Montaje de muestras de ensayo para ensayos de absorción sonora.*

UNE-EN 13501-1. (2007). *Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.*

UNE-EN ISO 140-3. (1995). *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción.*

UNE-EN ISO 140-6. (1999). *Acústica. Medición del aislamiento acústico en edificios y de los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.*

UNE-EN ISO 717-1. (1997). *Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.*

UNE-EN ISO 717-2. (1997). *Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.*

UNE-EN ISO 6946. (1997). *Elementos y componentes de edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo.*

TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA MADERA

DEFINICIÓN

Los tableros son productos obtenidos mediante el encolado o aglomerado de listones, chapas, virutas, partículas o fibras de madera, caracterizados por tener una gran superficie y un reducido espesor.

APLICACIONES

Las aplicaciones más características de los tableros en la construcción se encuentran en su empleo como cerramiento en forjados de piso, cubiertas, muros y tabiques. Cumplen una misión estructural resistiendo las cargas perpendiculares a su plano y en algunos casos también actúan como diafragma para la estabilidad de la construcción resistiendo los esfuerzos cortantes debidos a acciones horizontales sobre la estructura.

Algunos tipos de tableros se utilizan como componente de secciones mixtas de madera y tablero, como es el alma de las viguetas prefabricadas en doble T o caras en tensión de los paneles prefabricados.

MATERIALES

La madera se puede utilizar en diferentes formatos en función del tipo de tablero a fabricar, ya sea en forma de chapas (tableros contrachapados y tableros laminados), listones o piezas de madera (tableros de madera maciza), partículas de madera (tableros de partículas y tableros de virutas) o fibras (tableros de fibras). En todos los casos supone una optimización y mejora de su aprovechamiento, de forma especial en aquellos en que se utiliza la madera en formatos pequeños como partículas, fibras o virutas.

El adhesivo que se debe utilizar depende del tipo del tablero y uso del mismo. En el caso de los tableros estructurales se han de utilizar colas mejoradas con aditivos que permitan al tablero cumplir los requisitos de estabilidad estructural definidos. Los más utilizados son los de Urea Formol (para interiores), Urea - Melamina formol o Fenol formaldehído (para exteriores), aunque últimamente se están empezando a emplear los adhesivos de isocianato.

Con el objeto de mejorar las prestaciones de los adhesivos se pueden añadir aditivos. Los más usuales son las ceras (para aumentar la repelencia a la humedad), los productos ignifugos

(para mejorar el comportamiento frente al fuego), los productos insecticidas (para mejorar el comportamiento frente a los insectos xilófagos), los productos fungicidas (para mejorar el comportamiento frente a los hongos xilófagos) y los endurecedores (para mejorar las prestaciones del adhesivo).

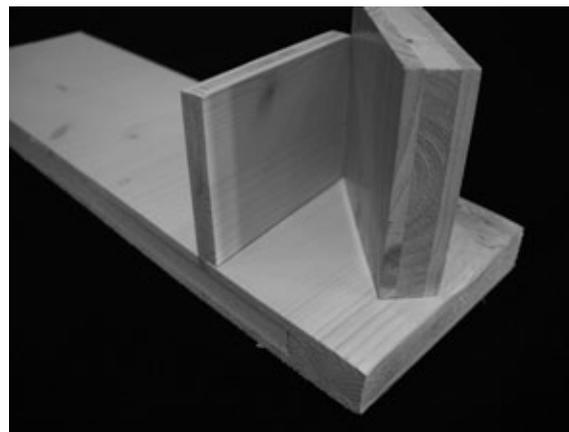
TIPOS Y DIMENSIONES DE TABLEROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Los tableros derivados de la madera que pueden utilizarse en aplicaciones estructurales son los que se mencionan a continuación.

Tableros de madera maciza

Están fabricados con tablas, tablillas o listones de madera que se unen entre sí por encolado, machihembrado o por un revestimiento de chapa encolada. Se denominan también por sus siglas en inglés SWP (Solid Wood Panel). Algunos tipos son para uso estructural. Se fabrican con una o varias capas (monocapa o multicapa, véase la norma UNE-EN 12775). Los monocapas reciben también el nombre de tableros alistonados y los multicapa más habituales constan de 3 y 5 capas. En la norma UNE-EN 13353 se clasifican en función de su aptitud para las clases de servicio definidas en la normativa (UNE-EN1995-1-1 o CTE) en los tres tipos siguientes:

- SWP/1 para utilización en ambiente seco (clase de servicio 1).
- SWP/2 para utilización en ambiente húmedo (clase de servicio 2).



- SWP/3 para utilización en ambiente exterior (clase de servicio 3).

Las dimensiones más habituales son las siguientes:

- Para los tableros monocapa (alistonados): longitud de 970, 1000, 1970 y 2000 mm; anchura de 500 mm y grueso de 22 y 27 mm.
- Para los multicapa la longitud y anchura más habituales son 2.050 x 500 mm; mientras que el espesor varía en función del tipo de tablero:
- Tricapa: 12, 16, 19, 22, 27, 32, 40, 50 y 60 mm.
- Multicapa: 35, 42, 50 y 52 mm.

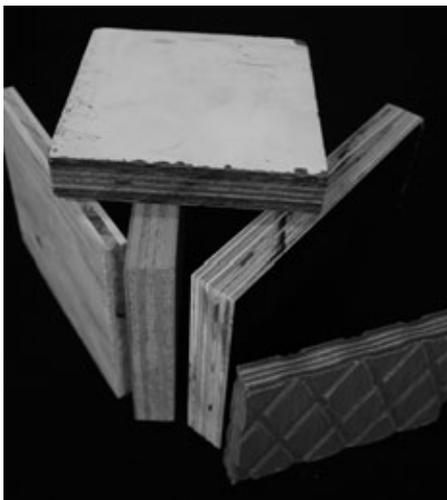
Las especies más utilizadas son el Abeto (*Picea abies*), Pino marítimo (*Pinus pinaster*), Pino radiata, Castaño, etc.

Tableros contrachapados

Están fabricados mediante el encolado de chapas de madera de 2 a 3 mm de espesor dispuestas de forma que la dirección de la fibra de dos capas consecutivas forma entre sí un ángulo de 90°. La disposición de las chapas es simétrica respecto a la chapa central del tablero. El número mínimo de chapas es 3, siendo siempre un número impar.

Según la calidad de su encolado los tableros contrachapados se clasifican en los tres tipos siguientes, de acuerdo con la norma UNE-EN 636:

- Tablero contrachapado para ambiente seco (EN636-1). Clase de servicio 1.
- Tablero contrachapado para ambiente húmedo (EN636-2). Clase de servicio 2.
- Tablero contrachapado para ambiente exterior (EN636-3). Clase de servicio 3.



Habitualmente el primer tipo de paneles se fabrica con resinas de Urea-Formaldehído (UF), el segundo tipo con resinas de Urea-Melamina-Formaldehído (MUF) o Fenol-formaldehído (PUF) y el tercero con resinas del tipo PUF.

En ambientes de tipo exterior (clases de uso 3.1 y 3.2) así como para aplicaciones especiales (Clases de uso 4 y 5) la elección de la especie de madera es una variable habitualmente tenida en cuenta para evitar o reducir la necesidad de aplicar tratamientos químicos de protección. La elección de la especie de madera es una variable también considerada para obtener productos con acabado adecuado al uso, e, incluso, para obtener tableros especialmente ligeros.

Las dimensiones más habituales son 1220x2440 mm, aunque pueden llegar a 1525x3050 mm. Para productos especiales es posible la fabricación de tableros de hasta 14x3 m. El espesor varía entre 1,5 y 40 mm, aunque las dimensiones más habituales se encuentran entre 8 y 25 mm.

Las especies más utilizadas son el Abeto (*Picea abies*), Pino silvestre, Pino marítimo (*Pinus pinaster*), Pino radiata, Pino Oregón, Abedul, Pino amarillo del Sur.

Tableros de partículas

Tableros fabricados con partículas de madera (astillas, partículas, serrín, virutas y similares) y/u otros materiales lignocelulósicos en forma de partículas (fibras de cáñamo, lino, bagazo, paja y similares), con la adición de un polímero aglomerante mediante la aplicación de presión y calor. Según su uso y tipo de ambiente de destino, las normas UNE-EN 309 y UNE-EN 312 establecen los siguientes siete tipos de tableros de partículas:

- P1 Tableros para uso general para utilización en ambiente seco.
- P2 Tableros para aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) en ambiente seco.
- P3 Tableros no estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- P4 Tableros de partículas. Tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- P5 Tableros de partículas. Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- P6 Tableros de partículas. Tableros estructurales de alta prestación para utilización en ambiente seco.
- P7 Tableros de partículas. Tableros estructurales de altas prestaciones para utilización en ambiente húmedo.



Únicamente pueden tener uso estructural los tipos P4 a P7.

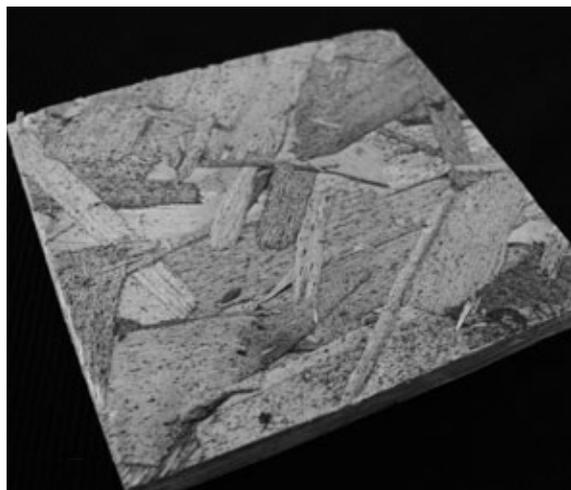
Las dimensiones son muy variables. La longitud varía desde 2050 hasta 4880 mm, la anchura de 1220 hasta 2500 mm y el espesor de 3 a 50 mm. Las dimensiones más habituales son: 2440x2050, 4880x2050 y 3660x1830 mm. Los espesores más frecuentes son 16, 19, 22 y 30 mm.

Las especies más utilizadas son el abeto, pino, haya, chopo, roble, castaño, etc.

Tableros de virutas orientadas – OSB

Están fabricados mediante el encolado de virutas de madera. Las capas externas presentan una orientación de las virutas paralelas a la longitud del tablero (dirección de fabricación) y la central una orientación perpendicular, lo que origina una diferencia de propiedades en ambas direcciones.

Los tipos de tableros de virutas orientadas se clasifican según la norma UNE-EN 300 en los siguientes:



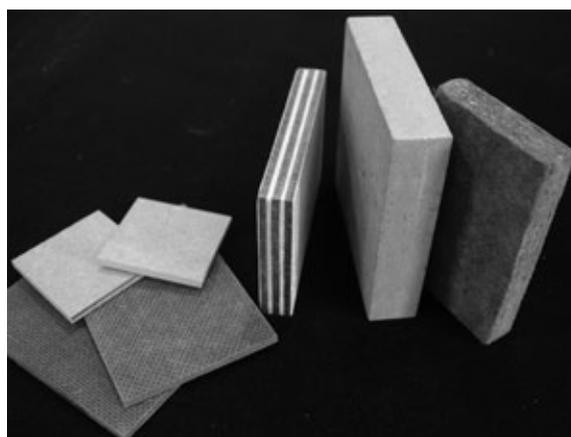
- OSB 1 Tableros para uso general y aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) utilizados en ambiente seco.
- OSB 2 Tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- OSB 3 Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- OSB 4 Tableros estructurales de alta prestación para utilización en ambiente húmedo.

Únicamente pueden tener uso estructural los tipos OSB2, OSB3 y OSB4.

Las dimensiones más habituales de longitud y anchura son: 2440x1200 mm, 2440x1220 mm y 3660x1220 mm. Los espesores más habituales son: 6, 8, 9, 11, 15, 18, 22, 25 y 38 mm.

Las especies más utilizadas son las siguientes: Pinos, pino marítimo, Pino Oregón, Chopo y Abedul.

Tableros de fibras



Se define como un material en forma de tablero con un grosor nominal mayor o igual a 1,5 mm fabricado a partir de fibras lignocelulósicas, mediante la aplicación de calor y presión. La cohesión se puede conseguir por afieltrado de las fibras gracias a sus propiedades adhesivas intrínsecas, o por la adición de un adhesivo sintético.

Según sea su proceso de fabricación y características se diferencian los tipos siguientes:

Tableros de fibras de densidad media – MDF: los tipos de tableros de uso estructural que se consideran en la norma UNE-EN 622-5 son los siguientes:

- MDF.LA Tableros de fibras MDF estructurales para su utilización en ambiente seco.
- MDF.HLS Tableros de fibras MDF estructurales para su utilización en ambiente húmedo.

Existe una gran variedad de dimensiones de los tableros; la longitud varía desde 2050 hasta 4880 mm, la anchura desde 1220 hasta 2500 mm y el espesor desde 2,5 hasta 50 mm. Las especies más utilizadas en España son los pinos y el eucalipto.

Tableros de fibras duros - HB: los tipos de tableros de uso estructural que se consideran en la norma UNE-EN 622-2 son los siguientes:

- HB.LA Tableros de fibras duros. Tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- HB.HLA1 Tableros de fibras duros. Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- HB.HLA.2 Tableros de fibras duros. Tableros estructurales de altas prestaciones para utilización en ambiente húmedo.

Habitualmente estos tableros tienen una anchura de 1220 mm, variando su longitud desde 2400 mm a 3660 mm. Los espesores suelen variar entre 1,2 y 9,5 mm. No obstante, las dimensiones habituales de longitud y anchura son 2440x1220 y 2750x1220 mm y las de espesor de 2 y 3 mm.

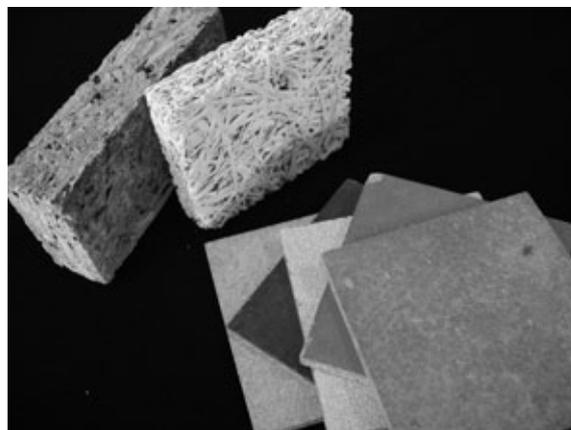
Las especies más utilizadas en España para la fabricación de estos tableros son los pinos y el eucalipto.

Tableros de fibras semiduros - MBH: los tipos de tableros de uso estructural que se consideran en la norma UNE-EN 622-3 son los siguientes:

- MBH.LA1 Tableros de fibras semiduros. Tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- MBH.LA2 Tableros de fibras semiduros. Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- MBH.HLS1 Tableros de fibras semiduros. Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- MBH.HLS2 Tableros de fibras semiduros. Tableros estructurales de altas prestaciones para utilización en ambiente húmedo.

Habitualmente estos tableros tienen una anchura de 1220 mm, variando su longitud desde 2400 mm a 3660 mm. Los espesores suelen variar entre 6 y 12 mm

Tableros de partículas aglomeradas con cemento



Son los fabricados con partículas de madera u otras de naturaleza vegetal, aglomeradas con cemento mediante la aplicación de presión. El cemento utilizado puede ser el Pórtland Corriente Ordinario (tablero OPC – Ordinary Portland Cement) o derivado del magnesio (por ejemplo magnesita). Además pueden incorporar aditivos. Suelen denominarse tableros de madera-cemento.

Existen dos grandes familias de tableros de madera-cemento. Una corresponde a tableros ligeros, con una densidad del orden de los 600 kg/m³ que tienen propiedades adecuadas para el aislamiento o acondicionamiento acústico y térmico. La otra familia corresponde a los tableros pesados, con densidad del orden de los 1200 kg/m³ que pueden tener aplicaciones estructurales en encofrados perdidos y cerramiento de cubiertas o aplicaciones no estructurales como el revestimiento de fachadas o la base de suelos.

Las dimensiones varían según los fabricantes. Son frecuentes las siguientes dimensiones:

Longitud: 2600 y 3000 mm
 Anchura: 1250 mm
 Espesor: 8 a 40 mm

También hay tableros con anchuras menores (600 a 625 mm) que se fabrican con un machihembrado y con longitudes de 2000 a 2600 mm. El espesor varía desde 8 hasta 100 mm. Generalmente este formato es el correspondiente a los tableros ligeros (densidad de 360 a 600 kg/m³) aislantes.

Tolerancias dimensionales

Las tolerancias dimensionales de los tableros, antes citados, a su salida de fábrica son las siguientes, tabla 1.

Tabla 1. Tolerancias dimensionales de fabricación.

Tablero (por tipos y espesores)	Norma	Longitud y anchura mm	Espesor mm	
			Lijados	No lijados
Madera maciza	UNE-EN 13353	±2,0	±1,0	-
Contrachapados				
≤ 25 mm	UNE-EN 315	±3,5	+ (0,2+0,03·t)/-(0,4+0,03·t)	+ (0,8+0,03·t)/-(0,4+0,03·t)
> 25 mm			+ (0,0+0,03·t)/-(0,4+0,03·t)	
Partículas	UNE-EN 324-1	±5,0	±0,3	-0,3 mm a +1,7
OSB	UNE-EN 300	±3,0	±0,3	±0,8
Fibras				
MDF(≤19/>19)	UNE-EN 622-1	±2,0	±0,2/±0,3	-
HB(≤3,5/≤5,5/>5,5)			±0,3/±0,5/±0,7	
MBH (≤10/>10)			±0,7/±0,8	
Madera-cemento				
<12	UNE-EN 634-1	±5,0	±0,3	±0,7
12-15				±1,0
15-19				±1,2
>19				±1,5

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

Para el uso estructural de los tableros es necesario conocer los valores característicos de sus propiedades mecánicas tal y como se definen en la norma UNE-EN 1995-1-1. Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los distintos tipos de tableros, salvo los de madera-cemento, quedan recogidos en las distintas partes de la norma UNE-EN 12369:

- UNE-EN 12369-1: recoge los valores característicos a emplear para el cálculo estructural con los tableros de partículas, de fibras y de virutas orientadas (OSB). En las tablas 2 a 9 se indican los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad para cada tipo de tablero y ambiente según la norma UNE EN 12369-1.

Tabla 2. Tableros de partículas estructurales para su uso en ambiente seco Tipo P4 (UNE EN 312).
Valores de las propiedades

Propiedades		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia característica en N/mm ²							
Flexión	$f_{m,p,k}$	14,2	12,5	10,8	9,2	7,5	5,8
Tracción	$f_{t,p,k}$	8,9	7,9	6,9	6,1	5,0	4,4
	$f_{c,p,k}$	12,0	11,1	9,6	9,0	7,6	6,1
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	6,6	6,1	5,5	4,8	4,4	4,2
	$f_{r,p,k}$	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Rigidez media en N/mm ²							
Flexión	$E_{m,p}$	3200	2900	2700	2400	2100	1800
Tracción	$E_{t,p}$	1800	1700	1600	1400	1200	1100
Compresión	$E_{c,p}$	1800	1700	1600	1400	1200	1100
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	860	830	770	680	600	550
Densidad en kg/m ³							
Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla 3. Tableros de partículas estructurales para su uso en ambiente húmedo Tipo P5 (UNE EN 312). Valores de las propiedades

		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
Propiedades		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia característica en N/mm ²							
Flexión	$f_{m,p,k}$	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	7,5
Tracción	$f_{t,p,k}$	9,4	8,5	7,4	6,6	5,6	5,6
Compresión	$f_{c,p,k}$	12,7	11,8	10,3	9,8	8,5	7,8
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	7,0	6,5	5,9	5,2	4,8	4,4
Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
Rigidez media en N/mm ²							
Flexión	$E_{m,p}$	3500	3300	3000	2600	2400	2100
Tracción	$E_{t,p}$	2000	1900	1800	1500	1400	1300
Compresión	$E_{c,p}$	2000	1900	1800	1500	1400	1300
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	960	930	860	750	690	660
Densidad en kg/m ³							
Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla 4. Tableros de partículas de alta prestación estructural para su uso en ambiente seco Tipo P6 (UNE EN 312). Valores de las propiedades

		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
Propiedades		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia (característica), en N/mm ²							
Flexión	$f_{m,p,k}$	16,5	15,0	13,3	12,5	11,7	10,0
Tracción	$f_{t,p,k}$	10,5	9,5	8,5	8,3	7,8	7,5
Compresión	$f_{c,p,k}$	14,1	13,3	12,8	12,2	11,9	10,4
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	7,8	7,3	6,8	6,5	6,0	5,5
Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	1,9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Rigidez media, en N/mm ²							
Flexión	$E_{m,p}$	4400	4100	3500	3300	3100	2800
Tracción	$E_{t,p}$	2500	2400	2100	1900	1800	1700
Compresión	$E_{c,p}$	2500	2400	2100	1900	1800	1700
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	1200	1150	1050	950	900	880
Densidad, en kg/m ³							
Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla 5. Tableros de partículas de alta prestación estructural para su uso en ambiente húmedo Tipo P7 (UNE EN 312). Valores de las propiedades

		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
Propiedades		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia característica en N/mm ²							
Flexión	$f_{m,p,k}$	18,3	16,7	15,4	14,2	13,3	12,5
Tracción	$f_{t,p,k}$	11,5	10,6	9,8	9,4	9,0	8,0
Compresión	$f_{c,p,k}$	15,5	14,7	13,7	13,5	13,2	13,0
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	8,6	8,1	7,9	7,4	7,2	7,0
Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	2,4	2,2	2,0	1,9	1,9	1,8
Rigidez media en N/mm ²							
Flexión	$E_{m,p}$	4600	4200	4000	3900	3500	3200
Tracción	$E_{t,p}$	2600	2500	2400	2300	2100	2000
Compresión	$E_{c,p}$	2600	2500	2400	2300	2100	2000
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	1250	1200	1150	1100	1050	1000
Densidad en kg/m ³							
Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla 6. Tableros de fibras duros y semiduros estructurales. Valores de las propiedades

		Duros (UNE EN 622-2 - HB.HLA2) Para su uso en ambiente húmedo Espesor nominal, t_{nom} , en mm			Semiduros (UNE EN 622-3 - MBH.LA-2) Para su uso en ambiente seco Espesor nominal, t_{nom} , en mm	
Propiedades		≤ 3,5	> 3,5 a 5,5	> 5,5	≤ 10	> 10
Resistencia característica en N/mm ²						
Flexión	$f_{m,p,k}$	37,0	35,0	32,0	17,0	15,0
Tracción	$f_{t,p,k}$	27,0	26,0	23,0	9,0	8,0
Compresión	$f_{c,p,k}$	28,0	27,0	24,0	9,0	8,0
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	19,0	18,0	16,0	5,5	4,5
Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	3,0	3,0	2,5	0,3	0,25
Rigidez media en N/mm ²						
Flexión	$E_{m,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
Tracción	$E_{t,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
Compresión	$E_{c,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	2100	2000	1900	1300	1200
Densidad en kg/m ³						
Característica	$\rho_{p,k}$	900	850	800	650	600

Tabla 7. Tableros de fibras estructurales fabricados por proceso seco (MDF). Valores de las propiedades

		MDF-LA (UNE EN 622-5) Para su uso en ambiente seco				MDF-HLS (UNE EN 622-5) Para su uso en ambiente húmedo ^(*)			
		Espesor nominal, t_{nom} , en mm				Espesor nominal, t_{nom} , en mm			
Propiedades		>1,8 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30	>1,8 a 12	>12 a 19	> 19 a 30	>30
Resistencia característica en N/mm ²									
Flexión	$f_{m,p,k}$	21,0	21,0	21,0	19,0	22,0	22,0	21,0	18,0
Tracción	$f_{tp,k}$	13,0	12,5	12,0	10,0	18,0	16,5	16,0	13,0
Compresión	$f_{cp,k}$	13,0	12,5	12,0	10,0	18,0	16,5	16,0	13,0
Cortante, en el grueso	$f_{vp,k}$	6,5	6,5	6,5	5,0	8,5	8,5	8,5	7,0
Cortante, en el plano	$f_{rp,k}$ ^(**)	-	-	-	-	-	-	-	-
Rigidez media en N/mm ²									
Flexión	$E_{m,p}$	3700	3000	2900	2700	3700	3200	3100	2800
Tracción	E_{tp}	2900	2700	2000	1600	3100	2800	2700	2400
Compresión	E_{cp}	2900	2700	2000	1600	3100	2800	2700	2400
Cortante, en el grueso	G_{vp}	800	800	800	600	1000	1000	1000	800
Densidad en kg/m ³									
Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	500	650	600	550	500

^(*) En ambiente húmedo solo podrá usarse para cargas instantáneas o de corta duración.

^(**) El valor de $f_{rp,k}$ lo declarará el fabricante del tablero MDF-LA o del tablero MDF-HLS

Tabla 8.
Tableros de virutas orientadas para uso en ambiente seco (OSB/2) y para uso en ambiente húmedo (OSB/3).
Valores de las propiedades.

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

OSB/4 (UNE EN 300)
De alta prestación para su uso en ambiente
húmedo

Espesor nominal, t_{nom} , en mm

Propiedades			> 6 a 10	> 10 a 18	> 18 a 25
Resistencia característica en N/mm ²					
Flexión	paralela	$f_{m,p,0,k}$	24,5	23,0	21,0
	perpendicular	$f_{m,p,90,k}$	13,0	12,2	11,4
Tracción	paralela	$f_{t,p,0,k}$	11,9	11,4	10,9
	perpendicular	$f_{t,p,90,k}$	8,5	8,2	8,0
Compresión	paralela	$f_{c,p,0,k}$	18,1	17,6	17,0
	perpendicular	$f_{c,p,90,k}$	14,3	14,0	13,7
Cortante en el grueso		$f_{v,p,k}$	6,9	6,9	6,9
Cortante en el plano		$f_{r,p,k}$	1,1	1,1	1,1
Rigidez media en N/mm ²					
Flexión	paralela	$E_{m,0,p}$	6780	6780	6780
	perpendicular	$E_{m,90,p}$	2680	2680	2680
Tracción	paralela	$E_{t,0,p}$	4300	4300	4300
	perpendicular	$E_{t,90,p}$	3200	3200	3200
Compresión	paralela	$E_{c,0,p}$	4300	4300	4300
	perpendicular	$E_{c,90,p}$	3200	3200	3200
Cortante en el grueso		$G_{v,p}$	1090	1090	1090
Cortante en el plano		$G_{r,p}$	60	60	60
Densidad en kg/m ³					
Característica		$\rho_{p,k}$	550	550	550

Tabla 9.
Tableros de virutas orientadas de alta
prestación para uso en ambiente húmedo
(OSB/4).
Valores de las propiedades.

- UNE-EN 12369-2: define un sistema de clases resistentes para los tableros contrachapados relativos a la resistencia (Clases F3 a F80) y módulo de elasticidad (Clases E5 a E140) en flexión, tablas 11 y 12.

Para esta familia de tableros el fabricante deberá cumplir las especificaciones correspondientes a cada clase de resistencia a la flexión y de módulo de elasticidad en flexión, definidas en la norma UNE-EN 636. En un sistema parecido al de la madera aserrada, en el que el fabricante deberá declarar las clases de resistencia y elasticidad a las que quedan asignadas los distintos tableros que produce (clase en dirección de la fibra/clase en dirección perpendicular).

Tabla 10. Clases de resistencia a flexión para
el tablero contrachapado. Valores característicos de resistencia a la
flexión $f_{m,K}$ (UNE - 12369-2)

Clase	Valor mínimo de la resistencia característica a flexión N/mm ²
F3	3
F5	5
F10	10
F15	15
F20	20
F25	25
F30	30
F40	40
F50	50
F60	60
F70	70
F80	80

$f_{m0,5}$

Tabla 11. Clases de módulo de elasticidad a flexión para el tablero contrachapado. Valores medios del módulo de elasticidad E_m , mean (UNE-EN 12369-2)

Clase	Valor mínimo del módulo de elasticidad medio N/mm^2
E5	500
E10	1000
E15	1500
E20	2000
E22	2500
E30	3000
E40	4000
E50	5000
E60	6000
E70	7000
E80	8000
E90	9000
E100	10000
E120	12000
E140	14000

Los valores característicos del módulo de elasticidad (5º percentil) se tomarán como 0,8 veces los valores de la tabla 11.

Ejemplo: un tablero contrachapado designado F10/20 y E30/40, tendrá como mínimo un valor característico de resistencia a flexión de 10 y 20 N/mm^2 (en dirección paralela y perpendicular, respectivamente) y como mínimo un valor medio del módulo de elasticidad, de 3000 y 4000 N/mm^2 (en dirección paralela y perpendicular respectivamente).

- prEN 12369-3: proyecto de norma que establece unos valores mínimos para los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros de madera maciza. Se trata de unos valores generales sin diferenciar la especie de madera.

En las tablas 12 y 13 se indican los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad para cada tipo de tablero según lo establecido en la norma prEN 12369-3.

Tabla 12. Valores característicos de tableros de madera maciza monocapas (prEN 12369-3, requisitos de UNE-EN 13353)

Espesor mm	Valores característicos		
	Densidad kg/m^3	Flexión paralela a la dirección de la fibra N/mm^2	
	ρ	f_m	E_m
20-30	410	40	10000

Como valor del 5º percentil para el módulo de elasticidad (E_m) se tomará 0,85 veces del valor medio de la tabla 12.

Tabla 13. Valores característicos de las resistencias de tableros de madera maciza multicapa (prEN 12369-3, requisitos de UNE-EN 13353)

Espesor mm	Valores característicos de densidad en kg/m ³ y resistencia en N/mm ²												
	Densidad	Flexión de canto		Flexión de tabla		Tracción		Compresión		Cortante de canto (*)		Cortante de tabla (**)	
		ρ	f_m	f_m	f_p	f_p	f_t	f_t	f_c	f_c	f_v	f_v	f_r
t		0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
12-20	410	35	5	25	12	16	6	16	10	4	5	1,6	1,4
>20-32	410	30	5	14	12	9	6	16	10	4	3,5	1,6	1,4
>30-42	410	16	9	12	12	6	6	10	16	3,5	2,5	1,2	1,4
>42	410	12	9	10	12	6	6	10	16	2,5	2	1,2	1,4

(*) De canto o en el grueso del tablero.
(**) De tabla o en el plano del tablero.

Tabla 14. Valores medios de la rigidez de tableros de madera maciza multicapa (prEN 12369-3, requisitos de UNE-EN 13353)

Espesor mm	Valores medios del módulo de elasticidad en N/mm ²									
	Flexión de canto		Flexión de tabla		Tracción		Cortante de canto (*)		Cortante de tabla (**)	
	E_m	E_m	E_p	E_p	E_t	E_t	G_v	G_v	G_r	G_r
t	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
12-20	10000	550	4700	3500	4700	2900	470	470	41	41
>20-32	8200	550	2900	3500	3500	2900	470	470	41	41
>30-42	7600	1500	2400	4700	2400	2900	470	470	41	41
>42	7100	1500	1800	4700	2400	2900	470	470	41	41

(*) De canto o en el grueso del tablero.
(**) De tabla o en el plano del tablero.

Como valor del 5º percentil para el módulo de elasticidad (E_m) se tomará 0,85 veces el valor medio de la tabla 14 anterior.

Además de todo lo anterior, en la norma UNE-EN 634-2 quedan establecidos los valores de resistencia y densidad mínimos exigidos para los tableros de madera-cemento (tipo OPC). La tabla 15 recoge tales valores.

En el caso de cualquier otro tipo de tablero no contemplado en las normas anteriores, o cuando el fabricante desee aportar valores diferentes a los anteriores, los valores característicos deberán obtenerse mediante ensayos efectuados según las normas UNE-EN 789 y UNE-EN 1058, siendo calculados según la norma UNE-EN 14358. El fabricante será el responsable de aportar la información sobre estas propiedades.

Tabla 15. Valores característicos del tablero de madera-cemento (tipo OPC)

Propiedad	Unidades	Requisito (todos los espesores)
Densidad	kg/m ³	1000
Resistencia a la flexión	N/mm ²	9
Módulo elasticidad en flexión	N/mm ²	Clase 1 4500 Clase 2 4000
Resistencia a la tracción	N/mm ²	0,5

Durabilidad

En la tabla 16 se resumen la aptitud de empleo de los diversos tipos de tableros para cada clase de servicio y de uso.

Tabla 16. Aptitud de los tableros a la clase de servicio y de uso.
La aptitud a una clase de servicio implica la aptitud a las clases inferiores.

Tablero Norma	Tipo	Clase de	
		Servicio	Uso
Madera maciza UNE-EN 12775	SWP1	1	1
	SWP2	2	2
	SWP3	3	4
Contrachapado UNE-EN 636	1 (seco)	1	1
	2 (húmedo)	2	2
	3 (exterior)	3	4/5
Virutas orientadas UNE-EN 300	OSB 2	1	1
	OSB 3	2	2
	OSB 4	2	2
Partículas UNE-EN 312	P4	1	1
	P5	2	2
	P6	1	1
	P7	2	2
Fibras duros UNE-EN 622-2	HB. LA	1	1
	HB.HLA1 y 2	2	2
Fibras media densidad UNE-EN 622-5	MDF.LA	1	1
	MDF.HLS	2	2
Fibras semiduros UNE-EN 622-3	MBH.LA1 y 2	1	1
	MBH.HLS1 y 2	2	2
Madera cemento		2	3

Comportamiento al fuego

La clasificación de reacción al fuego de los tableros derivados de la madera se recoge en la norma UNE-EN 13986, cuyo re-

sumen se presenta en la tabla 17. Esta clasificación se puede mejorar mediante tratamientos ignífugos de las chapas, de todo el tablero o añadiendo productos ignífugos al adhesivo utilizado en su fabricación.

Tabla 17. Euroclases definidas para los tableros derivados de la madera según norma UNE-EN 13986

Tipo Tablero	Norma UNE-EN	Densidad mínima (kg/m ³)	Espesor mínimo (mm)	Clase (excluido revestimiento de suelo)	Clase revestimiento de suelo
Madera maciza	13353	400	12	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Contrachapados	636	400	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Partículas	312	600	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Fibras duros	622-2	900	6	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Fibras semiduros	622-3	600	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
		400	9	E, pasa	E _{FL}
Fibras blandos	622-4	250	9	E, pasa	E _{FL}
Fibras MDF	622-5	600	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Partículas cemento (OPC)	634-2	1000	10	B-s1, d0	B _{FL} -s1

Nota: Las clases establecidas en esta tabla se refieren a tableros no ensamblados, tableros ensamblados por junta machihembrada instalados según la norma UNE-ENV 12872 y tableros con juntas totalmente apoyadas sobre viguetas instaladas según la norma UNE-EN12872.

Propiedades físicas

cas relacionadas con el acondicionamiento ambiental extraídas del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

En la tabla 18 se recogen los valores de las propiedades físicas

Tabla 18. Propiedades físicas de los tableros relacionadas con el acondicionamiento ambiental.

Producto	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Tablero contrachapado, tableros de madera maciza (SWP) y madera microlaminada (LVL) ⁽¹⁾	700 < ρ ≤ 900	0,24	1600	110
	600 < ρ ≤ 750	0,21	1600	110
	500 < ρ ≤ 600	0,17	1600	90
	450 < ρ ≤ 500	0,15	1600	70
	350 < ρ ≤ 450	0,13	1600	70
	250 < ρ ≤ 350	0,11	1600	50
	ρ ≤ 250	0,09	1600	50
Tablero de partículas	640 < ρ ≤ 820	0,18	1700	20
	450 < ρ ≤ 640	0,15	1700	20
	270 < ρ ≤ 450	0,13	1700	20
	180 < ρ ≤ 270	0,10	1700	20
Tablero de madera-cemento (OPC)	≤ 1200	0,23	1500	30
Tableros de fibras, incluyendo MDF ⁽²⁾	750 < ρ ≤ 1000	0,20	1700	20
	550 < ρ ≤ 750	0,18	1700	20
	350 < ρ ≤ 550	0,14	1700	12
	200 < ρ ≤ 350	0,10	1700	6
	ρ ≤ 200	0,07	1700	2
Tableros de fibras con conglomerante hidráulico	450 < ρ ≤ 550	0,15	1700	12
	350 < ρ ≤ 450	0,12	1700	5
	250 < ρ ≤ 350	0,10	1700	5
Tablero de virutas orientadas (OSB)	ρ ≤ 650	0,13	1700	30
Corcho	ρ ≤ 500	0,10	1560	5
Comprimido	100 ≤ ρ ≤ 150	0,049	1560	5
Expandido puro	150 ≤ ρ ≤ 250	0,055	1560	5
Expandido con resinas sintéticas	100 ≤ ρ ≤ 150	0,049	1560	5
Placas de corcho	ρ > 400	0,065	1500	20

⁽¹⁾ Como medida provisional y hasta disponer de suficientes datos significativos para los tableros de madera maciza (SWP) y madera microlaminada (LVL) pueden utilizarse los valores dados para contrachapados.

⁽²⁾ MDF: Tablero de fibras de densidad media, proceso en seco.

λ Conductividad térmica, en W/m K, o la resistencia térmica R, en m² K/W;

c_p Calor específico, en J/kg K;

μ Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua.

ρ Densidad en Kg/m³.

Estabilidad dimensional

En la tabla 19 quedan recogidos los valores medios de las variaciones dimensionales que se producen en estos tableros por cada 1% de variación en su contenido de humedad. En dicha tabla también figuran los valores de la humedad de equilibrio del tablero para tres condiciones de humedad relativa (a 20°C).

Tabla 19.
Variaciones dimensionales del tablero (fuente Wood Panels Industries Federation)

Tablero	Variaciones dimensionales* (%)			Humedad de Equilibrio para una humedad relativa (%)		
	Longitud	Anchura	Espesor	30%	65%	80%
T. Partículas						
P4 y P6	0,05	0,05	0,7	7	11	15
P5 y P7	0,03	0,04	0,5			
T. OSB						
OSB2	0,03	0,04	0,7	5	10	15
OSB3	0,02	0,03	0,5			
OSB4	0,02	0,03	0,5			
T. Cemento (OPC)	0,05	0,05	0,04	5	10	14
T. Contrachapado	0,015	0,015	0,35	7	12	18

*Expresadas para una variación en el contenido de humedad del tablero de 1%

TIPOS ESTRUCTURALES

Los usos estructurales de los tableros pueden clasificarse en los siguientes:

- Cerramiento de forjados como entrevigado.
- Cerramiento de cubiertas.
- Cerramiento de muros.
- Función de arriostamiento y estabilidad de construcciones ligeras sirviendo de diafragmas en forjados, cubiertas y muros.
- Alma de viguetas prefabricadas mixtas con madera maciza, laminada o microlaminada.
- Alas de paneles de caras en tensión para casetones de forjado o de cubierta.

MARCADO CE

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE es la UNE-EN 13986, que entró en vigor de forma definitiva el 1 de junio de 2006, siendo obligatorio el Marcado CE desde dicha fecha.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, F., Peraza, F. y García Esteban, L. (2008). Characteristic values of the mechanical properties of radiata pine plywood and the derivation of basic values of the layers for a calculation method. *Biosystems Engineering (Biosyst. Eng)*. Vol 99/2 pp 256-266. ISSN 1537-5110.
- Arriaga, F., González, M.A., Medina, G., Ortiz, J., Peraza, F., Peraza, J.E. y Touza, M. (1994) *Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración*. Editorial Aitim, Madrid. 572 pp.
- Catálogo de elementos constructivos del CTE*. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. Versión preliminar: Mayo 08.
- Fernández Golfín-Seco, J.I. (1985). *El tablero aglomerado de madera en cerramientos*. Ed. ODITA, Madrid, 32 pp.
- Fernández Golfín-Seco, J.I. (1989). *Curso de construcción con madera. Estructuras mixtas, Rehabilitación, Carpintería. Capítulo 1 "Los tableros de madera en la construcción"*. Ed COAM, Madrid, 118 pp.
- Grau, J. (1978). *Estudio general de aplicaciones del tablero aglomerado de madera en la construcción*. Ed. ODITA, Madrid, 98 pp.
- Grau, J., Verd, A. y Gutiérrez, M.V. (1979). *El tablero aglomerado en la construcción*. Ed. ODITA, Madrid, 221 pp.
- Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R., Volz, M. and Winter, W. (2004). *Timber construction manual*. Birkhäuser. Edition Detail.

ODITA (1985). *El tablero aglomerado de madera hidrófugo en encofrados y base de cubiertas*. Ed. ODITA, Madrid, 44 pp.

Peraza, F., Arriaga, F. y Peraza, J.E. (2004). *Tableros derivados de la madera de uso estructural*. Ed. AITIM, Madrid, 252 pp.

NORMATIVA

prEN 12369-3:2008. *Wood-based panels. Characteristic values for structural design. Part 3: Solid-wood panels*.

UNE-EN 1058:1996. *Tableros derivados de la madera. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y de la densidad*.

UNE-EN 12369-1:2001. *Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 1: OSB, tableros de partículas y tableros de fibras*.

UNE-EN 12369-2:2004. *Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 2: tableros contrachapados*.

UNE-EN 12775:2001. *Tableros de madera maciza. Clasificación y terminología*.

UNE-EN 13353:2008. *Tableros de madera maciza (SWP). Requisitos*.

UNE-EN 13986:2006. *Tableros derivados de la madera para utilización en construcción. Características, evaluación de la conformidad y marcado*.

UNE-EN 14272:2003 *Tableros contrachapados. Método de cálculo para algunas propiedades mecánicas*.

UNE-EN 1995-1-1:2006. *Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación*.

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

UNE-EN 633:1995. *Tableros de partículas aglomeradas con cemento. Definición y clasificación*.

UNE-EN 634-1:1996. *Tableros de partículas aglomeradas con cemento. Especificaciones. Parte 1: Especificaciones generales*.

UNE-EN 634-2:2007. *Tableros de partículas aglomeradas con cemento. Especificaciones. Parte 2: Especificaciones para los tableros de partículas aglomeradas con cemento Portland ordinario para u utilización en ambiente seco, húmedo y exterior*.

UNE-EN 636:2004. *Tableros contrachapados. Especificaciones*.

UNE-EN 789:2006. *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la madera*.

VIGAS MIXTAS PREFABRICADAS

DEFINICIÓN

Son piezas estructurales de sección compuesta con unas cabezas o alas de madera o materiales derivados de la madera y un alma de tablero derivado de la madera o acero. El tipo más frecuente consiste en una viga en doble T con alas de madera microlaminada y alma de tablero de virutas orientadas.

APLICACIONES

Su aplicación en la construcción más típica es la de constituir la estructura secundaria en edificación residencial o industrial utilizándose fundamentalmente como viguetas de forjado o correas de cubierta.

Son elementos muy ligeros que permiten un montaje rápido, sencillo y con medios de elevación ligeros o manuales. Su alma abierta o perforable permite el paso de conducciones de distribución de agua, saneamiento y electricidad.

Comentarios:

Una de las ventajas que presentan frente a otros elementos estructurales para forjados y cubiertas, como es el caso de la madera aserrada, es que el fabricante ofrece tablas para el dimensionado directo y la información necesaria para la resolución de prácticamente todos los detalles constructivos y uniones. La longitud de las viguetas puede llegar a 18 o 20 m, por lo que es sencillo diseñar forjados de dos o tres vanos continuos. La relación resistencia/peso es muy ventajosa; el peso por metro lineal de las viguetas con alma de tablero varía entre 3 y 9 kg en función de las dimensiones del ala. Esto significa que pueden colocarse manualmente, lo que proporciona ventajas económicas y ahorros de tiempo en la puesta en obra. Normalmente en el alma de las vigas vienen pre-taladrados una serie de orificios circulares, que se pueden quitar y que facilitan el paso de la instalación eléctrica y sanitaria. Las cabezas de las viguetas permiten instalar o colocar fácilmente el material utilizado como entrevigado.

MATERIALES

En su fabricación se pueden utilizar una gran variedad de materiales y componentes:

Para las alas:

- madera aserrada estructural.
- madera laminada encolada.
- madera microlaminada.

Para el alma:

- tableros de virutas de madera orientadas estructurales.
- tableros contrachapados estructurales.
- tableros de fibras estructurales.
- tableros de partículas estructurales.
- elementos de acero galvanizado en forma de V que constituyen una celosía.
- chapa plegada de acero galvanizado.

Para la unión entre alas y alma se emplean adhesivos (normalmente de Fenol-Formaldehído y Fenol-Resorcinol) cuando se trata de alma de tablero; y la unión entre piezas metálicas y las alas o cabezas se realiza mediante un sistema de placa clavo de la misma pieza metálica que se une mediante prensas en la fábrica.

Todos los productos utilizados deben cumplir sus correspondientes normas de productos y estar caracterizados.

TIPOS ESTRUCTURALES

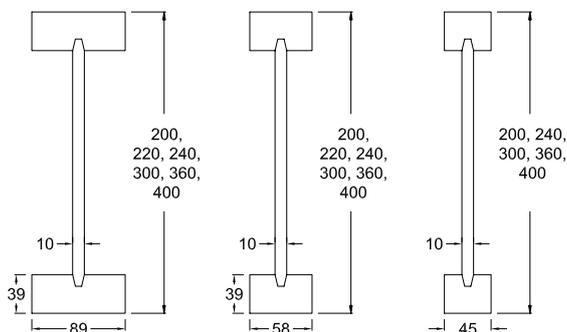
Viguetas con alas de madera microlaminada y alma de tablero de virutas

Las alas de las viguetas son de madera microlaminada con una anchura de 39 mm y una altura variable de 38, 45, 58 y 89 mm, según el modelo y el fabricante. El alma es de tablero



de virutas orientadas con un grueso de 9,5, 10 y 12,7 mm según fabricantes. Originariamente el alma se fabricaba con tablero contrachapado, pero en la actualidad ha sido desplazado por el tablero de virutas orientadas. El canto total de la vigueta varía entre 180 y 508 mm, aunque bajo pedido puede llegarse hasta los 762 mm. El producto fabricado en Europa sigue una gama de cantos habituales de 200, 220, 240, 300, 360 y 400 mm, figura 1. La longitud suele quedar limitada al largo de transporte de unos 14 m.

Figura 1.
Viguetas con alas de madera microlaminada y alma de tablero de virutas orientadas.



Viguetas con alas de madera aserrada y alma de tablero de fibras duro

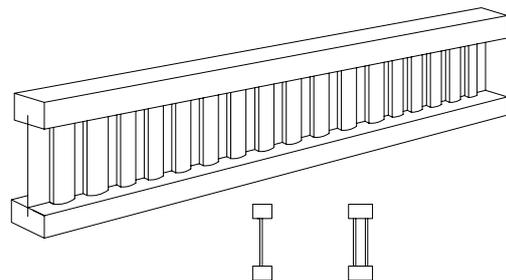
Es un sistema similar al anterior en el que el material que constituye las alas es madera aserrada clasificada estructuralmente con empalmes dentados encolados y con una sección de 45x45 mm y de 70x45 mm; el alma es de tablero de fibras duro con un grueso del orden de los 8 mm. El canto total varía de 200 a 550 mm y la longitud máxima entre 12 y 15 m. Este producto actualmente no es frecuente en el mercado.

Viguetas con alas de madera aserrada y alma de chapa de acero plegada

Viguetas formadas con un alma de acero galvanizado con un tratamiento epoxi que se prensa entre dos nervios o alas de madera de conífera generalmente tratada con productos protectores. Las alas tienen una sección de 72x36 a 122x61 mm. El alma de acero tiene forma plegada para aumentar su iner-

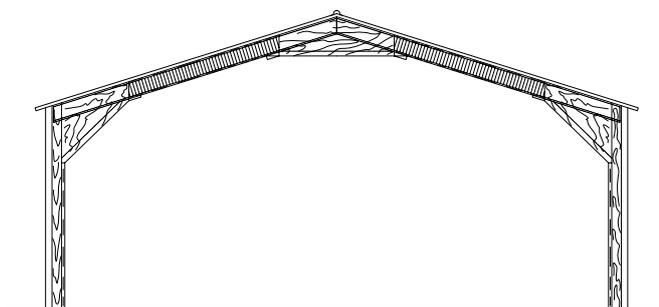
cia transversal y evitar el pandeo local por abolladura, figura 2. El sistema de fabricación permite dotar a las viguetas de una contraflecha de ejecución. Su longitud máxima es de 18 a 20 m. El canto total varía de 180 a 480 mm.

Figura 2.
Vigueta con alma de chapa plegada.



Se utilizan como viguetas de forjado de piso, correas y pares de cubierta. Además, permiten la fácil construcción de cubiertas habitables e incluso pórticos a dos aguas de uso industrial con luces de hasta 12 m, figura 3.

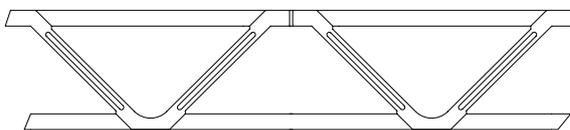
Figura 3. Pórticos a dos aguas contruidos con viguetas con alma de chapa plegada.



Viguetas con alas de madera aserrada y alma de celosía de acero

Estas viguetas están formadas por alas de madera aserrada con empalmes dentados y un alma de celosía constituida por piezas de acero en forma de V que se unen por clavado a las alas. La unión se realiza mediante prensado en fábrica de los extremos de las piezas que disponen de clavos obtenidos por estampación de la propia pieza metálica, figura 4. El canto total de la vigueta es de 200 a 570 mm. La separación entre ejes de viguetas de forjado de piso es de 45 a 60 cm y en correas o pares de cubierta de 60, 90 o 120 cm.

Figura 4. Viguetas con alas de madera aserrada y alma formada por piezas metálicas en V clavadas.



PROPIEDADES

Al no existir ni normas EN de producto ni normas armonizadas, el fabricante que desee disponer del Mercado CE deberá aportar la información correspondiente a las propiedades de su producto mediante un Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE) o ETA (European Technical Approval) emitido por un Organismo Notificado y obtenido a partir de los ensayos efectuados de acuerdo con los contenidos de la Guía ETAG (European Technical Approval Guidelines) nº 11 "Light Composite Wood-based Beams and Columns".

Propiedades mecánicas. Capacidad portante

Al tratarse de un producto prefabricado el fabricante deberá aportar las propiedades mecánicas necesarias para el cálculo estructural o las tablas y ábacos de dimensionado directo junto con las bases de cálculo utilizadas.

Comportamiento al fuego

Estos elementos prefabricados tienen componentes de espesores muy reducidos como los tableros o piezas metálicas sin protección contra el fuego, por lo que su resistencia al fuego

no alcanza por sí mismo los 30 minutos. Por tanto, es necesario recurrir a la protección contra el fuego mediante la instalación de capas de tableros de yeso laminado en su cara inferior. En general, para alcanzar los 30 minutos es suficiente con un tablero de yeso laminado de 15 mm y para 60 minutos dos tableros. No obstante, el fabricante deberá incluir información sobre la resistencia al fuego basada en ensayos realizados en soluciones concretas.

Comportamiento acústico

Los forjados construidos con estos sistemas son muy ligeros y para cumplir los requisitos de aislamiento acústico requieren de la ayuda de otros elementos constructivos como suelen ser una doble capa de tableros de yeso laminado instalada en la cara inferior suspendidas de perfiles resilientes, fibra de vidrio en la cavidad interior y varias capas de tableros en la cara superior. El fabricante deberá aportar información sobre su comportamiento acústico basado en ensayos.

ALMACENAJE, TRANSPORTE Y MONTAJE

Las viguetas se almacenarán y manipularán siempre en posición vertical. Se dispondrán protegidas de la lluvia y separadas del suelo en pilas con rastreles separados a 3 m.

Las viguetas son inestables hasta que no se coloque el tablero de cerramiento por lo que no debe caminar ni colocar cargas sobre ellas hasta ese momento.

Pueden cortarse utilizando las mismas herramientas utilizadas para trabajar la madera. Sin embargo, no deberían realizarse cortes o taladros en el ala de las viguetas. En el caso de que se realizara algún corte, deberían seguirse las indicaciones del fabricante.

En las viguetas de alma llena se pueden realizar orificios en el alma para el paso de cables y de tuberías. Cada fabricante establece claramente en su catálogo su forma, dimensión y localización. Como no se puede generalizar se ha de seguir lo especificado y recomendado por el fabricante. En el caso de que no estuvieran especificados y si se realizaran, deberían estar aprobados por el fabricante.

Además los fabricantes deben especificar los posibles refuerzos en los apoyos y en los puntos donde pueden actuar cargas puntuales. El objetivo de estos refuerzos es evitar el pandeo local o abolladura del alma. La transmisión vertical de las cargas, que actúan en la parte superior, a los apoyos puede requerir la adición de nuevas piezas. Estas piezas pueden ser de madera aserrada, tablero contrachapado, tablero de viru-

tas orientadas e incluso vigas prefabricadas de dimensiones más pequeñas. Todos los entramados deberían realizarse siguiendo las indicaciones del fabricante.

Cuando sea necesario suspender pesos de las viguetas debe tenerse la precaución de que no actúen sobre su ala inferior. Se pueden utilizar herrajes especiales, parecidos a los empleados en la madera laminada encolada, que suelen venir especificados en los catálogos de los fabricantes.

MARCADO CE

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. Al no existir norma armonizada de producto pero sí Guía ETAG, la implantación del Marcado CE es voluntaria por parte del fabricante pero en caso de ser efectuada ha de hacerse de acuerdo con los contenidos técnicos de la Guía ETAG (European Technical Approval Guidelines) nº 11, la cual define todos los aspectos relativos al marcado CE de estos productos. Desde 2004 el Marcado CE de estos productos es posible.

BIBLIOGRAFÍA

Arriaga, F., González, M.A., Medina, G., Ortiz, J., Peraza, F., Peraza, J.E. y Touza, M. (1994) *Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración*. Editorial Aitim, Madrid. 572 pp.

Canadian Wood Council (1991). *Wood Reference Handbook*. Ed. Canadian Wood Council/Conseil Canadien du Bois, Ottawa – Canada.

Arriaga, F., González, M.A., Medina, G., Ortiz, J., Peraza, F., Peraza, J.E. y Touza, M. (1994) *Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración*. Editorial Aitim, Madrid. 572 pp.

Wood Handbook. Wood as an engineering product (1999). Forest Product Laboratory.

ETAG 011 (2002). *Light composite wood based panels, beams and columns*. EOTA. 52 páginas.

EOTA TR 002 (2000). *Test methods for light composite wood-based beams and columns*. EOTA.

Acceptance criteria for prefabricated wood I-Joist. International Conference of Building Officials (ICBO).

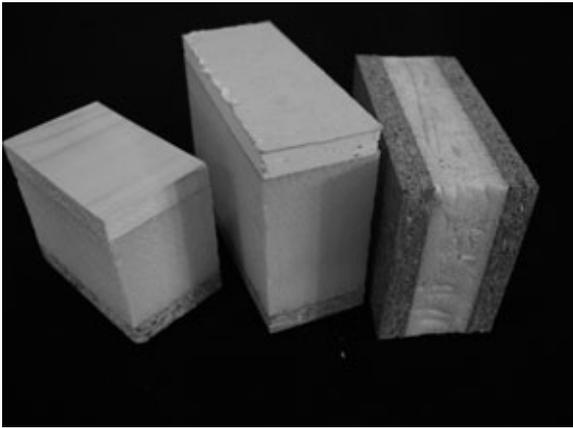
NORMATIVA

ASTM D 5055. *Standard specification for establishing and monitoring structural capacities of prefabricated wood I-Joists*.

PANELES SÁNDWICH DE CERRAMIENTO

DEFINICIÓN

Paneles ligeros compuestos por uno o dos paramentos formados por tableros o frisos de madera maciza o combinado con chapas metálicas, con o sin entramado interior, y un alma interior que suele ser aislante térmico, unida al menos a uno de los paramentos.



APLICACIONES

Las aplicaciones más características de este producto se encuentran en el cerramiento de la edificación y asume por lo general además de la función de cerramiento y soporte de las cargas aplicadas, la de aislamiento térmico gracias al material aislante del alma. En algunos casos puede llegar incluso a cumplir la función de impermeabilización. Las aplicaciones más frecuentes son:

- Cerramiento de cubiertas: Los paneles se apoyan sobre las correas o pares de la estructura de cubierta. Su gran ventaja es que pueden salvar luces mayores que el simple tablero (de hasta 2 o 3 m), resolviendo además el aislamiento térmico e, incluso, el acústico. El paramento inferior suele ser visto y, por ello, incorporar el acabado final, sin necesidad de operaciones posteriores. Es posible disponer teja sobre un enrastreado fijado a la cara superior del panel, que en algunos casos se coloca en fábrica.
- Cerramiento de muros exteriores: Los paneles quedan apoyados sobre el entramado estructural de la fachada y soportan las cargas aplicadas sobre la fachada y además aportan el aislamiento térmico.

- Doblado de cubiertas, falsos techos o muros de cerramiento. Son paneles sin funciones resistentes que permiten el acabado interior incorporando el aislamiento térmico o acondicionamiento acústico en construcciones de nueva planta o en la rehabilitación de edificios existentes.

DIMENSIONES

Las dimensiones más habituales son las siguientes:

Longitud: 2390, 2400, 2430, 2490, 2990, 3290, 3590, 4190, 4990 mm

Anchura: normalmente 600 mm; en algunos casos 540 mm.

Espesor: variable

El espesor depende fundamentalmente del grosor del material utilizado en el alma, que suele ser de (40, 50, 60, 80 mm o superiores); y de los espesores de los materiales de las caras y contracaras que pueden variar entre 10 y 27 mm.

MATERIALES

Los materiales que pueden formar parte de los paramentos del panel son los siguientes:

- Madera aserrada de madera de conífera (abeto o pino) o de frondosa (generalmente roble) en forma de friso machihembrado de 14 a 22 mm de grueso, que queda en la cara o paramento inferior y, por tanto, suele ser visible desde el interior del local.
- Tableros derivados de la madera con espesor de 10 mm aproximadamente:
 - o Para la cara inferior, normalmente vista, se suelen emplear los tableros contrachapados, de partículas, de fibras de densidad media rechapados o melaminados, de virutas orientadas, de yeso laminado, de viruta de madera o de madera-cemento con propiedades de absorción acústica.
 - o Para la cara exterior se suelen emplear los tableros de partículas con comportamiento mejorado a la humedad, los contrachapados o los de virutas orientadas.
- Chapa de acero: existen paneles mixtos (acero-madera) que utilizan para su paramento externo una chapa de acero de 0,5 a 0,6 mm de espesor y tableros o frisos de madera para su paramento interior. Con esta conformación, el paramento exterior de chapa sirve de impermeabilización.

Los materiales que constituyen el alma del panel suelen ser espumas sintéticas o materiales aislantes (entre ellos el corcho aglomerado negro) alcanzando un grueso de 30 a 120 mm (en algunos casos más). Los habituales son el poliestireno extruido, poliestireno expandido, lana de roca y corcho.

TIPOS

Se incluye una descripción de los tipos más frecuentes de paneles sándwich. Los valores de dimensiones y otros detalles constructivos tienen únicamente un carácter informativo. Cada fabricante tiene diseños y sistemas de colocación específicos.

Paneles con dos paramentos de tablero y alma de espuma

Se construyen encolando un alma de espuma aislante rígida a dos tableros derivados de la madera. Los tableros tienen un grueso del orden de 10 mm y el alma un grueso variable en función de los requerimientos de aislamiento térmico y del vano entre apoyos, variando desde 30 a 120 mm. En algunos casos la cara interior es un tablero ranurado imitando un friso de madera maciza, y la cara exterior puede incorporar un enrastrelado para el apoyo del contrarastrel y la teja.

El peso oscila entre 0,12 y 0,28 kN/m². Las luces de los vanos que pueden salvar varían entre 90 y 250 cm. La anchura más frecuente es de 600 mm, y la longitud habitual varía desde 2390 a 3590 mm. En las figuras 1 a 3 se incluyen diversos tipos de panel en función de su sección transversal y del sistema de unión.

Figura 1.
Panel sándwich con dos paramentos de tablero.

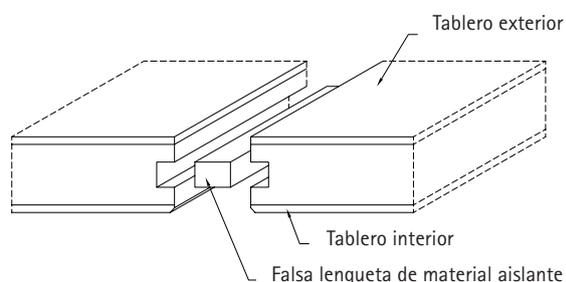


Figura 2.
Panel sándwich con tablero interior ranurado.

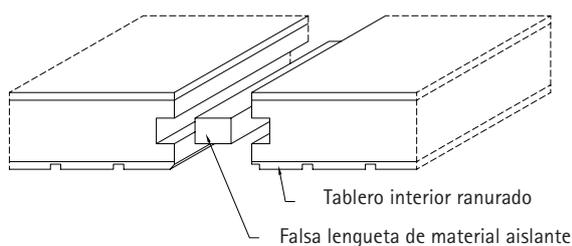
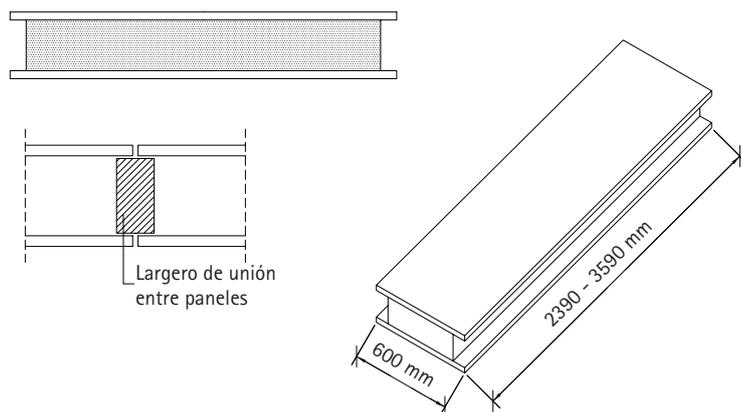


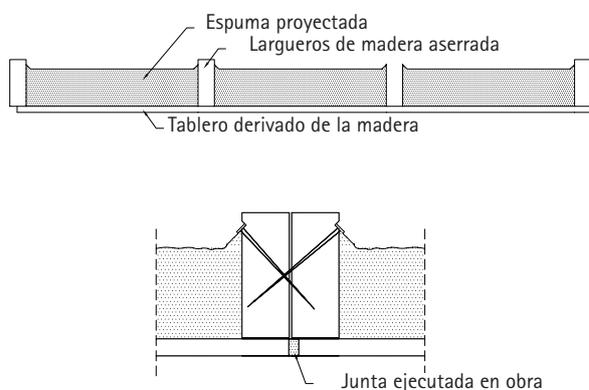
Figura 3.
Panel sándwich con uniones mediante largueros de madera aserrada.



Paneles con una sola cara armados con largueros de madera (casetones)

Se trata generalmente de paneles formados por un tablero de derivado de la madera colocado en la cara inferior, una capa de aislante térmico (a veces proyectado en fábrica) y unos refuerzos longitudinales de largueros de madera aserrada. Suelen constituir casetones que se disponen en piezas únicas desde alero a cumbrera. En la figura 4 se muestra un ejemplo.

Figura 4.
Paneles armados con largueros.

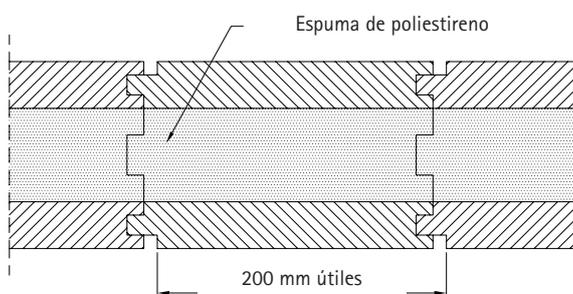


Paneles - entablados sándwich

Consisten en paneles en los que los dos paramentos están formados por tablas de madera y el alma por espuma de poliestireno de alta densidad encolada a las tablas. La anchura del panel queda reducida al ancho de la tabla (alrededor de 200 mm). En realidad se trata de un entablado tradicional que incorpora un mayor aislamiento y tiene una capacidad de carga muy superior a la de la tabla simple, figura 5.

El espesor total del panel varía entre 100 y 200 mm y el de la tabla es de unos 27 mm. La longitud de fabricación es de 12 a 18 m. Estos paneles o perfiles tienen una gran capacidad a flexión y permiten salvar grandes vanos entre apoyos (2 a 5 m).

Figura 5.
Paneles entablados-sándwich.

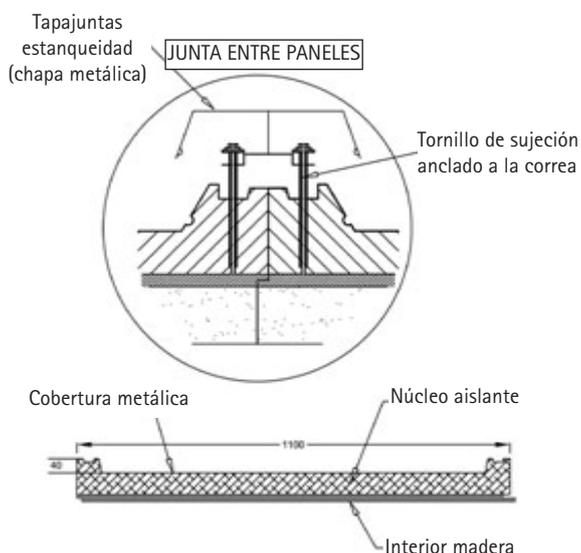


Paneles mixtos de acero y tablero

La cara externa de estos paneles es de chapa de acero con un grueso de 0,5 a 0,6 mm, que permite su utilización directa como impermeabilización, figura 6. El alma puede ser de lana de roca de alta densidad o de poliestireno expandido con un grueso de 50 a 120 mm. La cara interior está compuesta por un friso de madera aserrada de conífera (abeto o pino) con un espesor de 14 a 22 mm o por un tablero derivado de la madera, generalmente de virutas orientadas con un espesor de 10 mm.

Se fabrican con una longitud de 4,8 y 5 m y una anchura de 1100 mm. El peso varía entre 0,12 y 0,28 kN/m².

Figura 6.
Panel sándwich mixto de acero y tablero.



PROPIEDADES

Cada fabricante debe aportar la información correspondiente a las propiedades de su producto expresadas en un Documento de Idoneidad Técnico Europeo (DITE) o European Technical Approval (ETA), emitido por el correspondiente organismo notificado en base a los ensayos efectuados siguiendo una Guía ETAG. La Guía ETAG utilizada para la caracterización del comportamiento de estos paneles es la 016 "Composite Light Weight Panels". Esta guía tiene 4 partes: una general y tres para evaluar el comportamiento de estos productos para cubiertas, muros y revestimientos exteriores y paredes y revestimientos interiores. Es necesario apuntar que complementariamente a las exigencias establecidas en la Guía ETAG, los paneles deben cumplir las especificaciones definidas en el Código Técnico de la Edificación.

Comentarios:

Estos paneles se denominan en el documento ETAG 016 como paneles ligeros autoportantes. La denominación de autoportante en la ETAG quiere significar que se trata de un elemento constructivo que no forma parte de la estructura principal, ni tampoco cumple misiones de estabilización o arriostamiento del conjunto de la edificación. Se trata, pues, de un producto que sólo tiene que resistir las cargas que están aplicadas sobre él mismo (carga permanente, nieve, viento, tránsito de man-

tenimiento y temperatura) y que, por tanto, no recibe cargas de otros elementos constructivos. En caso contrario, si efectúan funciones portantes la caracterización de su comportamiento y propiedades debería efectuarse según los contenidos de la Guía ETAG 019 "Pre-fabricated wood-based loadbearing stressed skin panels", y se denominan paneles sándwich portantes.

MARCADO CE

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. Al no existir norma armonizada de producto pero sí Guía ETAG, la implantación del Marcado CE es voluntaria por parte del fabricante pero en caso de ser efectuada ha de hacerse de acuerdo con los contenidos técnicos de la Guía ETAG (European Technical Approval Guidelines) nº 16, la cual define todos los aspectos relativos al marcado CE de estos productos. Desde 2004 el Marcado CE de estos productos es posible.

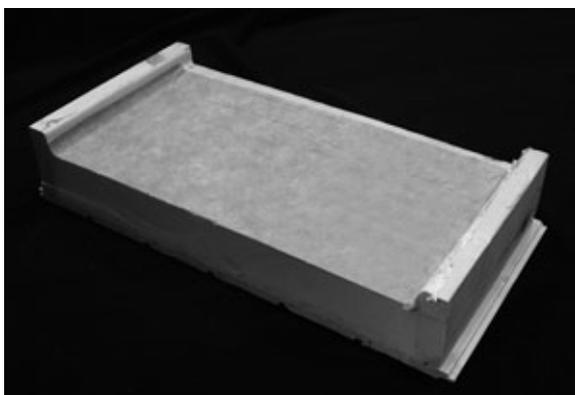
BIBLIOGRAFÍA

- APA (1986). *Design and fabrication of plywood sandwich panels*. American Plywood Association. USA. 9 págs.
- APA (1987). *Design and fabrication of plywood stressed-skin panels*. American Plywood Association. USA. 21 págs.
- Arriaga, F., González, M.A., Medina, G., Ortiz, J., Peraza, F., Peraza, J.E. y Touza, M. (1994) *Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración*. Editorial Aitim, Madrid. 572 pp.
- Bregulla, J. and Enjily, V. (2004). *An introduction to building with structural Insulated Panels (SIPs)*. BRE IP 13/04, 8 páginas.
- ETAG 016 (2003). *Self-supporting composite lightweight panels - Part 1: General*. EOTA, 50 págs.
- ETAG 016 (2003). *Self-supporting composite lightweight panels - Part 2: Specific aspects relating to self-supporting composite lightweight panels for use in roofs*. EOTA, 30 págs.
- ETAG 016 (2005). *Self-supporting composite lightweight panels - Part 3: Specific aspects relating to self-supporting composite lightweight panels for use in external walls and claddings*. EOTA, 23 págs.
- ETAG 016 (2004). *Self-supporting composite lightweight panels - Part 4: Specific aspects relating to self-supporting composite lightweight panels for use in internal walls and ceilings*. EOTA, 20 págs.
- ETAG 019 (2007). *Pre-fabricated wood-based loadbearing stressed skin panels*. 56 págs.

PANELES SÁNDWICH PORTANTES

DEFINICIÓN

Son elementos prefabricados compuestos por uno o dos paramentos de tableros derivados de la madera (al menos uno de los paramentos) con o sin nervios interiores de refuerzo con o sin alma de aislante rígido y con o sin barrera de vapor o membrana respirante. Son elementos constructivos que constituyen partes relevantes de la estructura principal destinados a la construcción de cubiertas, muros de carga y forjados de piso.



Comentarios:

Este tipo de paneles pueden tener una constitución similar a la de los paneles sándwich de cerramiento (normalmente dos paramentos y un alma aislante) lo que puede llevar a que tengan la misma denominación en el mercado de paneles sándwich. Sin embargo, los paneles portantes se diferencian claramente en que su función resistente no se limita únicamente a las cargas aplicadas directamente sobre el panel de cerramiento, sino que reciben cargas de otros elementos estructurales y suelen tener responsabilidad en la estructura principal y en la estabilidad del conjunto. La denominación propuesta de estos paneles es la de paneles portantes o también, por su denominación en inglés, paneles con caras en tensión.

APLICACIONES

Se utilizan para la construcción de cubiertas (generalmente sin necesidad de correas), muros de carga interiores o exteriores y forjados de piso. Son ligeros, pueden incorporar la función de aislamiento térmico y acústico, presentan gran rapidez de montaje y son especialmente indicados en la prefabricación. También pueden cumplir la función de arriostramiento y estabilizar el conjunto de la estructura mediante su capacidad de diafragma.

Se utilizan tanto en viviendas como en construcciones industriales de hasta tres plantas. En Europa se utilizan tanto en muros de carga interiores o exteriores como en cubiertas, mientras que en Estados Unidos, de donde procede este producto, se emplea principalmente en suelos y en forjados. Aunque habitualmente se utilizan en edificios de hasta dos o tres plantas, su capacidad de soportar cargas verticales y sus altas prestaciones térmicas le comunican un gran potencial para construcciones de mayores alturas.

Los sistemas constructivos con paneles estructurales son muy flexibles y permiten insertar, sin dificultad, puertas y ventanas, durante y después de que la fabricación haya finalizado. Los fabricantes suministran sus correspondientes manuales de instalación que detallan los procedimientos de colocación y de sujeción.

MATERIALES

Están compuestos por una cara y contracara de materiales generalmente derivados de la madera y un alma de un material que tiene una baja densidad. La correcta unión entre el alma y las caras es esencial para que pueda soportar cargas y transmitir las a otros elementos estructurales secundarios, como correas, o principales, como vigas.

Los materiales que pueden intervenir en la formación del panel son:

- Tableros derivados de la madera: Se emplean en las caras del panel. Los más empleados son los siguientes:
 - Tablero de madera maciza estructural.
 - Tablero contrachapado estructural.
 - Tablero de virutas orientadas OSB 3 y OSB 4.
 - Tablero de partículas P5 y P7.
 - Tablero de fibras de densidad media MDF.HLS.

- Tableros de madera-cemento o de cartón-yeso: A veces se utilizan en la cara interior para reforzar o mejorar la reacción al fuego.

- Materiales utilizados en el alma:

- Poliestireno extruido (XPS) o expandido (EPS)
- Poliuretano (PUR), y sus derivados de poliisocianatos (PIR)
- Fibras inorgánicas minerales
- Aglomerados de corcho natural
- Lana mineral o animal
- Madera aserrada o madera laminada encolada: Normalmente se utilizan como largueros o nervios internos que aportan rigidez y conectan ambas caras.

- Adhesivos: Específicos para el encolado entre tableros y paneles de espuma. Generalmente son del tipo urea-formol o de poliuretano.

DIMENSIONES

Las dimensiones de estos paneles son muy variables. La anchura suele depender de la anchura del tablero utilizado en su fabricación (normalmente 600 o 1200 mm). La longitud varía desde 2400 m hasta 4990 mm, pudiendo llegar aproximadamente a 10 m para casetones de cubierta. El grueso puede variar entre 50 y 250 mm, aproximadamente.

TIPOS

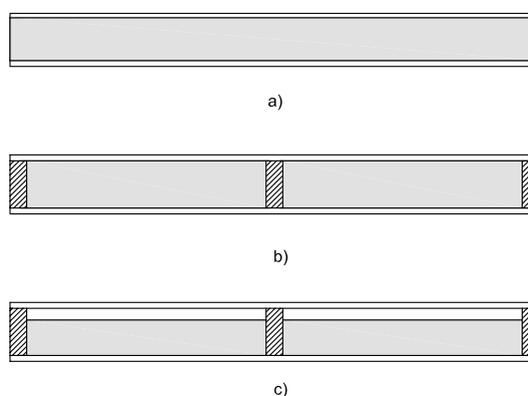
Los paneles portantes pueden clasificarse en los tipos siguientes:

Paneles con dos paramentos (paneles cerrados o en cajón)

El primer tipo está formado por dos caras con un alma de espuma rígida (poliestireno extruido o expandido o poliuretano) que se encuentra encolada a las caras y contribuye a la resistencia y rigidez del panel. Si no tiene refuerzos internos se puede denominar panel sándwich, figura 1a, y si dispone de largueros internos se denomina panel de caras en tensión, figura 1b. Este último permite luces mayores.

En el segundo tipo la espuma que constituye el alma es flexible (lana de roca, fibra natural) o queda sin encolar (poliuretano) y por tanto no contribuye a la resistencia y rigidez del panel, figura 1c. Generalmente incorporan largueros de madera de refuerzo

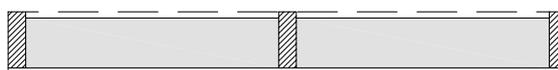
Figura 1.
Paneles con dos paramentos.



Paneles con un paramento (paneles abiertos)

Estos paneles incorporan un alma aislante que puede ser rígida y quedar encolada al paramento, contribuyendo a la resistencia y rigidez del panel, o puede ser una espuma flexible o no encolada sin aportar capacidad portante al panel. Incorporan largueros de refuerzo y a veces una membrana respirante.

Figura 2.
Paneles abiertos (un paramento).



PROPIEDADES

Cada fabricante debe aportar la información correspondiente a las propiedades de su producto en base a un Documento de Idoneidad Técnico Europeo (DITE) o European Technical Approval (ETA), emitido por el correspondiente organismo notificado. Complementariamente, los paneles deben cumplir las especificaciones definidas en los respectivos códigos de edificación nacionales. El contenido de este Documento se establecerá de acuerdo con la Guía ETAG (European Technical Approval Guidelines) nº 19.

MARCADO CE

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. Al no existir norma armonizada de producto pero sí Guía ETAG, la implantación del Marcado CE es voluntaria por parte del fabricante pero en caso de ser efectuada ha de hacerse de acuerdo con los contenidos técnicos de la Guía ETAG (European Technical Approval Guidelines) nº 19, la cual define todos los aspectos relativos al marcado CE de estos productos. Desde 2007 el Marcado CE de estos productos es posible.

BIBLIOGRAFÍA

APA (1986). Design and fabrication of plywood sandwich panels. American Plywood Association. USA. 9 págs.

APA (1987). Design and fabrication of plywood stressed-skin panels. American Plywood Association. USA. 21 págs.

Bregulla, J. and Enjily, V. (2004). An introduction to building with structural Insulated Panels (SIPs). BRE IP 13/04, 8 páginas.

ETAG 019 (2004). Prefabricated wood-based loadbearing stressed skin panels. EOTA, 56 págs.

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

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
PROHOLZ
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

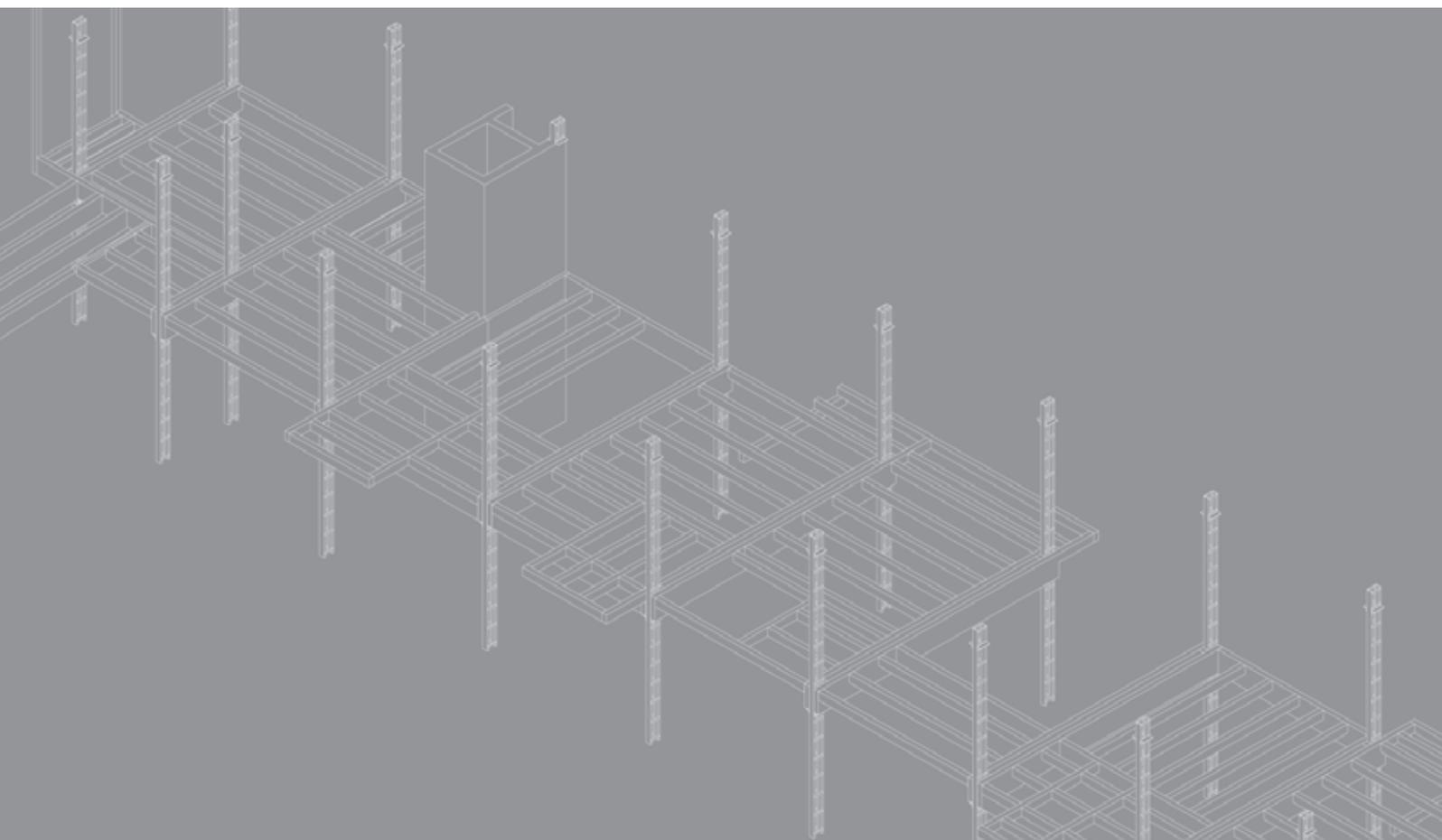
Con la financiación del



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

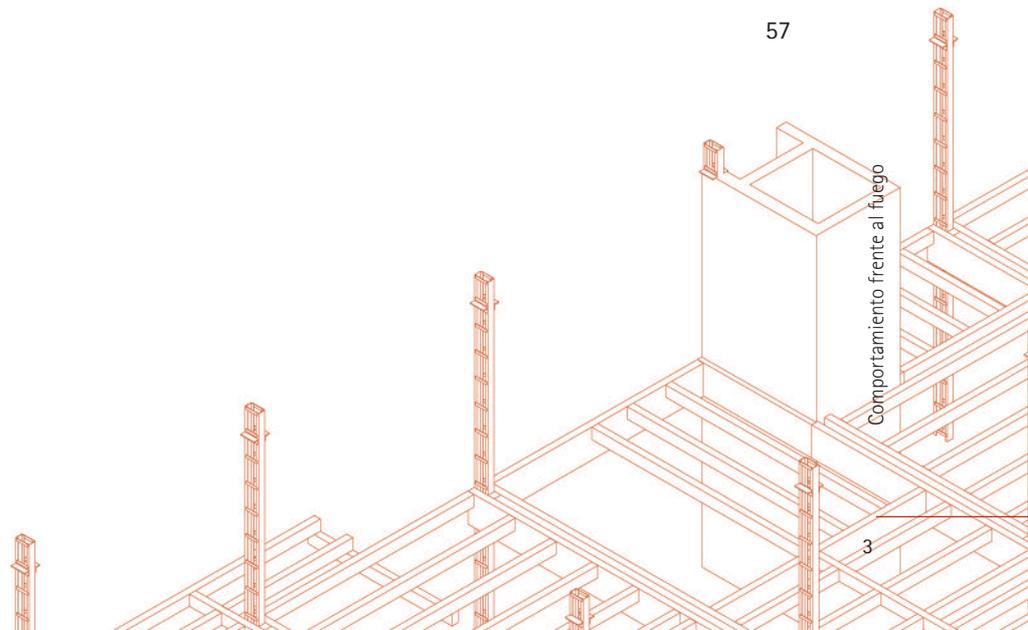
ISBN: 978 84 693 1290 2
Depósito legal: M-17441-2010

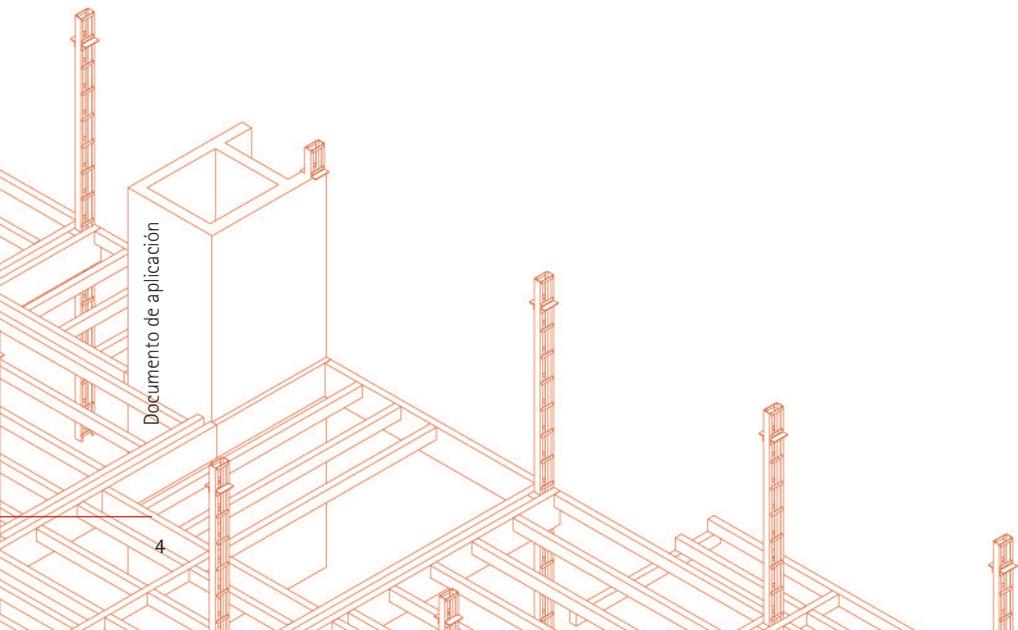
Derechos de la edición: CONFEMADERA
© de los textos: IETcc

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.

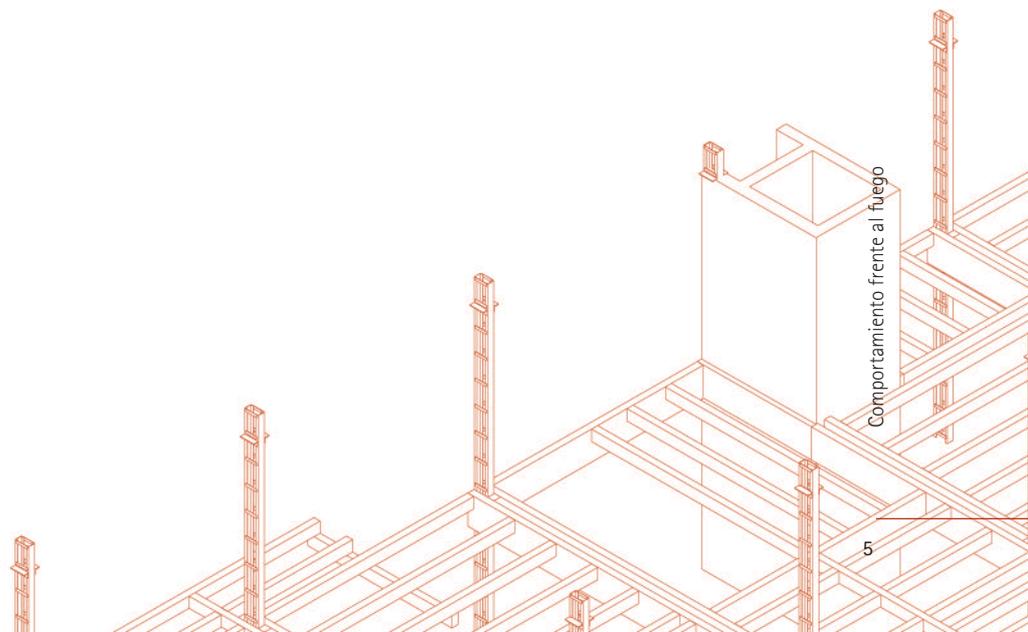
Uno de los objetivos principales de esta guía es clarificar que, a pesar de la combustibilidad de la madera, pueden plantearse soluciones constructivas con este material que permitan alcanzar condiciones suficientes de seguridad en caso de incendio.

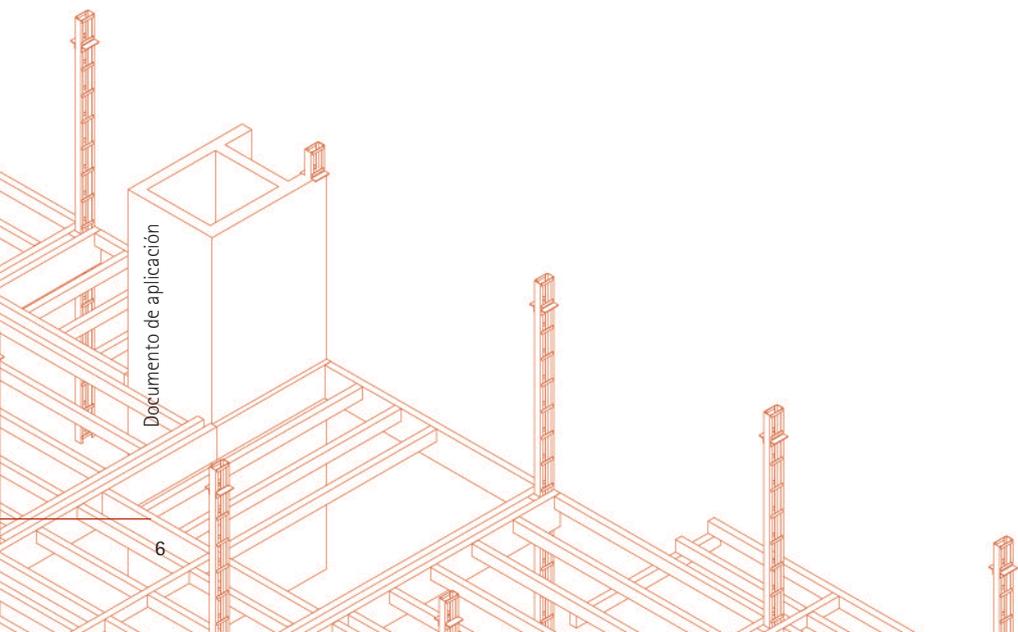
En lo que respecta a la reacción al fuego de la madera, ésta es más favorable en elementos con espesores mayores y de densidad alta. Existen, además, sistemas de ignifugación, en profundidad o superficial, mediante los cuales puede retrasarse el proceso de combustión, mejorando así el comportamiento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

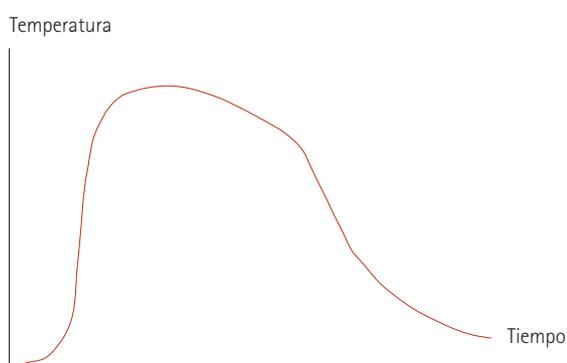


Figura 2.1. Curva tiempo-temperatura de un incendio real

• 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:

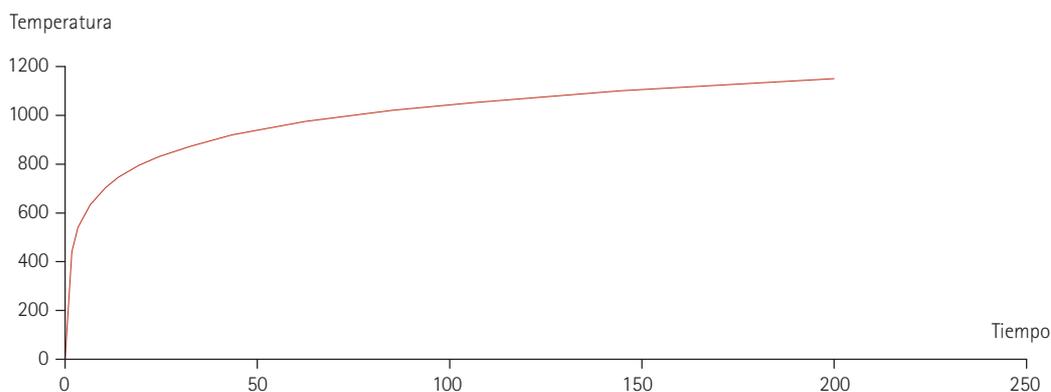
θ_g es la temperatura del aire en el sector [°C]

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:

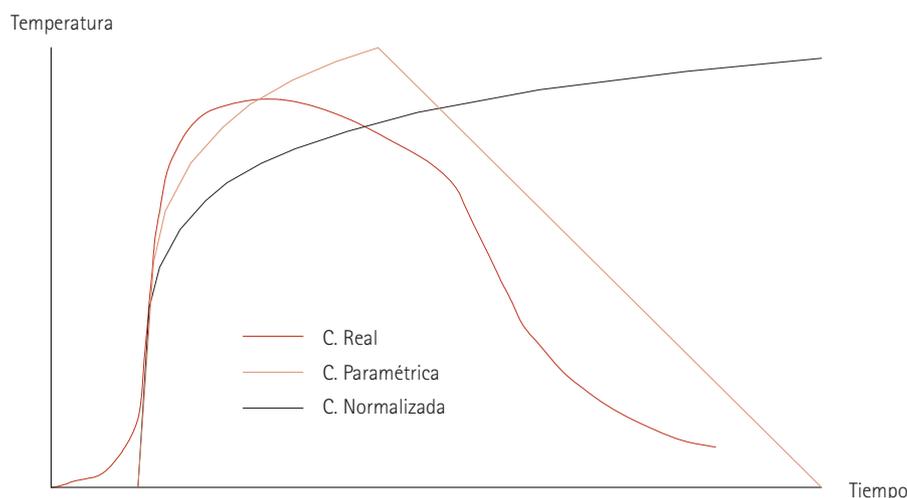
a. Modelos de zona: pueden ser de una zona (temperatura uniforme en el interior del sector) o de dos zonas (estratificación de la capa de humo originada desde un fuego localizado), y tienen en cuenta los parámetros principales que controlan la evolución del incendio.

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).

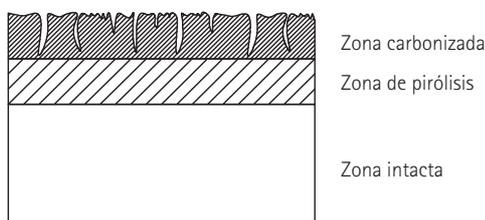


Figura 2.4. Cambios en la madera por la acción del fuego

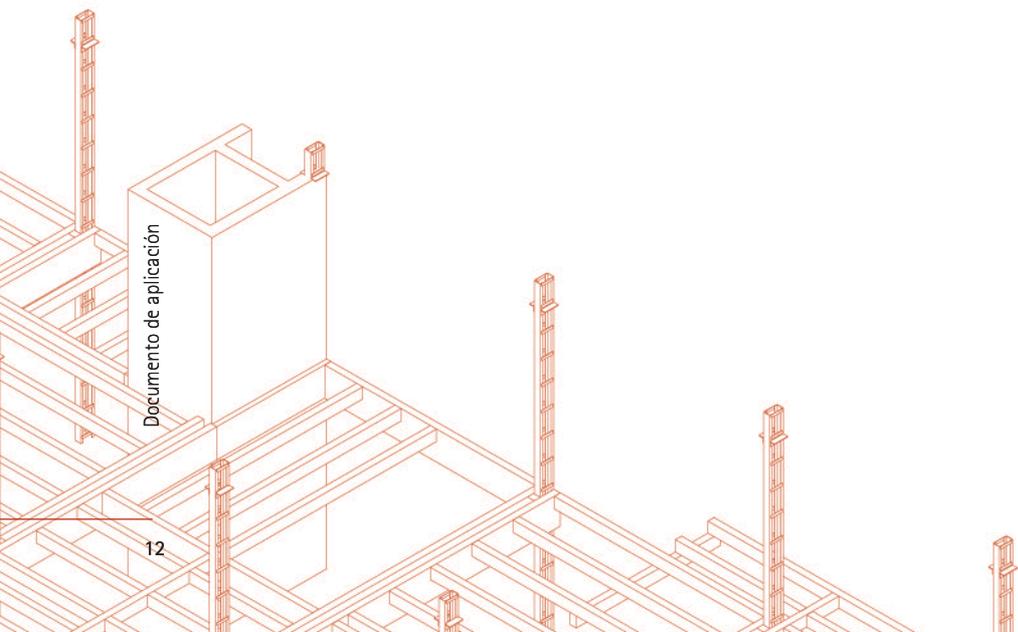
La alta capacidad aislante de la capa carbonizada, del orden de unas seis veces superior a la de la madera a temperatura ambiente, permite que el interior de la pieza se mantenga a una temperatura mucho menor y con sus propiedades físico-mecánicas constantes. Así, la pérdida de capacidad portante del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

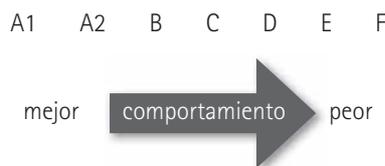


Figura 3.1. Clasificación general de reacción al fuego

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: $A_{1,FL}, A_{2,FL}, B_{FL}, C_{FL}, D_{FL}, E_{FL}, F_{FL}$

Humo: s1, s2

Clase	$A_{1,FL}$	$A_{2,FL}$	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: $A_{1,L}, A_{2,L}, B_L, C_L, D_L, E_L, F_L$

Humo: s1, s2, s3

Gotas: d0, d1, d2

Clase	$A_{1,L}$	$A_{2,L}$	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.

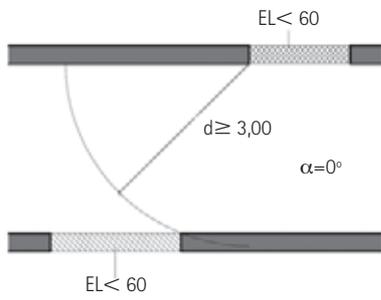


Figura 3.6. Fachadas enfrentadas

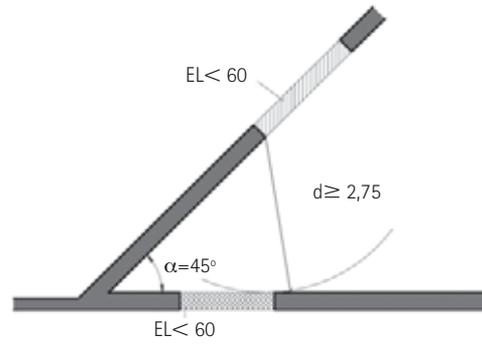


Figura 3.7. Fachadas a 45°

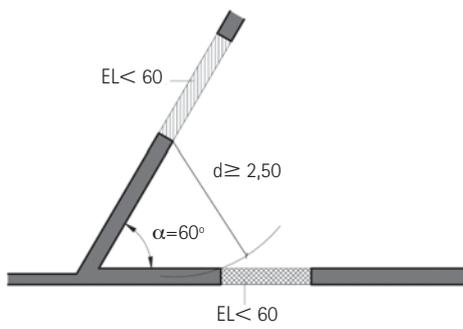


Figura 3.8. Fachadas a 60°

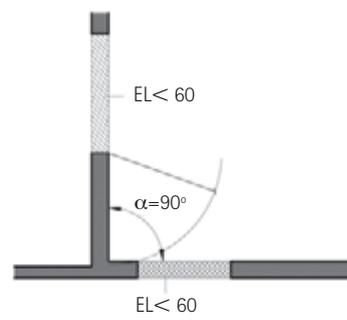


Figura 3.9. Fachadas a 90°

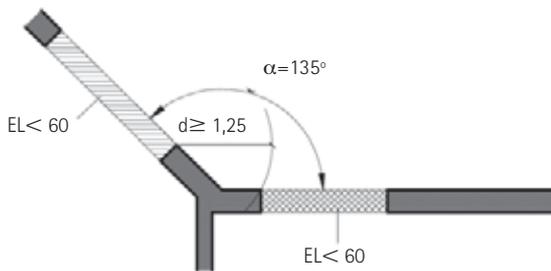


Figura 3.10. Fachadas a 135°

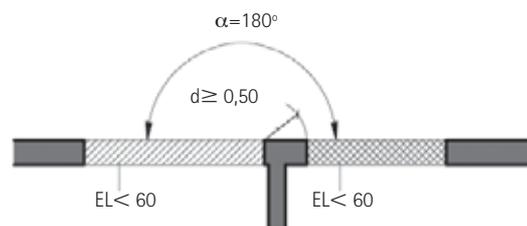


Figura 3.11. Fachadas a 180°

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.

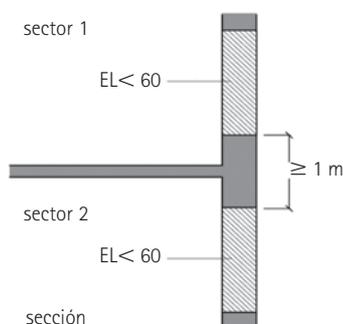


Figura 3.12. Encuentro forjado-fachada

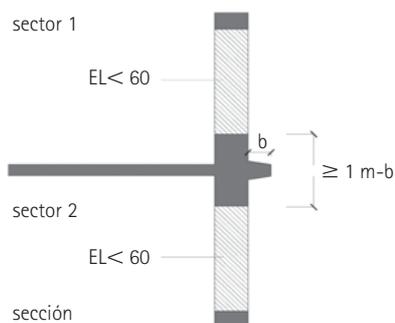


Figura 3.13. Encuentro forjado-fachada con saliente

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

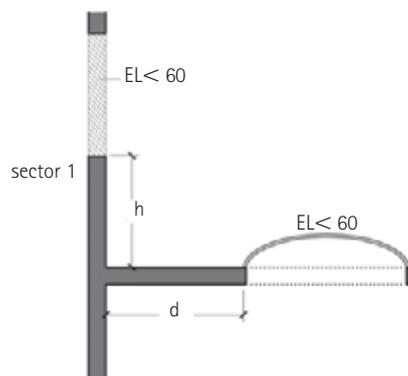


Figura 3.14. Encuentro cubierta-fachada

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.

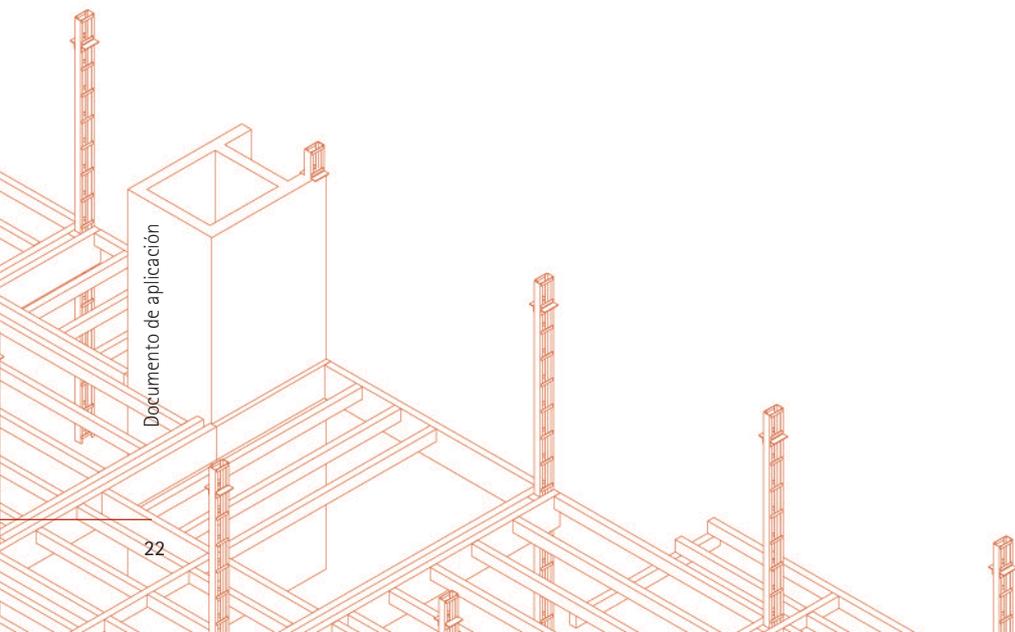
Las estructuras de cubiertas ligeras no previstas para ser utilizadas en la evacuación de los ocupantes y cuya altura respecto de la rasante exterior no exceda de 28 m, así como los elementos que únicamente sustenten dichas cubiertas, podrán ser R 30 cuando su fallo no pueda ocasionar daños graves a 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) Acondicionadas 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.

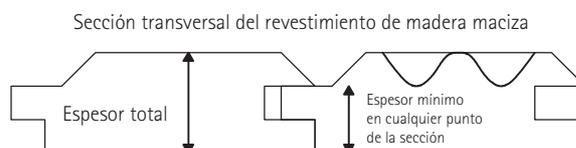


Figura 4.1

- (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 $2n(t+w)+a \leq 1,10$

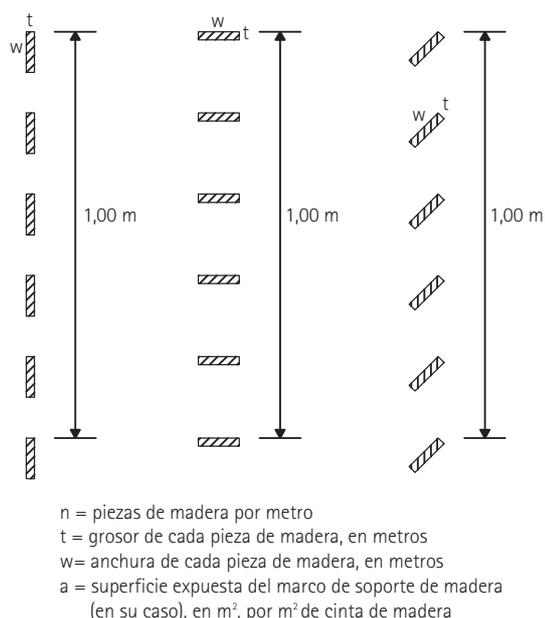


Figura 4.2

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 ignifugantes 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 ignifugante aplicado.

Por otro lado, y de manera indirecta, al ralentizarse el proceso de combustión, la aplicación de tratamientos ignifugantes 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 ignifugantes 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 ignifugantes, con carácter general, pueden agruparse en los siguientes tipos:

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

Estos ignifugantes, 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 ignifugantes:

- **liberan agua**

Ciertos productos ignifugantes 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 ignifugante 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 ignifugantes 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 ignifugantes, estos productos liberan gases no combustibles, lo que hace disminuir la inflamabilidad.

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

Algunos ignifugantes 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 ignifugante 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 ignifugante 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.

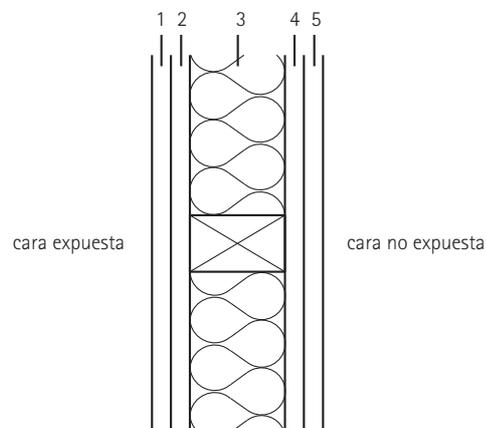
Para entramados de muros recubiertos con varias capas, los coeficientes de posición deben tomarse de

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

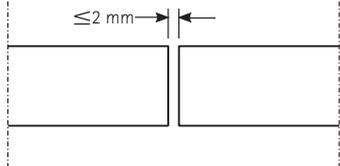
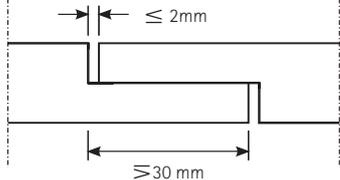
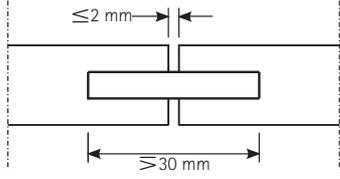
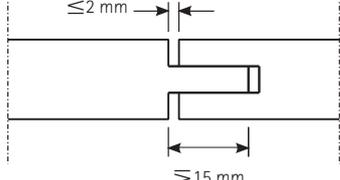
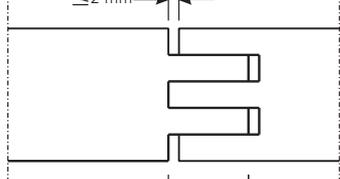
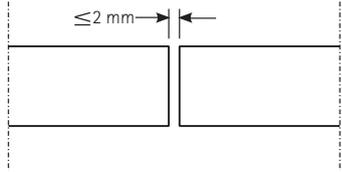
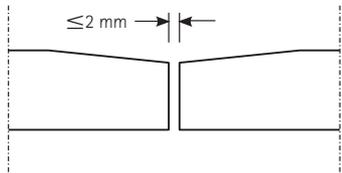
Tipo de junta	k_j
	0,2
	0,3
	0,4
	0,4
	0,6

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																									
Recubrimiento	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	37	40	43	46	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			
Tableros	9	9	9	9	9	12	12	12	12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	12	18	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	24	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		
	18	26	41	44	47	50	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		
Paneles madera	9	9	9	9	9	12	12	12	12	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	12	11	18	21	24	27	12	21	24	27	30	13	23	26	29	32	14	24	27	30	33	15	26	29	32	35	13	15	16	17	16	28	31	34	37	14	15	17	18
	15	13	22	25	28	31	14	24	27	30	33	15	26	29	32	35	17	28	31	34	37	17	28	31	34	37	19	20	21	21	18	31	34	37	40	18	20	21	22
	19	15	24	27	30	33	16	27	30	33	36	16	27	30	33	36	17	28	31	34	37	17	28	31	34	37	19	20	21	21	18	31	34	37	40	18	20	21	22
Paneles yeso	9	9	9	9	9	12,5	12,5	12,5	12,5	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
	12,5	22	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	26	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		
	19	29	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.

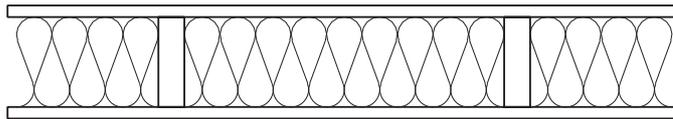


Figura 6.1. Entramados con cavidades llenas de aislamiento

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.

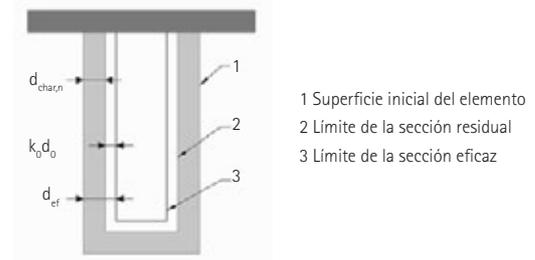


Figura 6.2. Sección eficaz de un elemento de madera en caso de incendio

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.

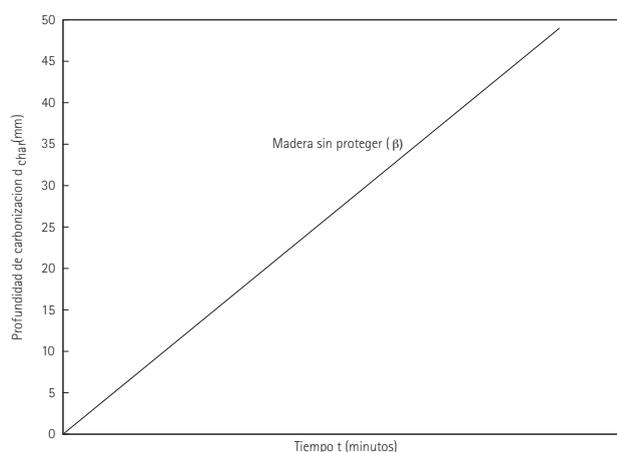


Figura 6.3. Profundidad de carbonización de la madera sin proteger

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).

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 $k_2\beta$, 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 25mm, 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.

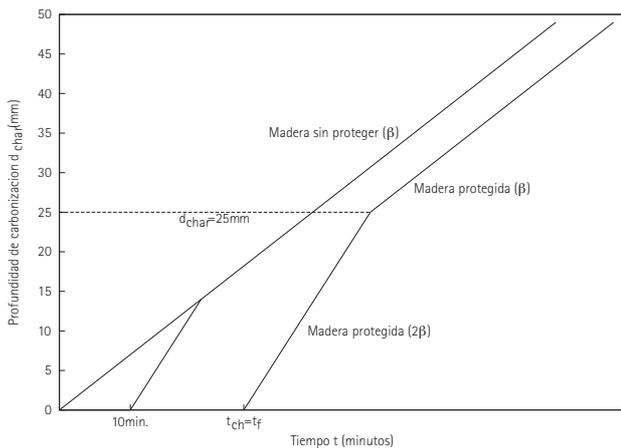


Figura 6.4. Profundidad de carbonización de la madera protegida con tableros de madera

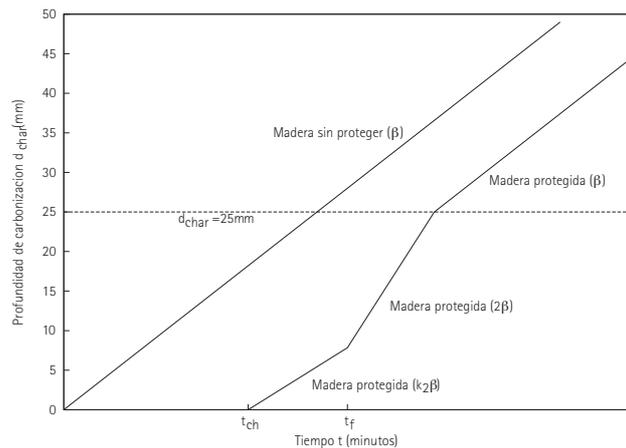


Figura 6.5. Profundidad de carbonización de la madera protegida con lana de roca

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.

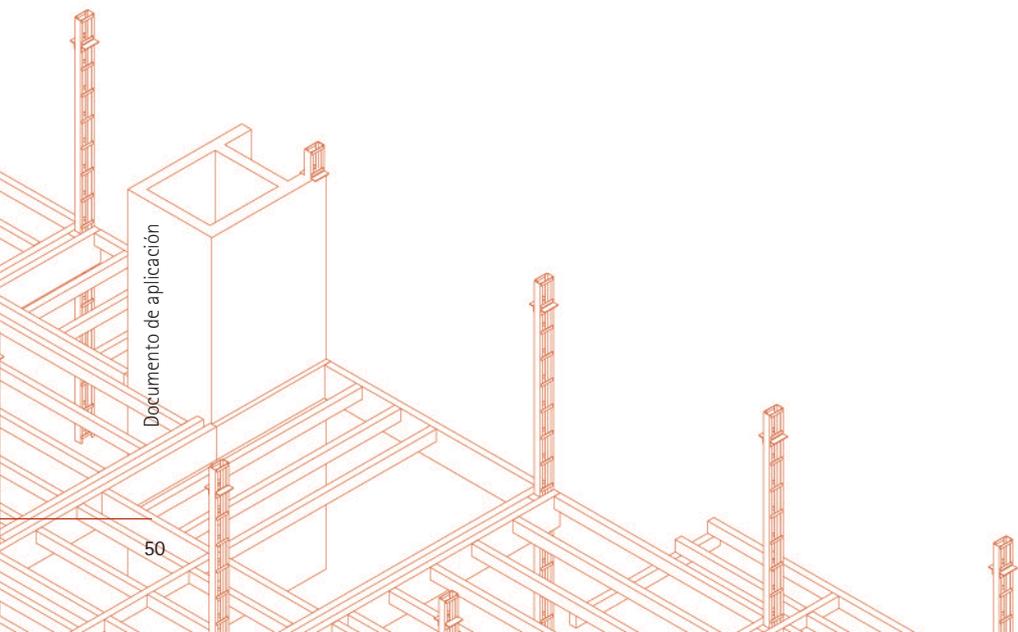
Tabla 6.7. Valores del factor de pandeo χ_c ($\chi_{c,y}$ o $\chi_{c,z}$) para la diferentes clases resistentes de madera maciza y laminada en función de la esbeltez mecánica y la clase resistente

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			
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	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	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	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		
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	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		
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		
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	
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	
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	
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	
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		
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	
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	
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
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
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	
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	42	43	43	43	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	36	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	50	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	57
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	64
35%	61	62	63	64	64	65	66	66	67	67	68	68	68	68	69	69	69	69	69	69	69	70	70	70	70	70	70	70	71
30%	68	69	70	71	71	72	73	73	73	74	74	75	75	75	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	49	49	49	49	49	49	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	57
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	64
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	71
35%	67	68	69	71	71	72	73	74	74	75	75	76	76	76	77	77	77	77	77	77	77	78	78	78	78	78	78	78	79
30%	74	76	77	78	79	80	81	81	82	82	83	83	84	84	84	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	46	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	54	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	84	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	93	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	50	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	58	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	66	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	75	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	84	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	92	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	104	105



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
 $E_m: 11,6\text{ kN/mm}^2$
 $E_{os}: 9,4\text{ kN/mm}^2$
 $k_{fi}: 1,15$

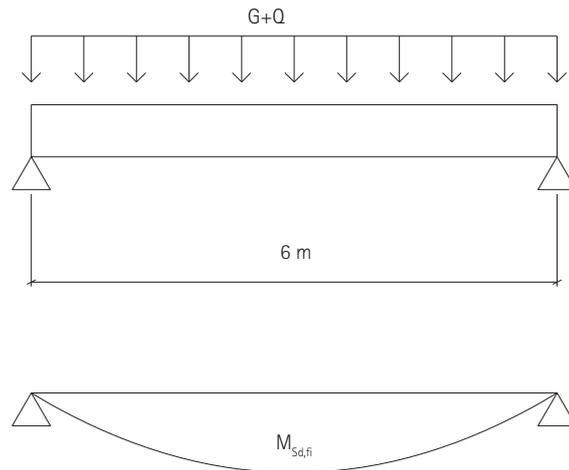


Figura 7.1. Geometría de la viga y diagrama de momentos

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, $M_{Sd}=160,75\text{ m kN}$ (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

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

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:

$$k_{mod,fi} = 1 - 24,62 / 200 = 0,886$$

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

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

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.

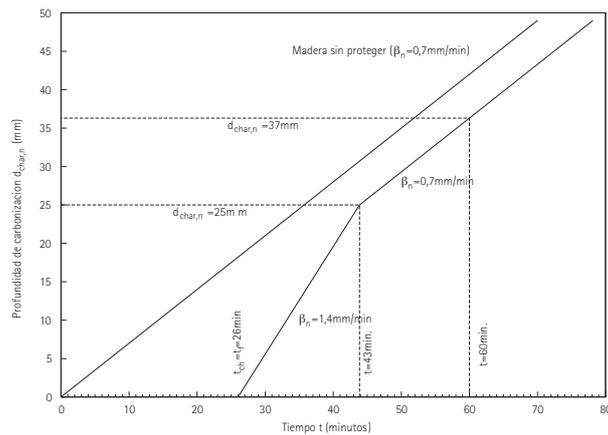


Figura 7.2. Determinación de la profundidad de carbonización en madera protegida

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: $3,2k$ 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.

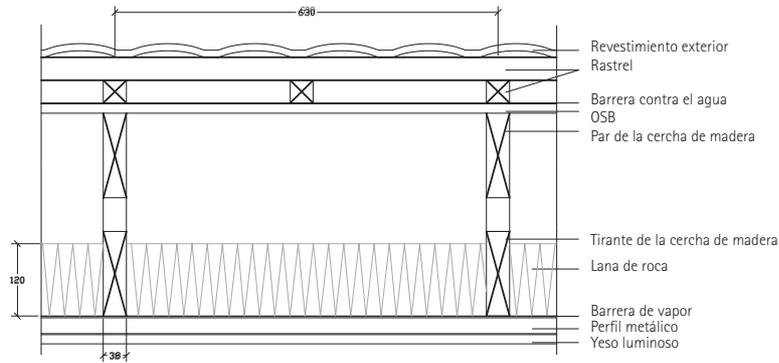
Caso 2. Viguetas de cubierta

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

$$M_{Rd,fi} = W_{fi} \cdot f_{c,0,fi} = W_{fi} \cdot f_{c,0} \cdot k_{fi} / \gamma_m =$$

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

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.

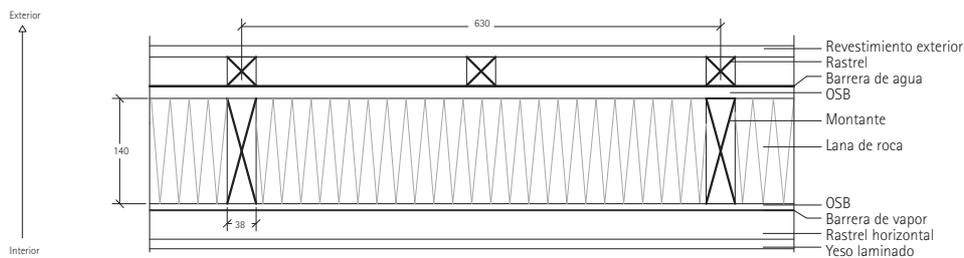


Figura 7.4. Descripción del entramado de fachada

Tras alcanzar el tiempo de carbonización, la madera se quema a velocidad $2\beta_{0r}$, 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.

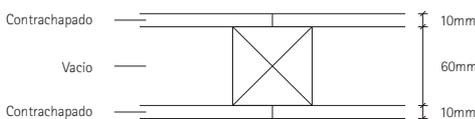


Figura 7.5. Descripción del entramado

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 $\rho = 30 \text{ kg/m}^3$.

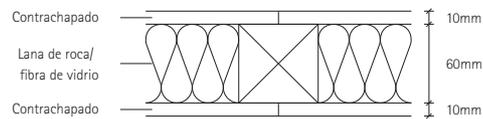


Figura 7.6. Descripción del entramado

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.

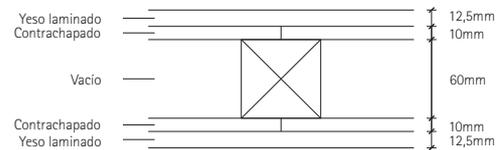
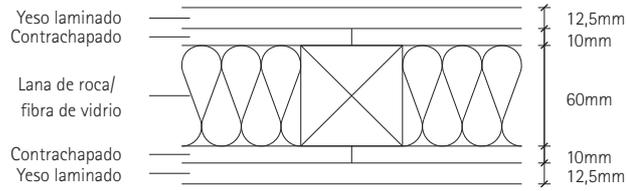


Figura 7.7. Descripción del entramado

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



Capítulo 5

Ejecución, control y mantenimiento

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:

CARLES LABÈRNIA I BADIA
Institut Tecnològic de Lleida

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:

Fotografía de portada: GRUPO HOLTZA

ISBN: 978-84-693-1291-9

Depósito legal: M-17444-2010

Derechos de la edición: CONFEMADERA

© de los textos: CARLES LABERNIA I BADIA

Con la financiación del

INDICE

Introducción	3
Consideraciones generales sobre el control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas	5
Recepción	7
Madera aserrada	7
Madera laminada encolada	11
Tableros	14
Elementos estructurales realizados en el taller	23
Elementos mecánicos de fijación	25
Ejecución	27
Control de la ejecución en obra	27
Almacenamiento	27
Control del montaje	27
Control de ejecución de uniones	28
Comprobación de puntos críticos	42
Tolerancias de obra acabada	42
Mantenimiento	43

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con las disposiciones generales del CTE, la ejecución de una obra se llevará a cabo con sujeción:

- al proyecto, que según el artículo 6 de la parte 1, debe definir las obras proyectadas con el detalle adecuado a sus características, de modo que pueda comprobarse que las soluciones propuestas cumplen las exigencias básicas del CTE y demás normativa aplicable, incluyendo, al menos, la siguiente información:
 - las características técnicas mínimas que deben reunir los productos, equipos y sistemas que se incorporen de forma permanente en el edificio proyectado, así como sus condiciones de suministro, las garantías de calidad y el control de recepción que deba realizarse;
 - las características técnicas de cada unidad de obra, con indicación de las condiciones para su ejecución y las verificaciones y controles a realizar para comprobar su conformidad con lo indicado en el proyecto. Se precisarán las medidas a adoptar durante la ejecución de las obras y en el uso y mantenimiento del edificio, para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos;
 - las verificaciones y las pruebas de servicio que, en su caso, deban realizarse para comprobar las prestaciones finales del edificio; y
 - las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio terminado, de conformidad con lo previsto en el CTE y demás normativa que sea de aplicación.
- a las modificaciones autorizadas por el director de la obra previa conformidad del promotor.
- a la legislación aplicable.
- a las normas de la buena práctica constructiva.
- a las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra.

Durante la construcción de la obra se elaborará la documentación reglamentaria exigible. En ella se incluirá, sin perjuicio de lo que establezcan las Administraciones Públicas competentes, la documentación del control de calidad realizado a lo largo de la obra.

El control de calidad de las obras realizadas incluirá el control de recepción de productos, los controles de la ejecución y de la obra terminada. Para ello:

- El director de la ejecución de la obra recopilará la documentación del control realizado, verificando que es conforme con lo establecido en el proyecto, sus anejos y modificaciones.
- El constructor recabará de los suministradores de productos y facilitará al director de la obra y al director de la ejecución de la obra la documentación de los productos anteriormente señalados, así como las instrucciones de uso y mantenimiento, y las garantías correspondientes cuando proceda.
- Una vez finalizada la obra, la documentación del seguimiento del control será depositada por el director de la ejecución de la obra en el Colegio Profesional correspondiente o, en su caso, en la Administración Pública competente, que asegure su tutela y se comprometa a emitir certificaciones de su contenido a quienes acrediten su interés legítimo.

Durante la construcción de las obras el director de obra y el director de la ejecución de la obra realizarán, según sus respectivas competencias, los controles siguientes:

- Control de recepción en obra de los productos, equipos y sistemas que se suministren a la obra.
- Control de ejecución de la obra.
- Control de la obra terminada.



CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL CONTROL DE RECEPCIÓN EN OBRA DE PRODUCTOS, EQUIPOS Y SISTEMAS

El control de recepción tiene por objeto comprobar que las características técnicas de los productos, equipos y sistemas suministrados satisfacen lo exigido en el proyecto. Este control comprenderá:

- El control de la documentación de los suministros.
- El control mediante distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad.
- El control mediante ensayos.

Control de la documentación de los suministros

Los suministradores entregarán al constructor, quien facilitará al director de ejecución de la obra, los documentos de identificación del producto exigido por la normativa de obligado cumplimiento y, en su caso, por el proyecto o por la dirección facultativa. Esta documentación comprenderá, al menos, los siguientes documentos:

- Los documentos de origen, hoja de suministro y etiquetado.
- El certificado del fabricante, firmado por persona física.
- Los documentos de conformidad o autorizaciones administrativas exigidas reglamentariamente, incluida la documentación correspondiente al mercado CE de los productos, cuando sea pertinente, de acuerdo con las disposiciones que sean transposiciones de las Directivas Europeas que afecten a los productos suministrados.

Control de recepción mediante distintivos de calidad y evaluaciones de idoneidad técnica

El suministrador proporcionará la documentación precisa sobre:

- Los distintivos de calidad que ostenten los productos o sistemas suministrados, que aseguren las características técnicas de los mismos exigidas en el proyecto y documentará, en su caso, el reconocimiento oficial del distintivo de acuerdo con lo establecido en el artículo 5.2.2 de las Disposiciones Generales del CTE.
- Las evaluaciones técnicas de idoneidad para el uso previsto de productos y sistemas innovadores, de acuerdo con lo establecido en el artículo 5.2.5 de las Disposiciones Generales del CTE., y la constancia del mantenimiento de sus características técnicas.

El director de la ejecución de la obra verificará que esta documentación es suficiente para la aceptación de los productos y sistemas amparados por ella.

Control de recepción mediante ensayos

Para verificar el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE puede ser necesario, en determinados casos, realizar ensayos y pruebas sobre algunos productos, según lo establecido en la reglamentación vigente, o bien según lo especificado en el proyecto u ordenados por la dirección facultativa.

La realización de este control se efectuará de acuerdo con los criterios establecidos en el proyecto o indicados por la dirección facultativa sobre el muestreo del producto, los ensayos a realizar, los criterios de aceptación y rechazo y las acciones a adoptar.

Con el ánimo de facilitar a los agentes implicados en el proceso el cumplimiento de sus respectivas obligaciones, se redacta este capítulo dedicado al control, la ejecución y el mantenimiento de los diferentes materiales y soluciones constructivas en estructuras de madera.

RECEPCIÓN

La recepción de los diferentes materiales y elementos que integran una estructura de madera, es el primer eslabón de la cadena de controles y comprobaciones que determinan una correcta ejecución de la estructura con garantías de funcionalidad y durabilidad en el tiempo.

La recepción implica cuatro niveles de control claramente diferenciados:

- El control documental del suministro
- El control del material suministrado
- El control dimensional y de propiedades
- El control del certificado del tratamiento de protección

En los puntos que siguen se han agrupado los diferentes niveles de control exigibles para los diferentes tipos de materiales que se pueden emplear en una estructura de madera.

MADERA ASERRADA

Los diferentes tipos de control a efectuar en madera aserrada, se indican a continuación en forma de diagramas de flujo:

Diagrama 1. Control de la documentación del suministro

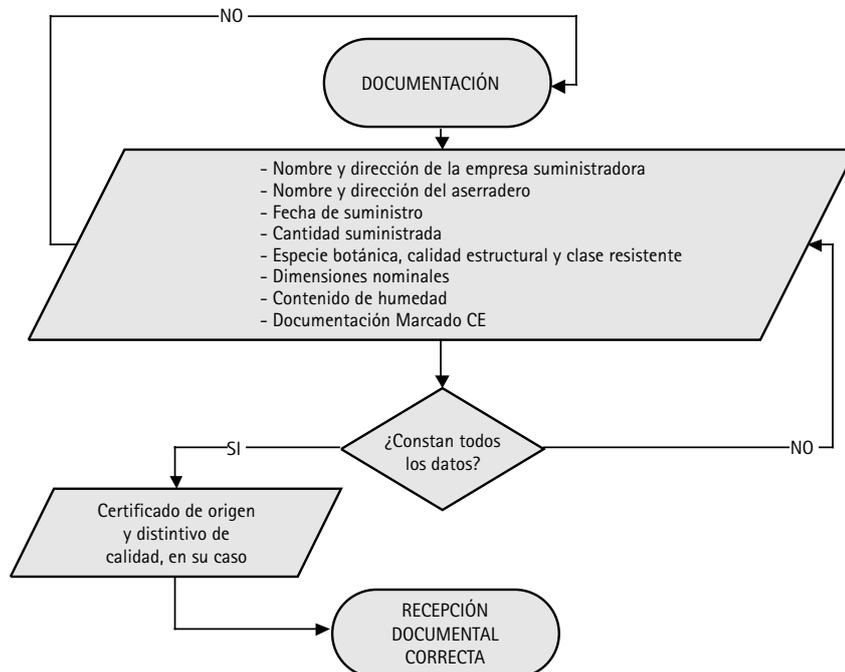


Diagrama 2. Control del material suministrado

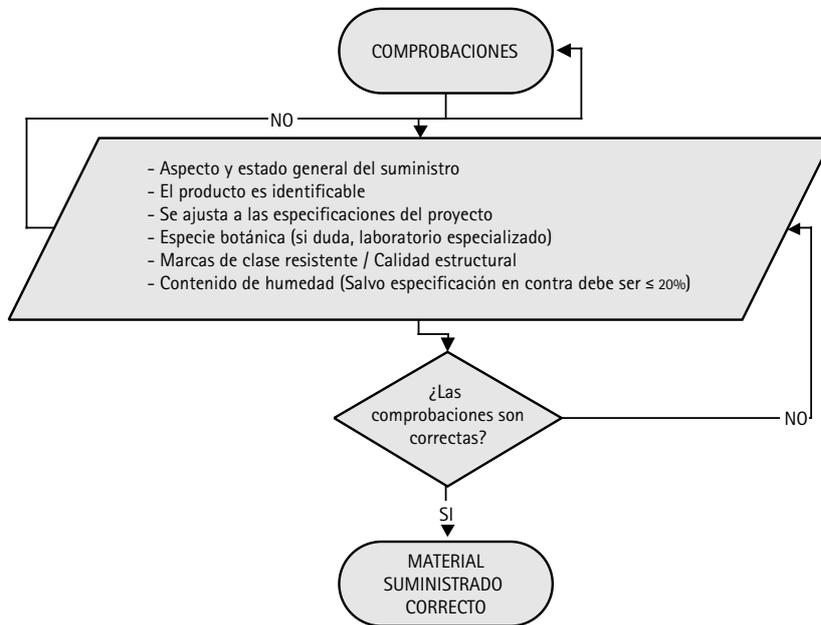
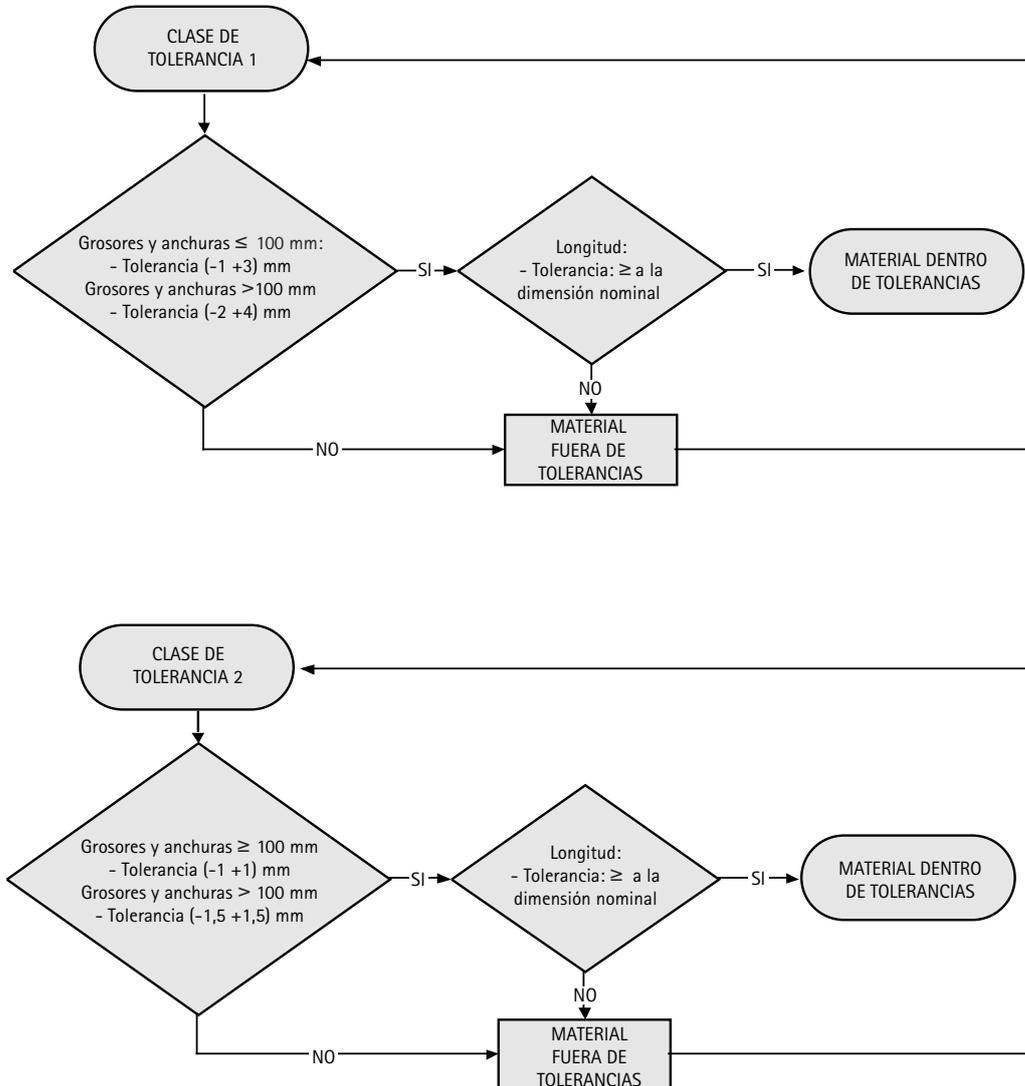


Diagrama 3. Control dimensional y de propiedades (UNE EN 336)

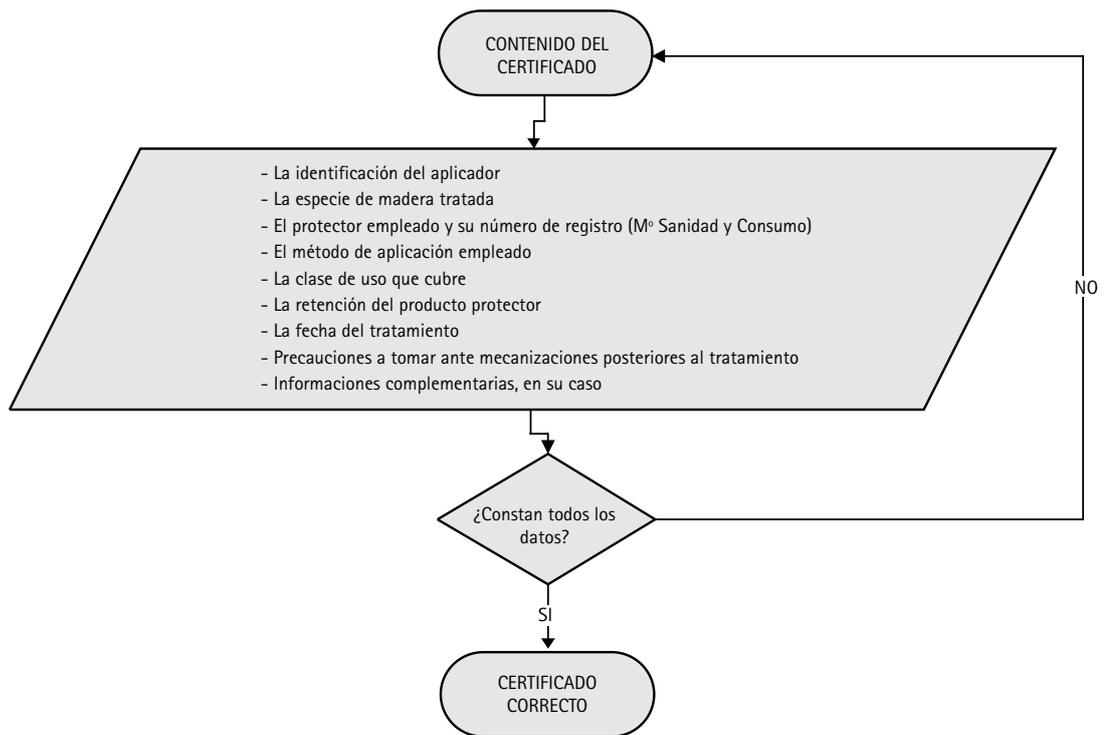


Las tolerancias anteriores son aplicables a las piezas que tengan cantos paralelos y con grosores o anchos de aserrado en el rango de 22 mm a 300 mm. Salvo situaciones especiales y en ausencia de especificaciones particularizadas, se aplicará la clase de tolerancia 1.

Las dimensiones se medirán según la Norma UNE EN 1309-1.

El contenido de humedad de referencia es el 20 %. A menos que se demuestre lo contrario, en coníferas, deberá asumirse que el grosor y la anchura de una pieza de madera se incrementan en un 0,25 % por cada 1,0 % de aumento de contenido de humedad en el intervalo del 20 % al 30 % y disminuyen en un 0,25 % por cada 1,0 % de disminución de humedad por debajo del 20 %. Estos valores son típicos, sin tener en cuenta las especies.

Diagrama 4. Control del certificado del tratamiento de protección de la madera



MADERA LAMINADA ENCOLADA

Los diferentes tipos de control a efectuar en elementos estructurales de madera laminada encolada, se indican a renglón seguido:

Diagrama 5. Control de la documentación del suministro

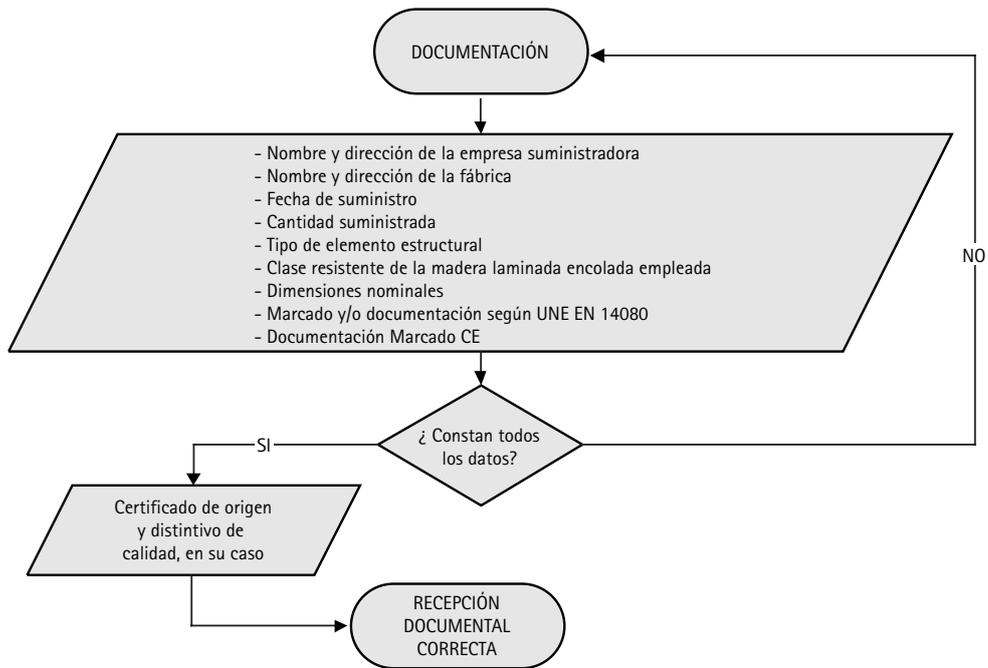


Diagrama 6. Control del material suministrado

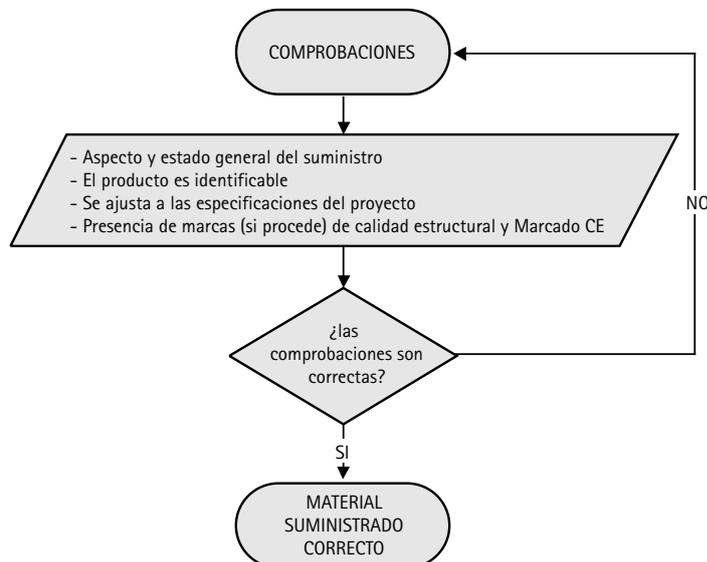
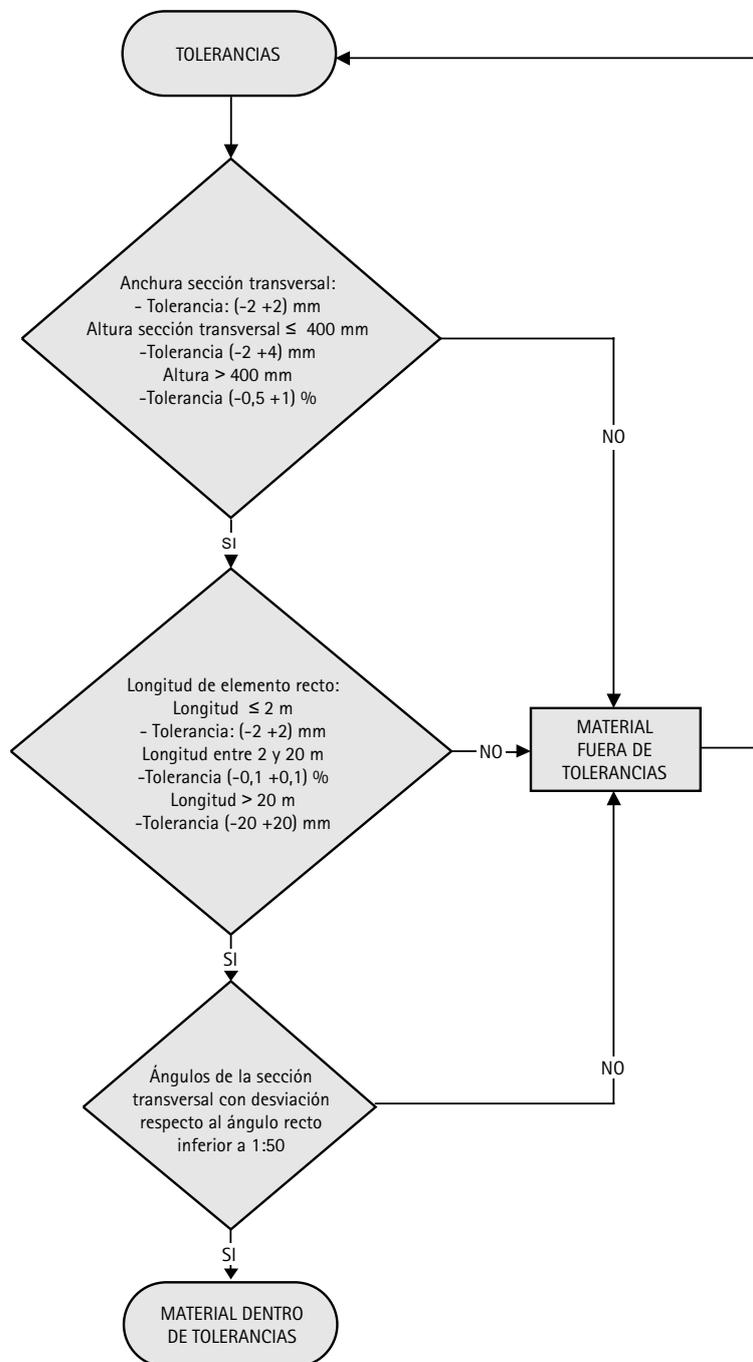


Diagrama 7. Control dimensional y de propiedades (UNE EN 390)

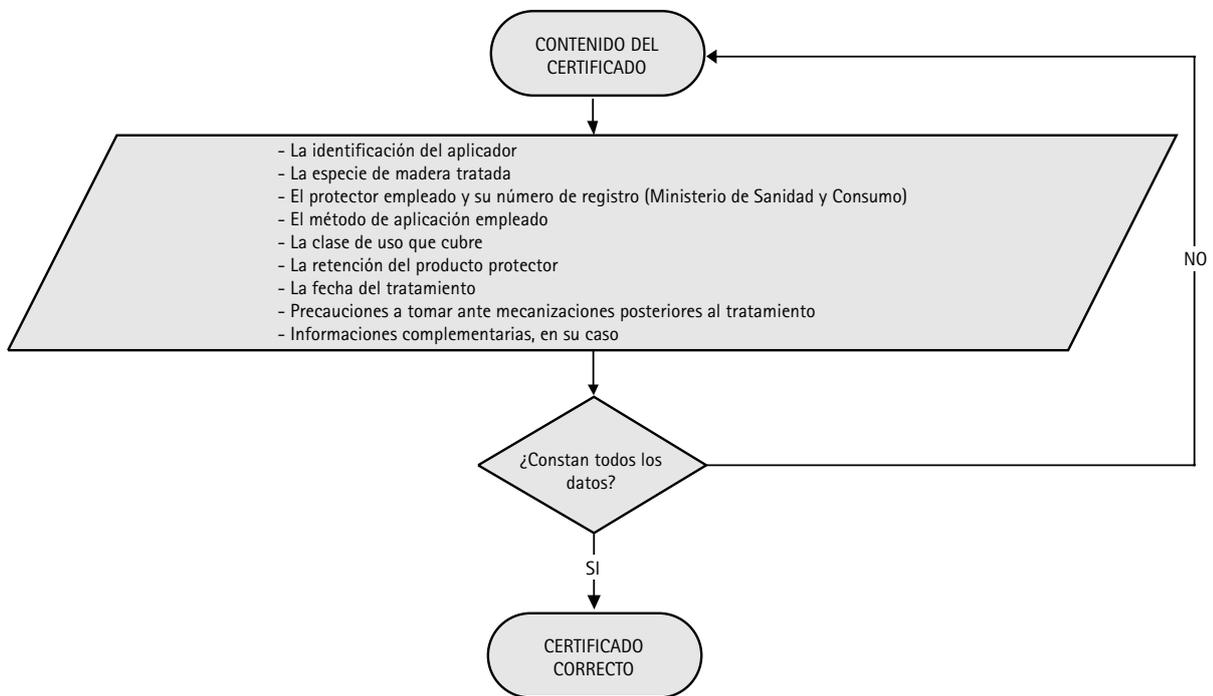


Las tolerancias anteriores son aplicables a piezas de madera laminada encolada de sección rectangular, de dimensiones comprendidas entre los 50 mm y 300 mm de anchura y los 100 mm a 2500 mm de altura.

El contenido de humedad de referencia es el 12 %.

Si el contenido de humedad de la madera es diferente del de referencia, la dimensión corregida se calcula de acuerdo con las indicaciones de la norma UNE EN 390.

Diagrama 8. Control del certificado del tratamiento de protección de la madera



TABLEROS

Los controles a efectuar en los diferentes tipos de tableros estructurales, se indican seguidamente:

Diagrama 9. Control documental del suministro

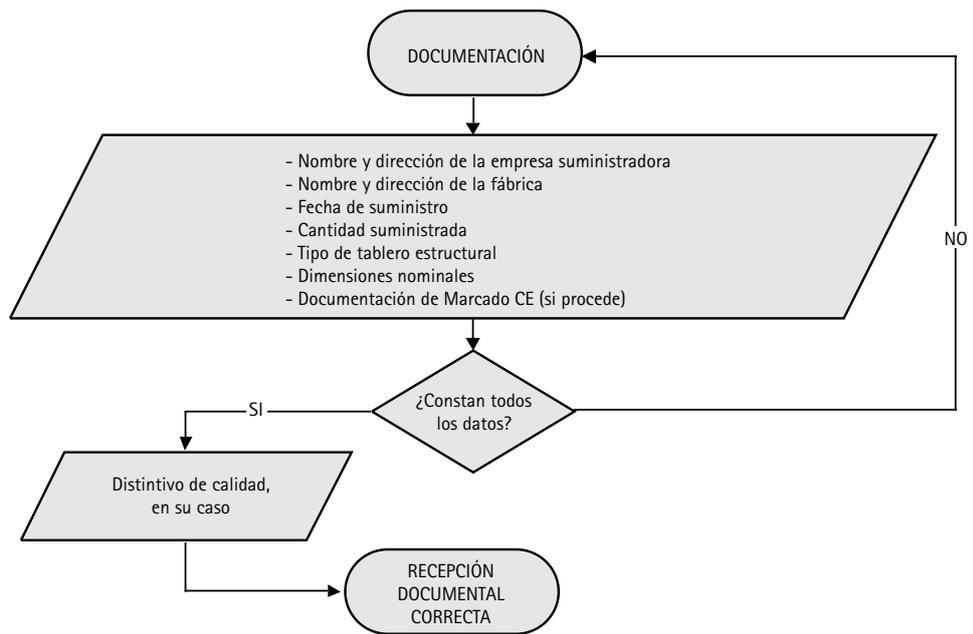


Diagrama 10. Control del material suministrado

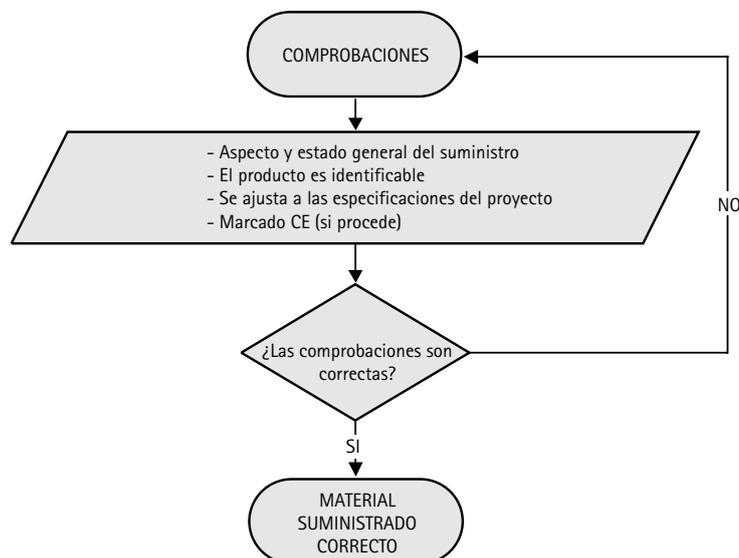
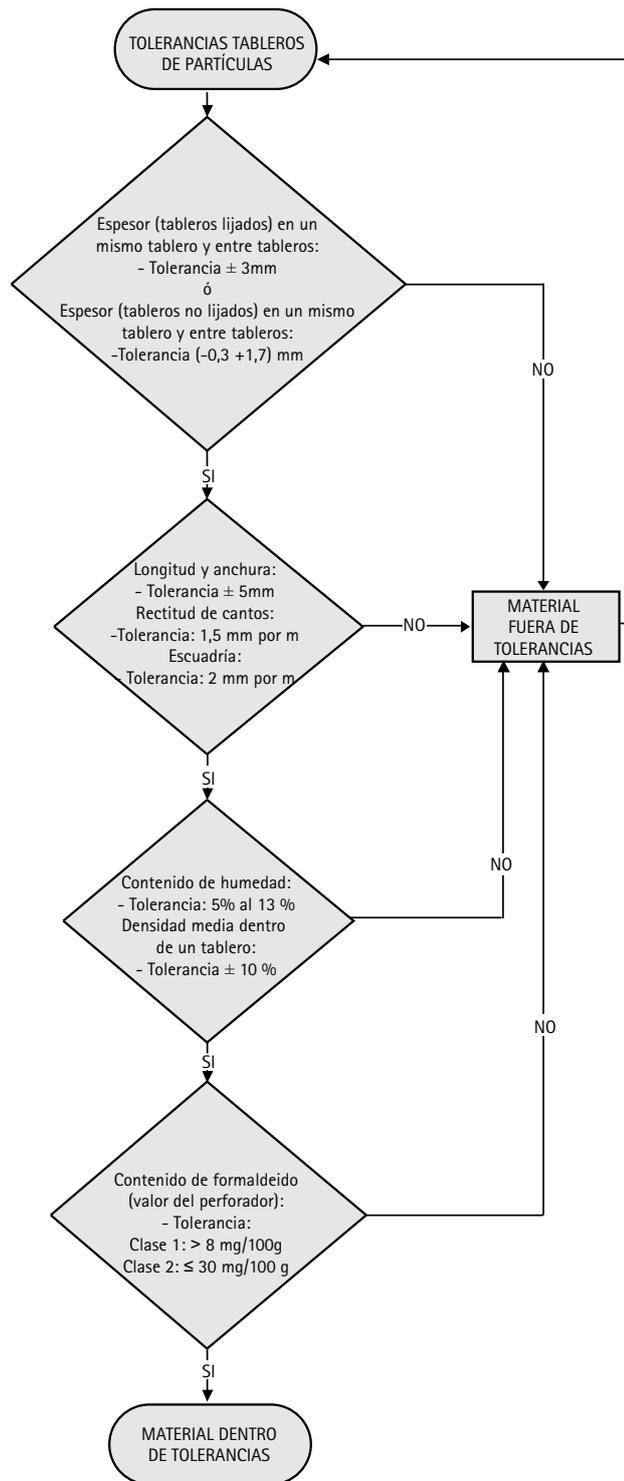


Diagrama 11. Tableros de partículas.
Control dimensional, humedad y contenido de formaldehído (UNE EN 312-1)



Las dimensiones de espesor, longitud y anchura se determinan de acuerdo con la norma UNE EN 324-1.

La rectitud de cantos y escuadría se determinan de acuerdo a la norma UNE EN 324-2

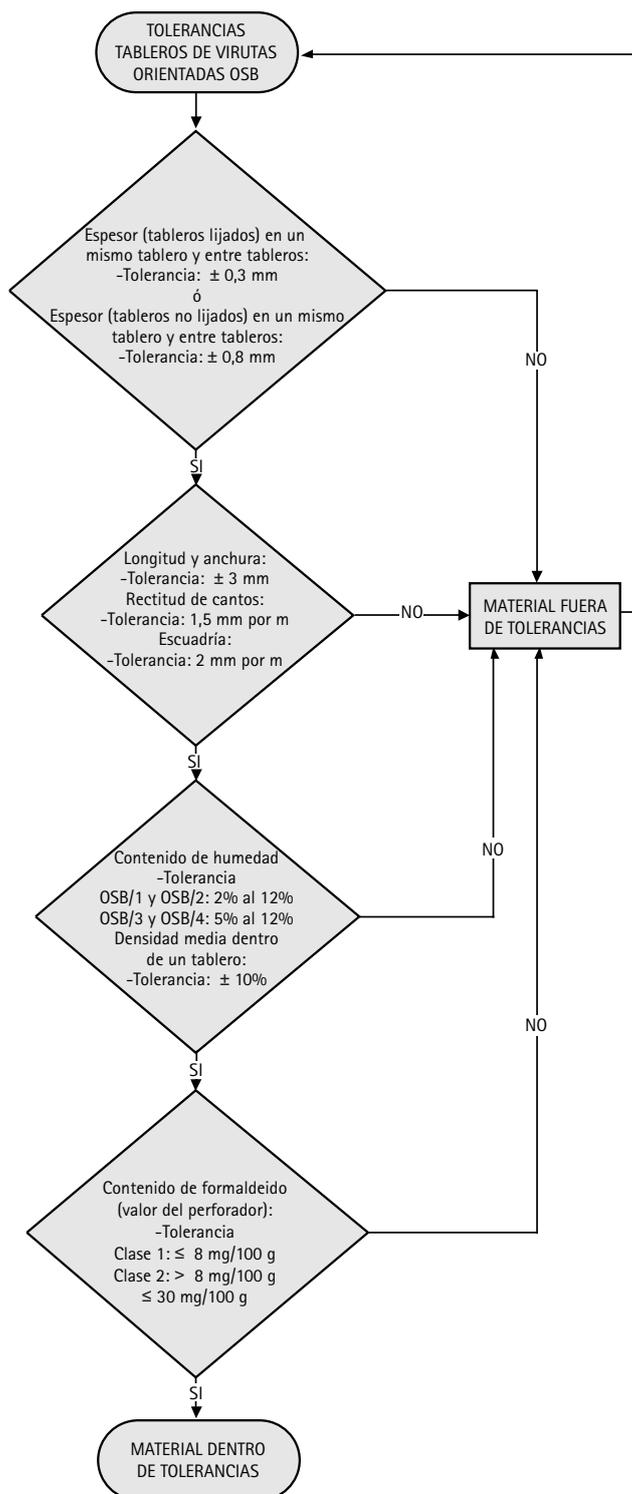
La densidad se determina con la metodología indicada en la norma UNE EN 323

Estos valores están referidos a una humedad en el material que se corresponde con una humedad relativa del 65 % y una temperatura de 20°C

El contenido de humedad se establece según el método de la norma UNE EN 322

Los valores del perforador, determinados de acuerdo con la norma UNE EN 120, se refieren a un contenido de humedad del material del 6,5 %. En el caso de que el tablero se encuentre a una humedad diferente, el valor deberá corregirse de acuerdo con las indicaciones que constan en la norma UNE EN 312-1

Diagrama 12. Tableros de virutas orientadas OSB.
Control dimensional, humedad y contenido de formaldehído (UNE EN 300)



Las dimensiones de espesor, longitud y anchura se determinan de acuerdo con la norma UNE EN 324-1.

La rectitud de cantos y esquadría se determinan de acuerdo a la norma UNE EN 324-2

Determinadas aplicaciones de los tableros OSB pueden requerir otras tolerancias. En este caso consultar las normas de ejecución correspondientes

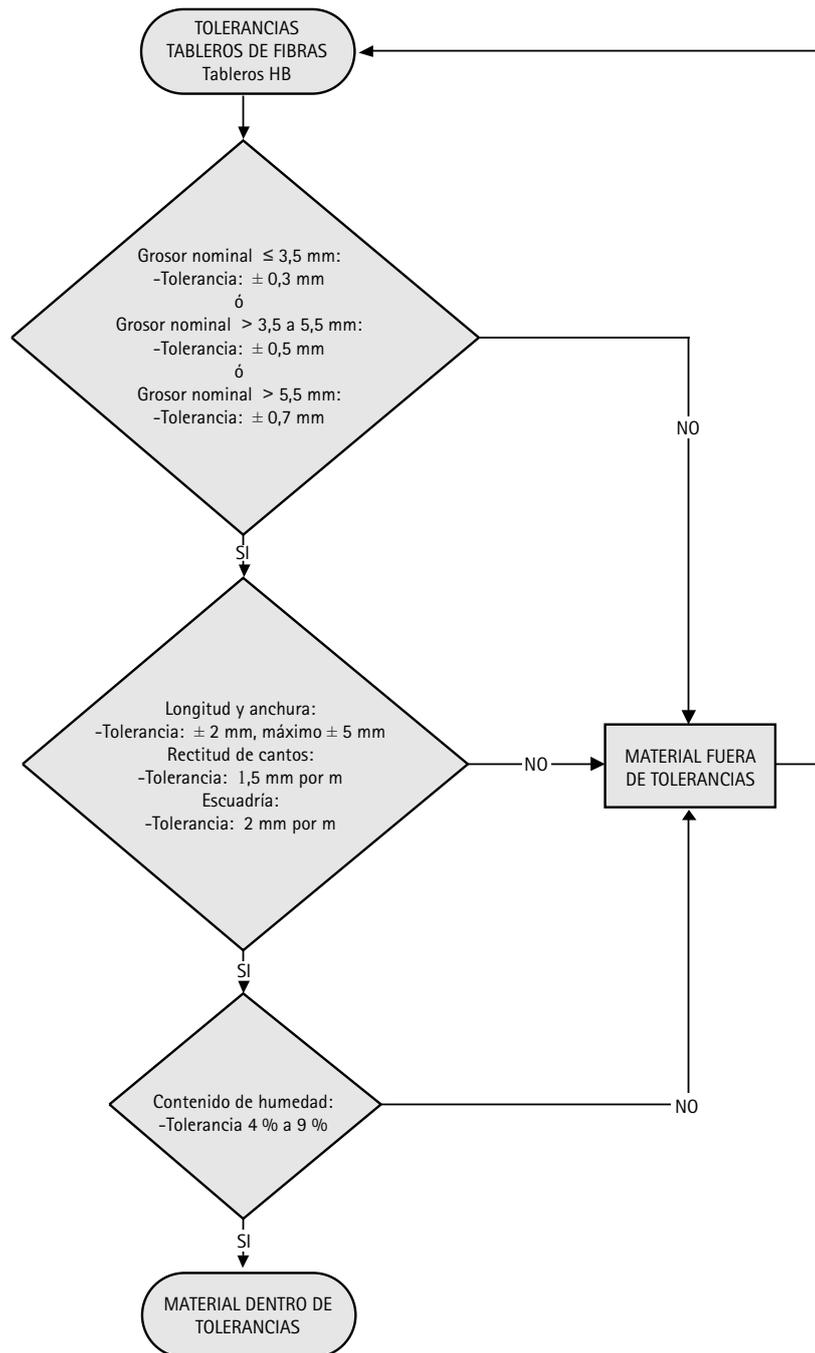
La densidad se determina con la metodología indicada en la norma UNE EN 323

Estos valores están referidos a una humedad en el material que se corresponde con una humedad relativa del 65 % y una temperatura de 20°C

El contenido de humedad se establece según el método de la norma UNE EN 322

Los valores del perforador se determinan de acuerdo con la norma UNE EN 120

Diagrama 13. Tableros de fibras. Tableros duros HB
Control dimensional y humedad (UNE EN 622-1)



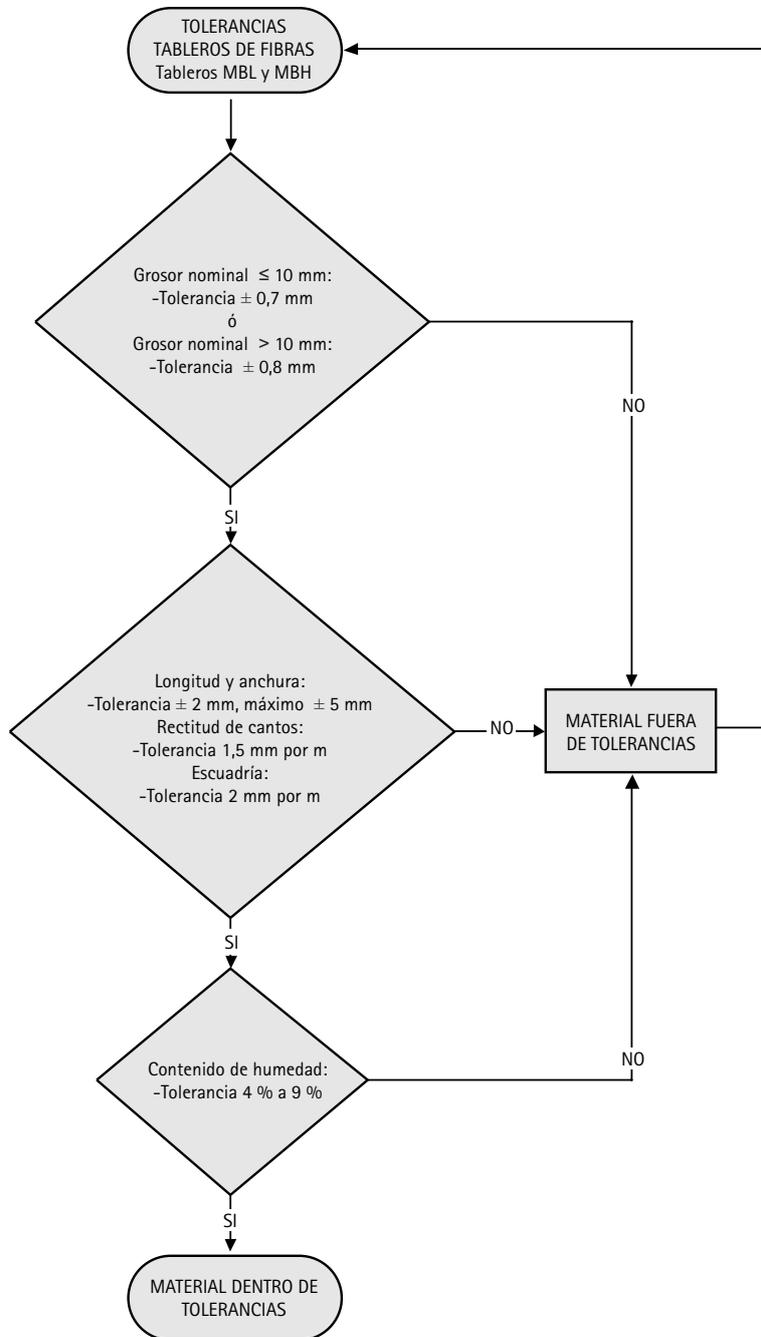
Las dimensiones de espesor, longitud y anchura se determinan de acuerdo con la norma UNE EN 324-1.

La rectitud de cantos y escuadría se determinan de acuerdo a la norma UNE EN 324-2

La densidad se determina con la metodología indicada en la norma UNE EN 323

El contenido de humedad se establece según el método de la norma UNE EN 322

Diagrama 14. Tableros de fibras. Tableros semiduros MBL y MBH
Control dimensional y humedad (UNE EN 622-1)



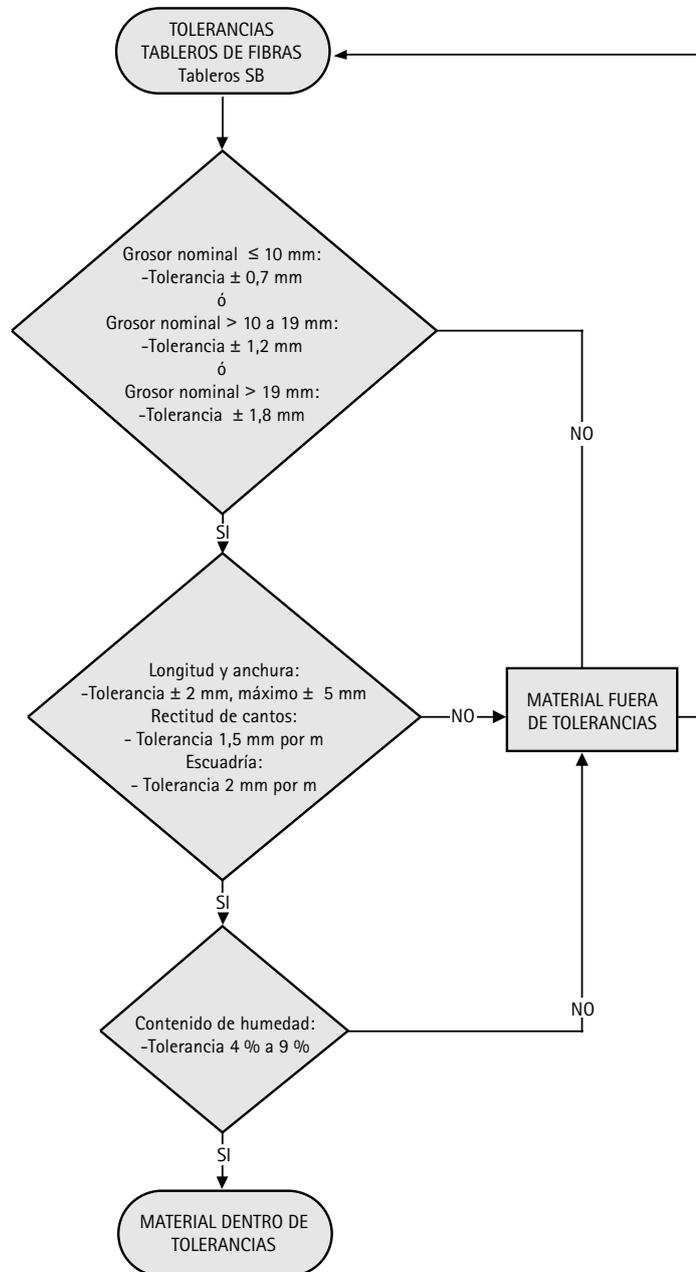
Las dimensiones de espesor, longitud y anchura se determinan de acuerdo con la norma UNE EN 324-1.

La rectitud de cantos y escuadría se determinan de acuerdo a la norma UNE EN 324-2

La densidad se determina con la metodología indicada en la norma UNE EN 323

El contenido de humedad se establece según el método de la norma UNE EN 322

Diagrama 15. Tableros de fibras. Tableros aislantes SB
Control dimensional y humedad (UNE EN 622-1)



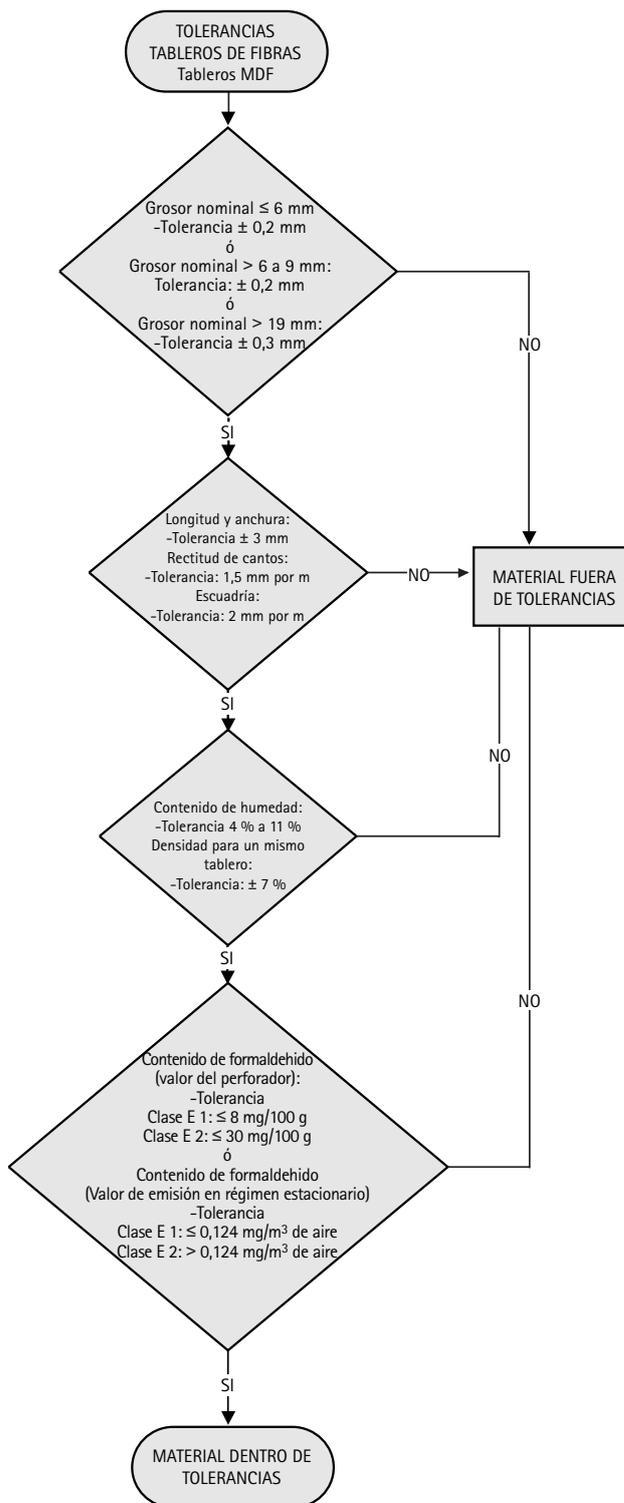
Las dimensiones de espesor, longitud y anchura se determinan de acuerdo con la norma UNE EN 324-1.

La rectitud de cantos y esquadria se determinan de acuerdo a la norma UNE EN 324-2

La densidad se determina con la metodología indicada en la norma UNE EN 323

El contenido de humedad se establece según el método de la norma UNE EN 322

Diagrama 16. Tableros de fibras. Tableros elaborados por proceso seco MDF. Control dimensional, humedad y contenido de formaldehído (UNE EN 622-1)



Las dimensiones de espesor, longitud y anchura se determinan de acuerdo con la norma UNE EN 324-1.

La rectitud de cantos y esquadria se determinan de acuerdo a la norma UNE EN 324-2

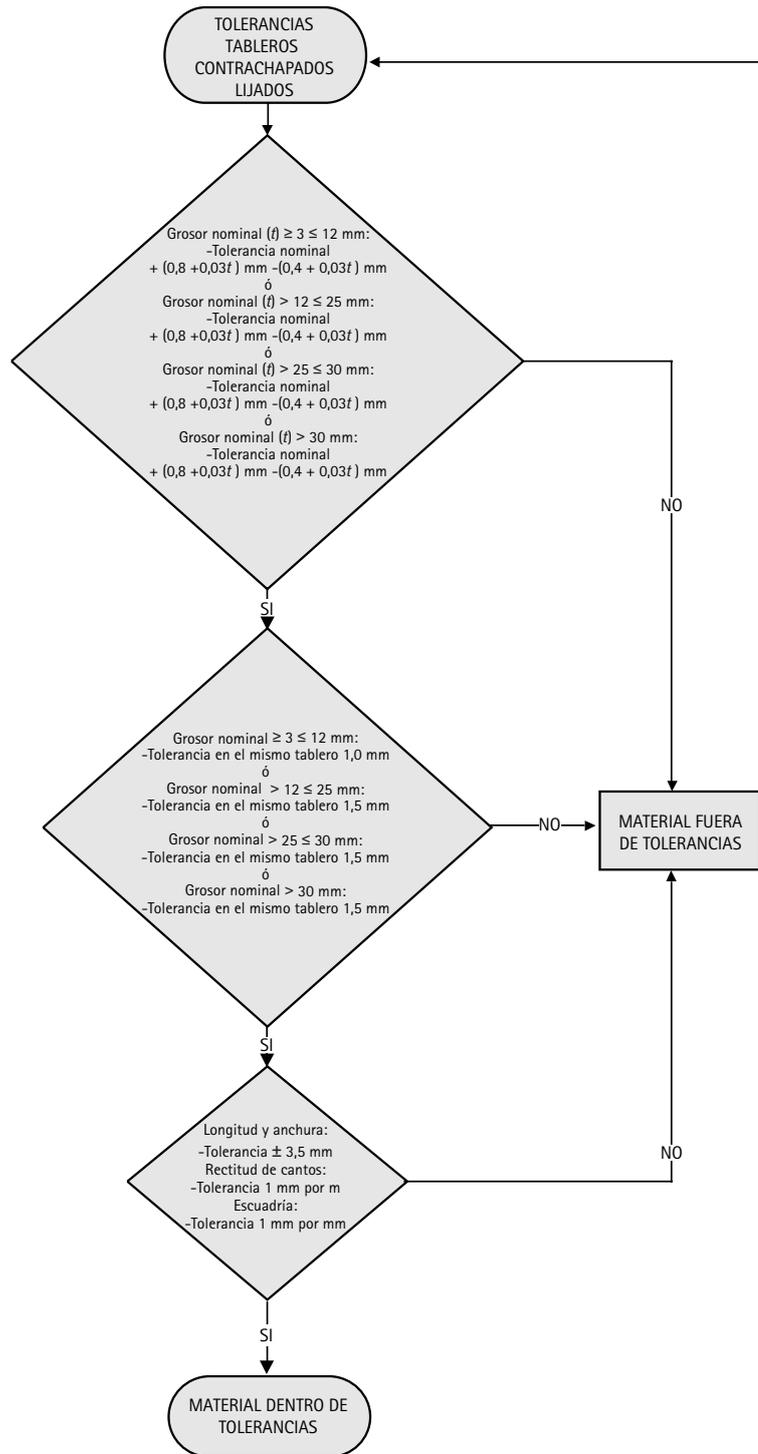
La densidad se determina con la metodología indicada en la norma UNE EN 323

El contenido de humedad se establece según el método de la norma UNE EN 322

Los valores del perforador se determinan de acuerdo con la norma UNE EN 120 y están referidas a un contenido de humedad del material del 6,5 %. En el caso de tableros obtenidos por proceso seco con contenidos de humedad diferentes, los valores referidos deben multiplicarse por los factores especificados en la norma UNE EN 622-1

El contenido de formaldehído en valor de emisión en régimen estacionario se obtiene de acuerdo con la metodología de la norma ENV 717-1

Diagrama 17. Tableros contrachapados. Control dimensional y humedad (UNE EN 315)



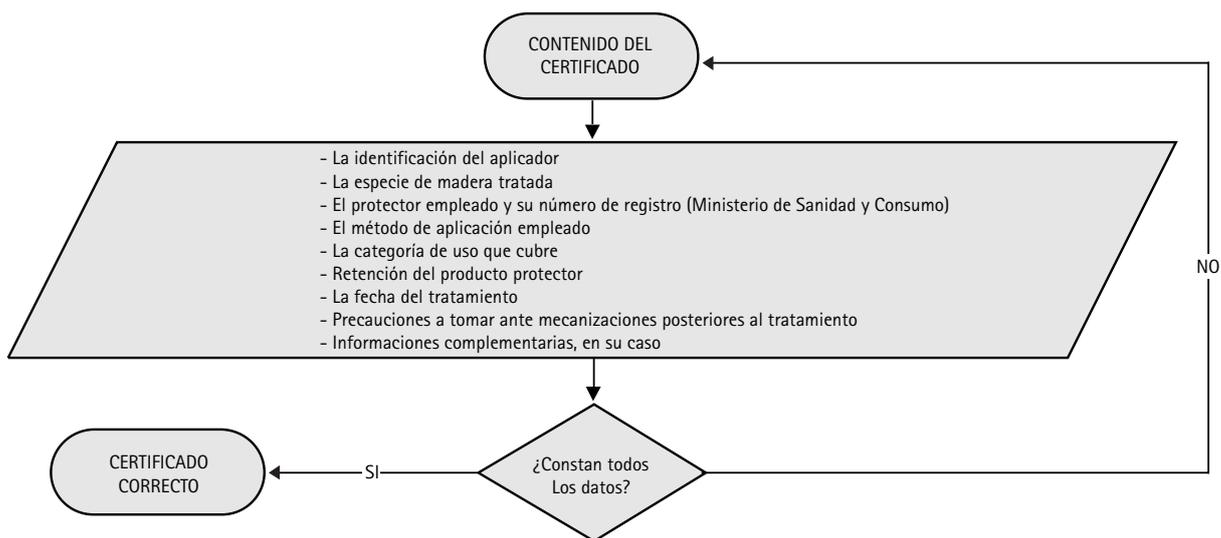
Las dimensiones de espesor, longitud y anchura se determinan de acuerdo con la norma UNE EN 324-1.

La rectitud de cantos y escuadría se determinan de acuerdo a la norma UNE EN 324-2

Las tolerancias especificadas están referidas a un contenido de humedad de 10 ± 2 %

En el caso de tableros que hayan sido sometidos a tratamientos previos de protección ante agentes bióticos o abióticos, deberá solicitarse el correspondiente certificado:

Diagrama 18. Control del certificado del tratamiento de protección de la madera



ELEMENTOS ESTRUCTURALES REALIZADOS EN TALLER

Los controles a efectuar en los elementos estructurales realizados en taller, se indican a continuación:

Diagrama 19. Control de la documentación del suministro

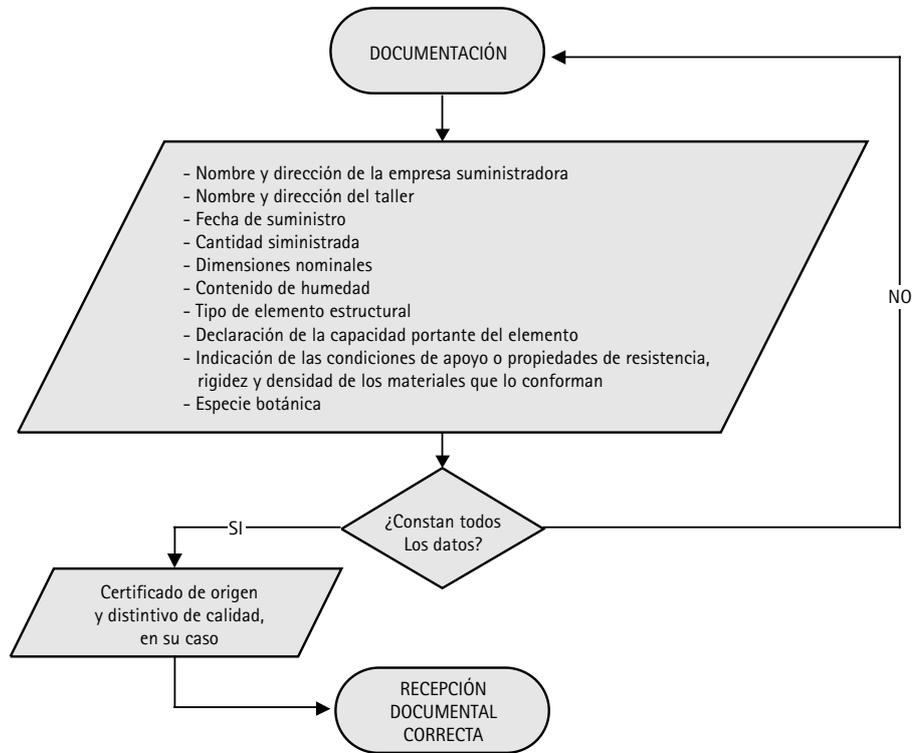


Diagrama 20. Control del material suministrado

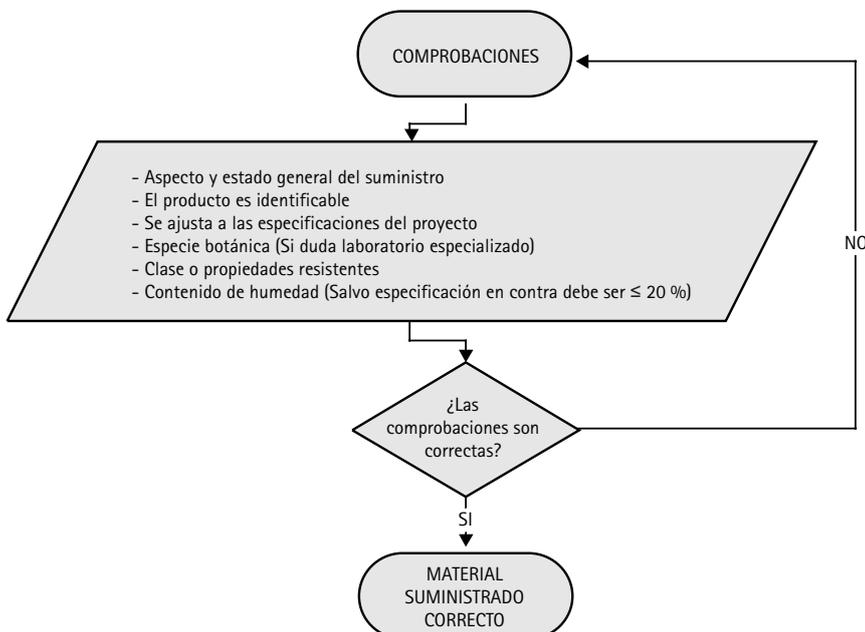


Diagrama 21. Control dimensional

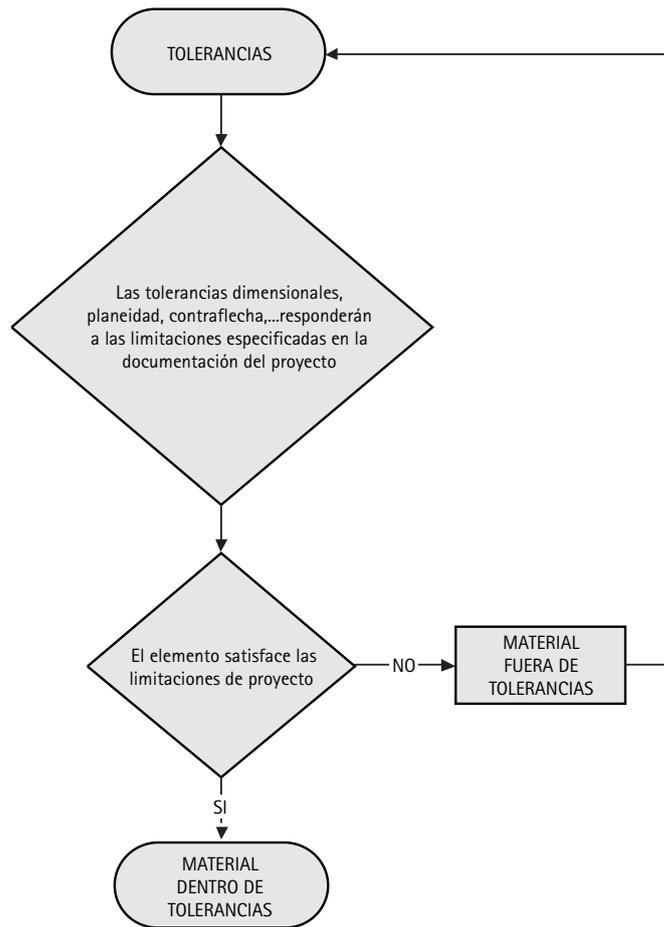
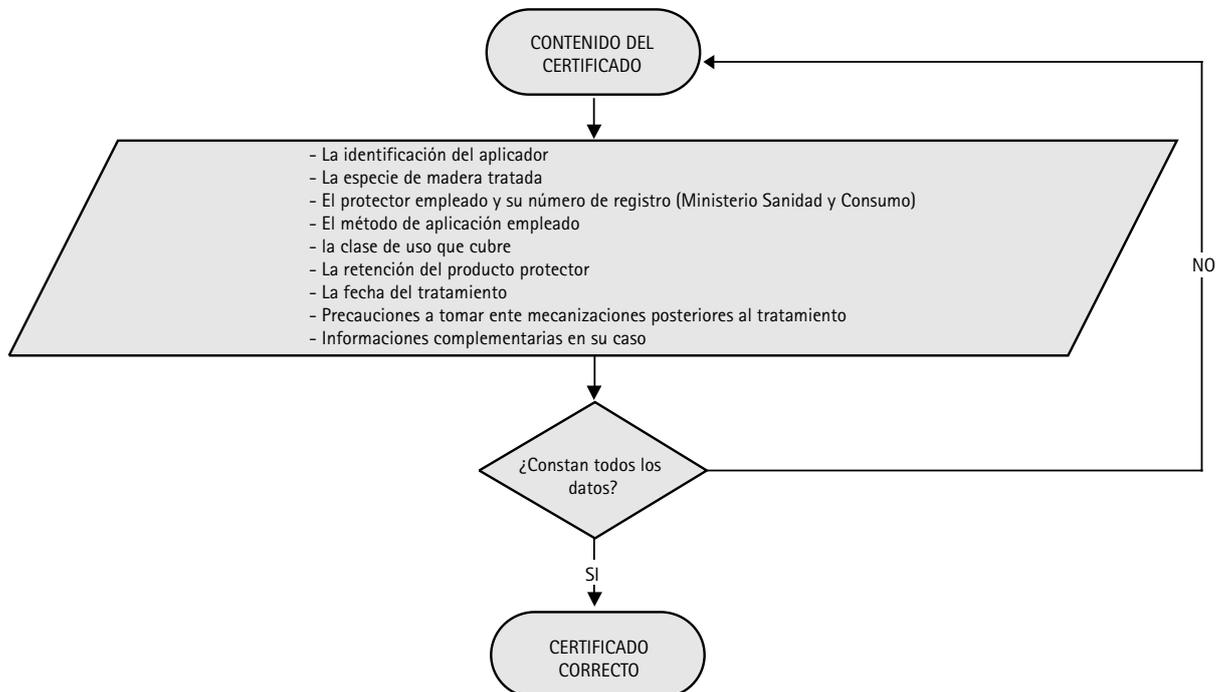


Diagrama 22. Control del certificado del tratamiento de protección de la madera



ELEMENTOS MECÁNICOS DE FIJACIÓN

Los elementos mecánicos de fijación se controlaran de acuerdo con los criterios siguientes:

Diagrama 23. Control documental del suministro

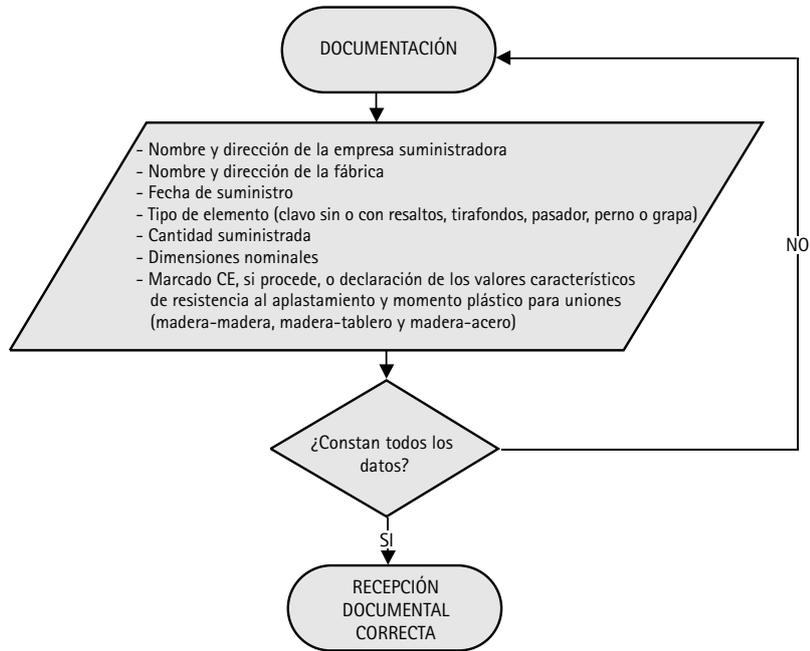
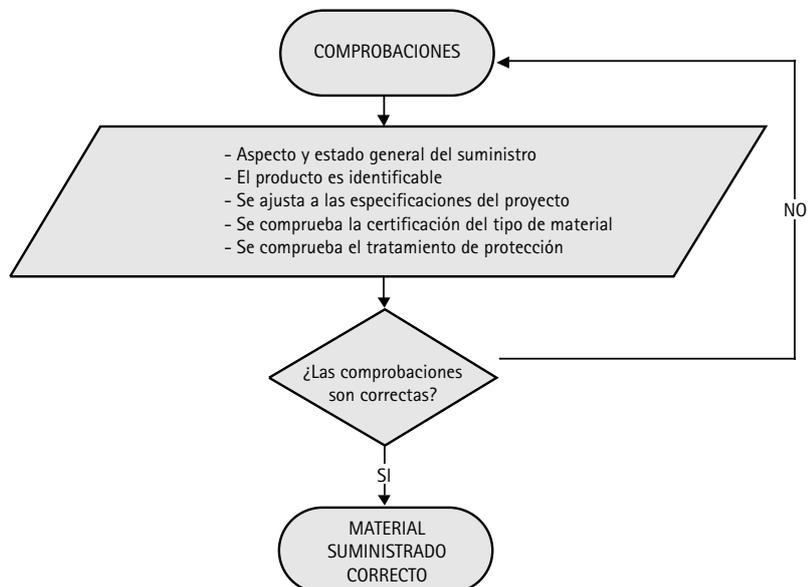


Diagrama 24. Control del material suministrado



A continuación se inserta la tabla de protección mínima frente a la corrosión según CTE SE-M (Tabla 3.4)

Tabla 1 Protección mínima frente a la corrosión o tipo de acero necesario

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

(1) Si se emplea galvanizado en caliente la protección Fe/Zn 12c debe sustituirse por Z 275, y la protección n Fe/Zn 25c debe sustituirse por Z 350.

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

EJECUCIÓN

CONTROL DE EJECUCIÓN DE LA OBRA

Durante la construcción, el director de la ejecución de la obra controlará la ejecución de cada unidad de obra verificando su replanteo, los materiales que se utilicen, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos, así como las verificaciones y demás controles a realizar para comprobar su conformidad con lo indicado en el proyecto, la legislación aplicable, las normas de la buena práctica constructiva y las instrucciones de la dirección facultativa.

Se comprobará que se han adoptado las medidas necesarias para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos.

Se adoptarán los métodos y procedimientos que se contemplen en los Documentos de Evaluación técnicas de idoneidad para el uso previsto de productos y sistemas innovadores

ALMACENAMIENTO

El almacenamiento de las piezas o elementos en obra debe tratarse con precaución, ya que de lo contrario un elemento correctamente fabricado puede verse alterado, menguado de prestaciones e incluso llegar a resultar inaceptable si no se toman las debidas precauciones, como:

- Proceder a la descarga del material de forma cuidadosa elevándolo en el sentido de colocación.
- Evitar el contacto con el suelo.
- Almacenar sobre una superficie plana siguiendo las instrucciones del fabricante
- Proteger el material de la intemperie; los elementos no deben exponerse innecesariamente a condiciones climáticas más severas que las que tendrán cuando esté terminada la estructura.
- Proteger al elemento del agua o humedades elevadas.

CONTROL DEL MONTAJE

Durante las operaciones de montaje de la estructura pueden producirse solicitaciones a los elementos superiores a los de servicio, o en direcciones para los que la pieza puede no estar dimensionada, por ello es básico operar metodológicamente, teniendo en cuenta los aspectos siguientes:

- Evitar sobretensiones en las piezas, ya sea en operaciones de elevación como de apoyo circunstancial.
- Efectuar un apuntalamiento provisional que permita mantener los elementos convenientemente aplomados y correctamente espaciados, a fin de evitar daños o derrumbes ocasionados por cargas laterales; empujes ocasionales, acciones por viento, etc.
- Las piezas torcidas, con hendiduras o con defectos de fijación en las uniones, deberían sustituirse.

CONTROL DE EJECUCIÓN DE LAS UNIONES

Las uniones son los puntos que presentan mayor grado de riesgo en una estructura de madera tanto desde el punto de vista de la durabilidad como de la funcionalidad del elemento. Es por ello que se hace necesario prestar una especial atención en el control de su ejecución.

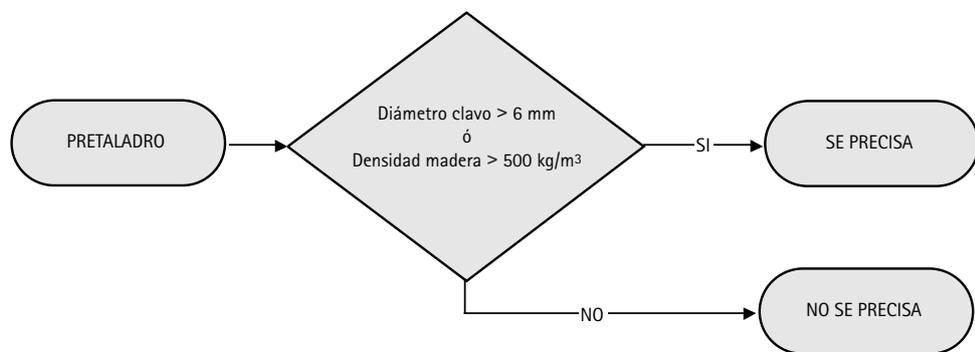
Uniones clavadas

Para el control de las uniones clavadas se debe tener en cuenta, en primera instancia, dos extremos:

- La densidad característica de la madera
- El diámetro del clavo que se utilice.

Si la densidad característica de la madera es \geq a 500 kg/m³ o si el diámetro del clavo es $>$ a 6 mm, será necesario realizar un pretaladro en el punto previsto para disponer el clavo.

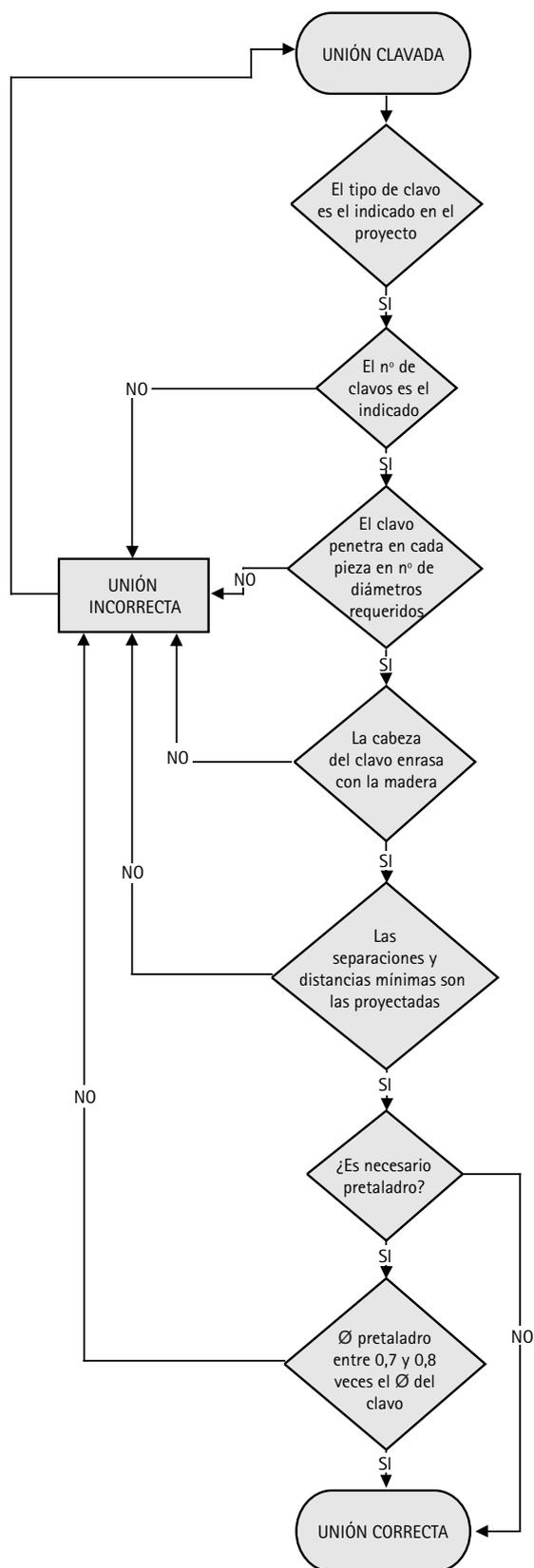
Diagrama 25. Uniones clavadas. Necesidad de pretaladro

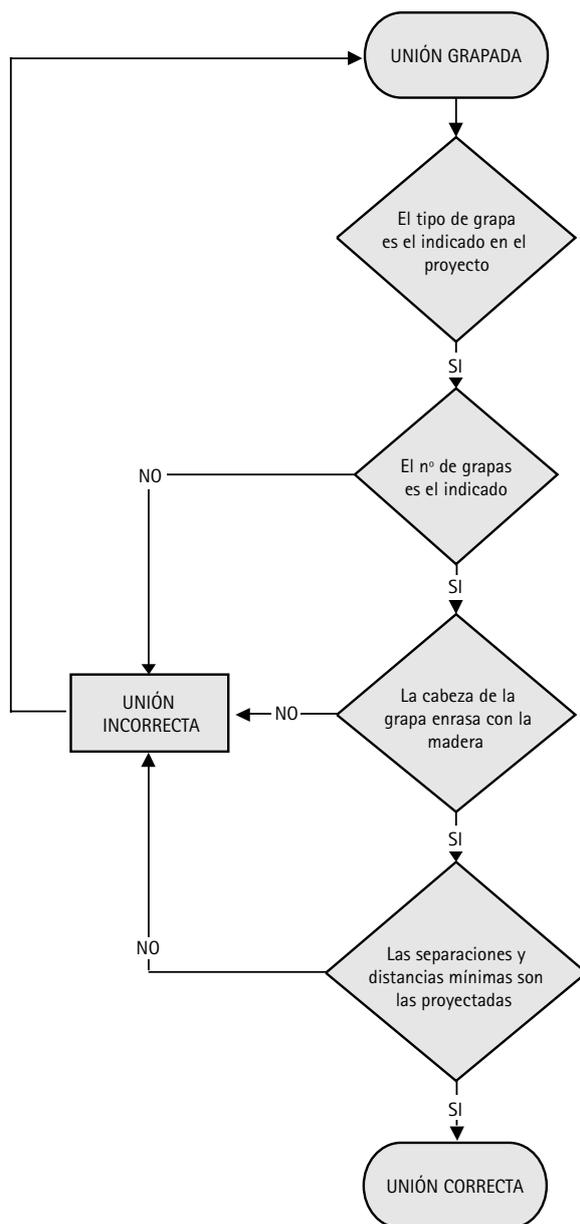


El proyecto debe incluir planos de detalles y documentación suficiente que permita la comprobación en fase de ejecución de:

- Tipo de clavo
- N° de clavos por unión
- Disposición de los mismos
- Profundidad de penetración
- Distancias de los clavos a los bordes de la pieza y separación entre ellos.

Diagrama 26. Uniones clavadas. Control de la unión





Uniones grapadas

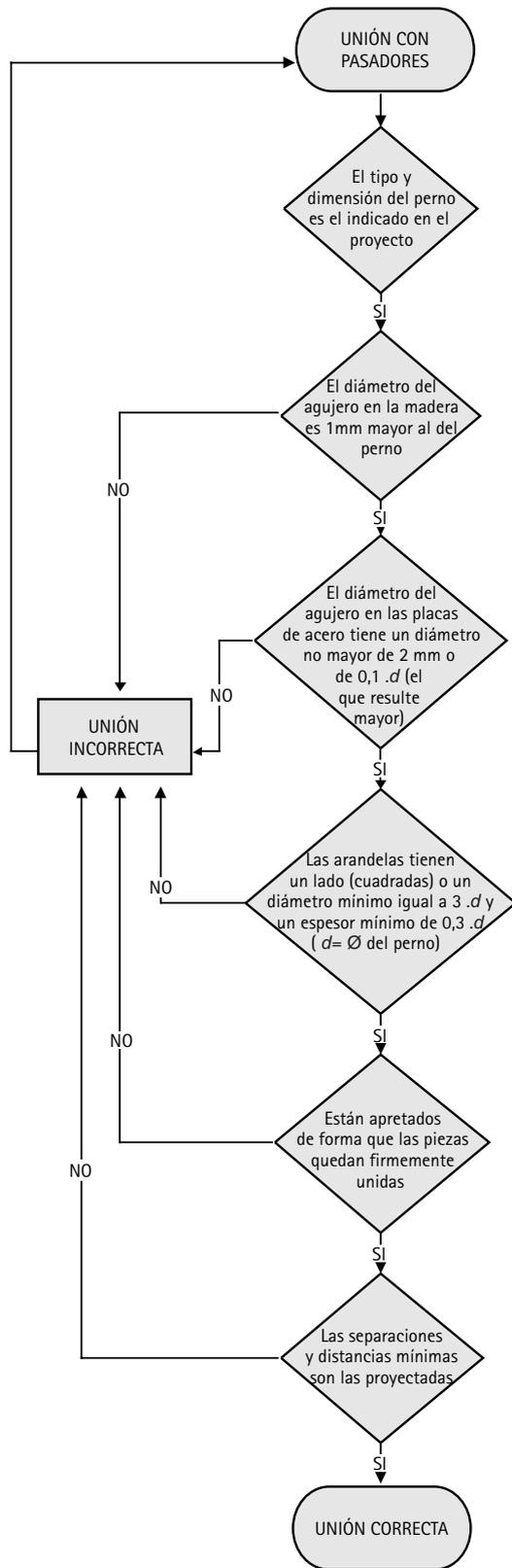
Las uniones se pueden resolver con distintos tipos de grapas que en función de la geometría de patas pueden ser:

- De sección circular
- De sección redondeada
- De sección rectangular

Todas ellas con puntas biseladas o apuntadas

El proyecto debe incluir planos de detalles y documentación suficiente que permita la comprobación en fase de ejecución de:

- Tipo de grapa
- Nº de grapas por unión
- Disposición de las mismas
- Distancias de las grapas a los bordes de la pieza y separación entre ellas.



Uniones con pernos

Los pernos se utilizan para dar solución a uniones, simples o dobles entre:

- Madera – madera
- Tablero – madera
- Acero – madera

El proyecto debe incluir planos de detalles y documentación suficiente que permita la comprobación en fase de ejecución de:

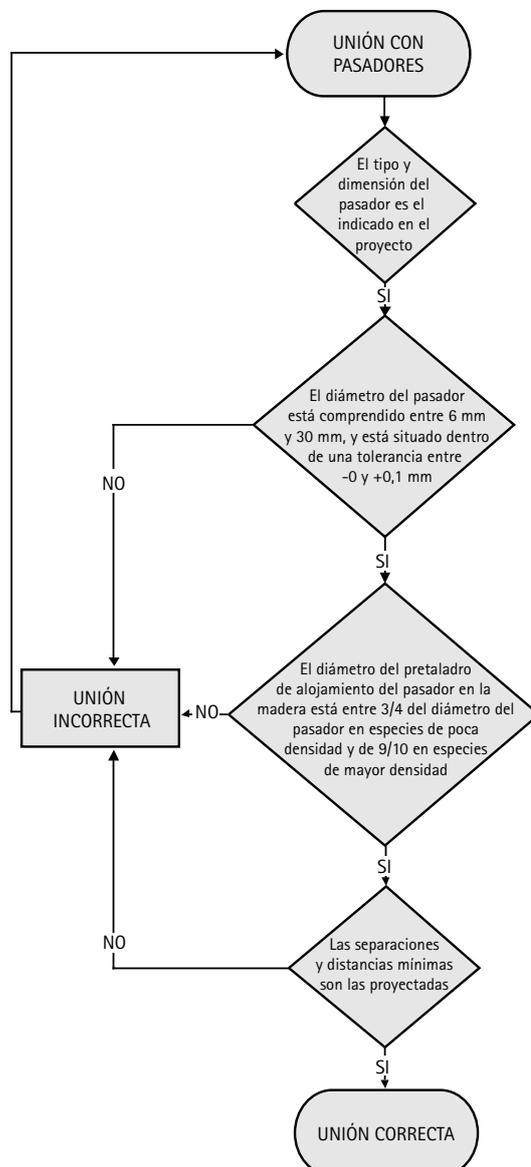
- Tipo y diámetro de los pernos
- Nº de pernos por unión
- Disposición de los mismos
- Distancias de los pernos a los bordes de la pieza y separación entre ellos.

Uniones con pasadores

El proyecto deben incluir planos de detalles y documentación suficiente que permita la comprobación en fase de ejecución de:

- Tipo y diámetro de los pasadores
- Nº de pasadores por unión
- Disposición de los mismos
- Distancias de los pasadores a los bordes de la pieza y separación entre ellos.

Diagrama 29. Uniones con pasadores. Control de la unión



Uniones con tirafondos

Para el control de las uniones clavadas se debe tener en cuenta, en primera estancia, dos extremos:

- La densidad de la madera
- El diámetro de la caña (zona no roscada) del tirafondo que se utilice.

Si la densidad de la madera es \geq a 500 kg/m³ (normalmente frondosas), el diámetro del pretaladro debe determinarse mediante ensayos.

El proyecto debe incluir planos de detalles y documentación suficiente que permita la comprobación en fase de ejecución de:

- Tipo de tirafondo
- Nº de tirafondos por unión
- Disposición de los mismos
- Profundidad de penetración
- Distancias de los tirafondos a los bordes de la pieza y separación entre ellos.

Diagrama 30. Uniones con tirafondos. Necesidad de pretaladro

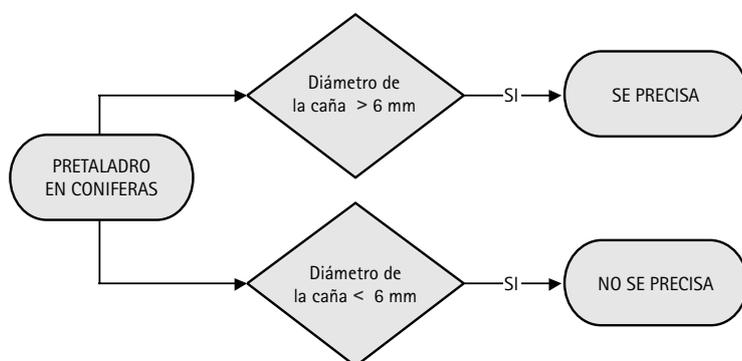
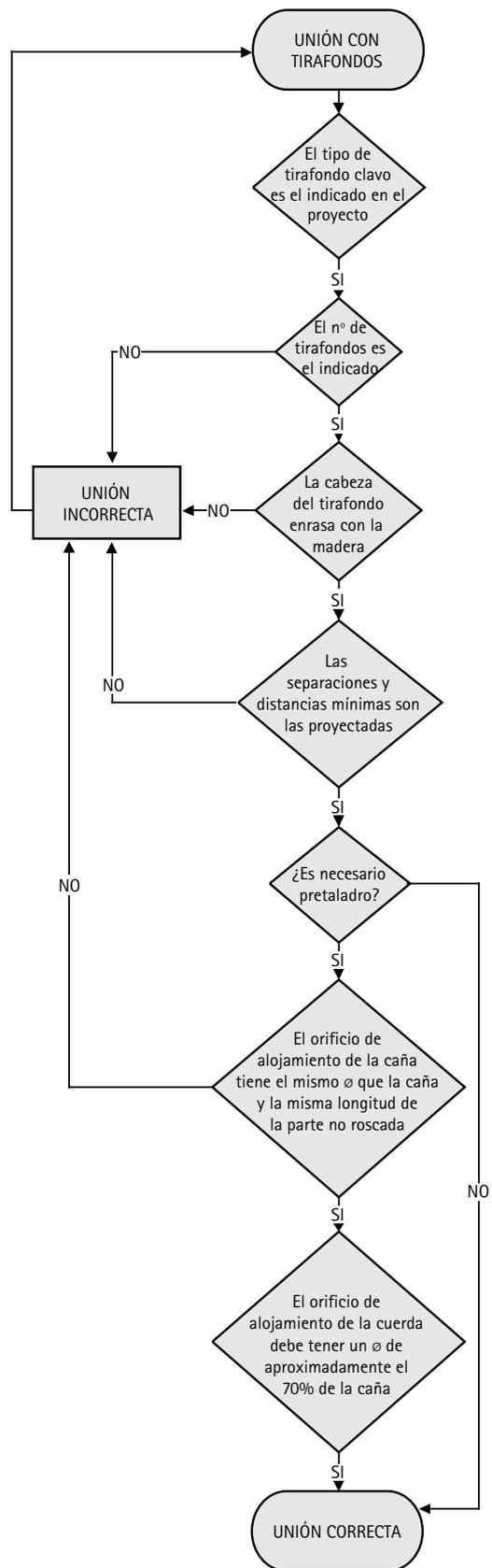


Diagrama 31. Uniones con tirafondos. Control de la unión

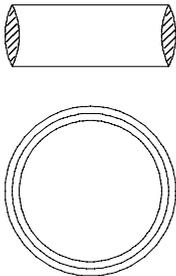
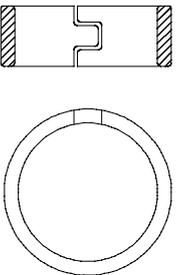
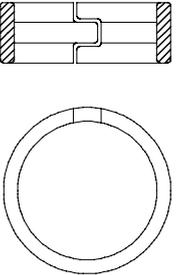
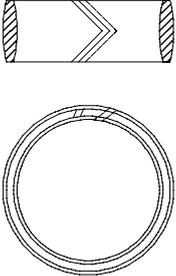


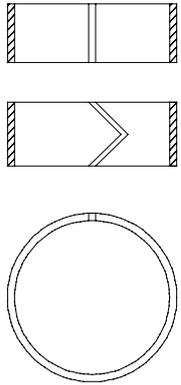
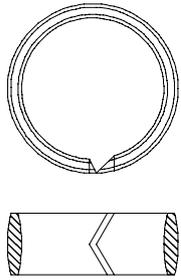
Uniones con conectores

Existen cuatro grupos de conectores:

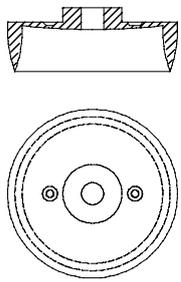
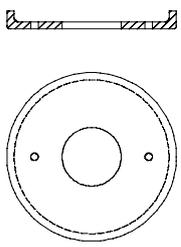
- Grupo A: Conectores tipo anillo
- Grupo B: Conectores tipo placa
- Grupo C: Conectores de placa dentada
- Grupo D: Otros conectores

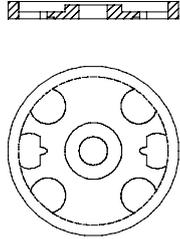
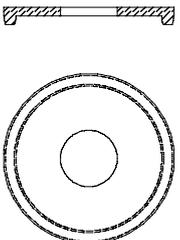
Cuadro 1. Conectores Grupo A tipo anillo (Anillos) (UNE-EN 912)

A1	<p>Es un anillo cerrado con una sección lenticular. Son de aleación de aluminio EN AC-AISi9Cu3(Fe) según EN1706</p>	
A2	<p>Es un conector de caras paralelas, cortado en un punto de su circunferencia formando una unión machihembrada. Son de chapa de acero laminado en caliente o aleaciones de acero templado HRMS Fe430A según EN 10025</p>	
A3	<p>Es un conector de caras doblemente biseladas cortado en un punto de su circunferencia formando una unión machihembrada. Son de chapa de acero laminado en caliente o de aleación de acero templado de la clase Fe430A HRMS, según EN10025</p>	
A4	<p>Es un conector de caras doblemente biseladas. En todos los conectores salvo el de menor medida, se practica un corte en forma de V en un punto de su circunferencia. El ángulo entre la dirección del corte y la circunferencia es de 45°. Son de fundición gris EN-GJL-150 o EN-GJL-200 (material número EN-JL 1020 o EN-JL 1030) según EN 1561.</p>	

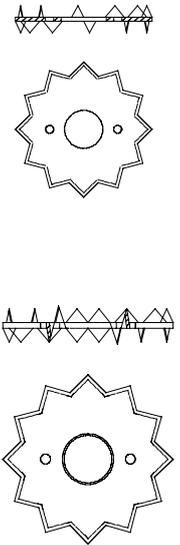
A5	<p>Es un conector de sección rectangular. Esta cortado en un punto de su circunferencia de forma que los extremos queden en forma de V. Son de chapa de acero laminado en caliente de aleaciones de acero S 235 JR GI (material número 1.0036) según EN 10025.</p>	
A6	<p>Es un conector de forma trapezoidal simple o doble. En cada conector, se practica un corte en V en un punto de su circunferencia. El ángulo entre la dirección del corte y la de la circunferencia es de 60°. Son de fundición FGL 250 según EN 1561.</p>	

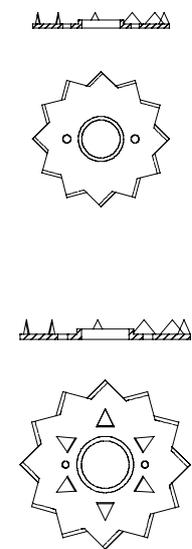
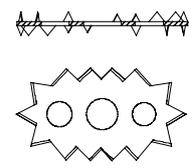
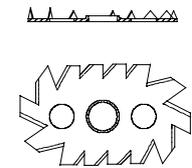
Cuadro 2. Conectores Grupo B tipo placa (Anillos de una cara) (UNE-EN 912)

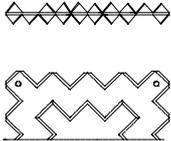
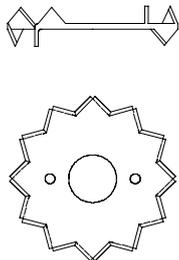
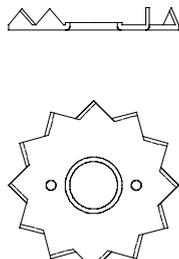
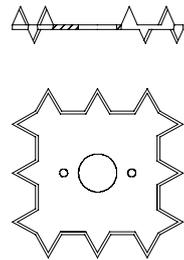
B1	<p>Es un conector integrado por una placa circular embridada con un buje cilíndrico solidario concéntrico, y con un orificio para perno en el centro de la placa. La brida y el buje están en caras opuestas de la placa. Cada conector tiene dos orificios para clavo en la placa, a ambos lados del orificio del perno. Son de aleación de aluminio EN AC-AISi9Cu3(Fe), según EN 1706</p>	
B2	<p>Está integrado por una placa circular embridada con un orificio para perno en el centro. Pueden taladrarse dos orificios para clavos equidistantes del centro y el borde de la placa y a ambos lados del orificio del perno. Los anillos son de acero laminado en caliente según EN 10025.</p>	

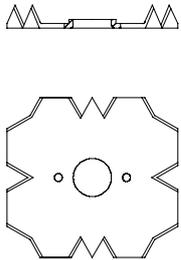
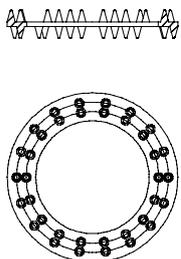
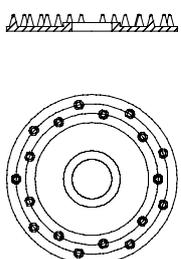
B3	<p>Está constituido por una placa circular perforada y embreadada con un buje cilíndrico solidario y concéntrico y con un orificio para perno taladrado en su centro. La brida y el buje se sitúan en la misma cara de la placa formando ángulos rectos con ésta. La placa puede tener dos orificios para clavo equidistantes entre la circunferencia del orificio para perno y la circunferencia de la placa, y a ambos lados del orificio par perno. Son de fundición maleable según EN 1562.</p>	
B4	<p>Está constituido por una placa circular embreadada con un orificio en el centro. Son de fundición gris EN-GJL-150 o EN-GJL-200 (material número EN-JL 1020 o EN-JL 1030) según EN 1561.</p>	

Cuadro 3. Conectores Grupo C de placa dentada (UNE-EN 912)

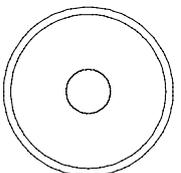
C1	<p>Es un conector de doble cara constituido por una placa circular cuyos bordes han sido cortados y plegados formando dientes triangulares proyectándose alternativamente a ambos lados de la placa y formando ángulos de 90° con esta. Los dientes se deben espaciar regularmente alrededor del perímetro de la placa y en los conectores de diámetro $d_c \geq 95$ mm también alrededor del perímetro del orificio central. La placa lleva dos orificios para clavos equidistantes entre la circunferencia del orificio para perno y la circunferencia de la placa, y a ambos lados del orificio para perno.</p> <p>Están constituidos por bandas de acero de bajo en carbono conformado en frío y no revestidas. Los materiales deben ser conformes con los aceros del tipo DC01+C390 (material número 1.0330) según EN 10139. Además la elasticidad mínima del material debe ser del 10 % o bien se utilizan chapas laminadas en frío de acero de alta elasticidad conformado en frío H320M según EN 10268.</p>	
----	--	---

C2	<p>Es un conector de una cara constituido por una placa circular cuyos bordes han sido cortados y plegados formando dientes triangulares proyectándose a un lado de la placa y formando ángulos de 90° con esta. Los dientes deben espaciarse regularmente alrededor del perímetro de la placa y en los conectores de diámetro $d_c \geq 95$ mm también entre el perímetro de la placa y el orificio para perno del centro de la placa. El perímetro del orificio del perno lleva una brida embutida en el mismo lado que el dentado. La placa lleva dos orificios para clavo equidistantes entre la circunferencia del orificio para perno y la circunferencia de la placa, y a ambos lados del orificio del perno.</p> <p>Están constituidos por bandas de acero bajo en carbono conformado en frío y no revestidas. Los materiales deben ser conformes con los aceros del tipo DC01+C390 (material número 1.0330) según EN 10139. Además la elasticidad mínima debe ser del 10 % o bien se utilizan chapas laminadas en frío de acero de alto límite elástico para conformado en frío H320M según EN 10268.</p>	
C3	<p>Es un conector de doble cara constituido por una placa ovalada cuyos bordes han sido cortados y plegados formando dientes triangulares proyectándose alternativamente a ambos lados de la placa y formando ángulos de 90° con esta. El número de dientes debe ser 28. La altura de los seis dientes dispuestos en el centro de cada uno de los lados mayores de la placa debe ser menor que la del resto del dentado. Cada placa lleva tres orificios, uno más grande en el centro y dos más pequeños entre el centro y el borde de la placa, a cada lado del orificio central y sobre su eje mayor.</p> <p>Están constituidos por bandas de acero bajo en carbono conformado en frío y no revestidas. Los materiales deben ser conformes con los aceros del tipo DC01+C390 (material número 1.0330) según EN 10139. Además la elasticidad mínima del material debe ser del 10 % o bien se utilizan chapas laminadas en frío de acero de alta elasticidad para conformados en frío H320M según EN 10268.</p>	
C4	<p>Es un conector de una cara constituido por una placa ovalada cuyos bordes han sido cortados y plegados formando dientes triangulares proyectándose a un lado de la placa y formando ángulos de 90° con esta. El número de dientes debe ser de 14. La altura de los tres dientes dispuestos en el centro de cada uno de los lados mayores de la placa debe ser menor que la del resto del dentado. Cada placa lleva tres orificios, uno más grande en el centro y dos más pequeños entre el centro y el borde de la placa, a cada lado del orificio central y sobre su eje mayor. Alrededor del orificio central se encuentra una brida embutida al mismo lado del dentado.</p> <p>Están constituidas por bandas de acero bajo en carbono conformado en frío y no revestidas. Los materiales deben ser conformes con los aceros tipo DC01+C390 (material número 1.0330) según EN 10139. Además la elasticidad mínima del material debe ser del 10 % o bien se utilizan chapas laminadas en frío de acero de alto límite elástico para conformado en frío H320M según EN 10268.</p>	

<p>C5</p>	<p>Es un conector de doble cara constituido por una placa cuadrada cuyos bordes han sido cortados y plegados para formar dientes triangulare proyectándose alternativamente a ambos lados de la placa y formando ángulos de 90° con esta.</p> <p>Los dientes deben espaciarse regularmente a lo largo del perímetro y alrededor del orificio cuadrado del centro de la placa. La placa debe tener un orificio para clavo en cada esquina.</p> <p>Están constituidas por bandas de acero bajo en carbono conformado en frío y no revestidas. Los materiales deben ser conformes con los aceros tipo DC01+C390 (material número 1.0330) según EN 10139. Además la elasticidad mínima del material debe ser del 10 % o bien se utilizan chapas laminadas en frío de acero de alto límite elástico para conformado en frío H320M según EN 10268.</p>	
<p>C6</p>	<p>Es un conector de doble cara constituido por una placa circular con un orificio para perno en el centro. Puede llevar orificios para clavos equidistantes entre el centro de la placa y el borde exterior y a cada lado del orificio del perno.</p> <p>Los bordes de la placa han sido cortados y plegados para formar 24 dientes triangulares espaciados regularmente alrededor del perímetro y proyectándose alternativamente a ambos lados de la placa formando ángulos de 90° con esta.</p> <p>Son de acero bajo en carbono galvanizado en caliente y continuo y conformado en frío, de aleación FePO2 G Z275 según EN 10142 y EN 10147.</p>	
<p>C7</p>	<p>Es un conector de una cara constituido por una placa circular con un orificio para perno en el centro. Puede llevar dos orificios para clavos equidistantes entre el centro de la placa y el borde exterior y a cada lado del orificio para perno.</p> <p>Los bordes de la placa están cortados y plegados para formar 12 dientes triangulares espaciados regularmente alrededor del perímetro y proyectándose a un lado de la placa formando ángulos de 90° con esta. El orificio del perno está rodeado de una brida embutida en el mismo lado del dentado.</p> <p>Son de acero bajo en carbono galvanizado en caliente y continuo y conformado en frío, de aleación FePO2 G Z275 según EN 10142 y EN 10147.</p>	
<p>C8</p>	<p>Es un conector de doble cara constituido por una placa cuadrada con un orificio para perno en el centro. A cada lado del orificio para perno puede llevar dos orificios para clavo. Los bordes de la placa se cortan y pliegan para formar 32dientes triangulares, espaciándose de forma regular 8 dientes en cada lado proyectándose alternativamente a ambos lados de la placa formando ángulos de 90° con esta. La base de cada diente forma un ángulo de 60° respecto al borde de la placa o es paralela a este.</p> <p>Son de acero bajo en carbono galvanizado en caliente y continuo y conformado en frío, de aleación FePO2 G Z275 según EN 10142 y EN 10147.</p>	

C9	<p>Es un conector de una cara constituido por una placa cuadrada con un orificio para perno en el centro. A cada lado del orificio para perno puede llevar dos orificios para clavo. Los bordes de la placa se cortan y pliegan para formar 16 dientes triangulares, espaciándose de forma regular 4 dientes en cada lado proyectándose a un lado de la placa formando ángulos de 90° con esta. La base de cada diente forma un ángulo de 60° respecto al borde de la placa o es paralela a este. El orificio para perno está rodeado de una brida embutida en el mismo lado del dentado.</p> <p>Son de acero bajo en carbono galvanizado en caliente y continuo y conformado en frío, de aleación FeP02 G Z275 según EN 10142 y EN 10147.</p>	
C10	<p>Es un conector de doble cara constituido por una placa en forma de anillo incluyendo clavos a ambos lados. Los clavos son equidistantes y se disponen en uno o dos círculos a cada lado de la placa en anillo. En el caso de que sea de dos círculos, la mitad de los clavos se dispone en el círculo interior y la otra mitad en el exterior, estando los clavos interiores situados alternamente respecto a los exteriores. Los clavos de las dos caras pueden alternarse o no unos respecto a los otros. Los clavos son de forma cónica con la punta redondeada. La parte interior del cono puede ser ligeramente aplanada por debajo de la zona redondeada de la punta, pero en ningún caso más de 1 mm en la base del cono.</p> <p>Son de fundición maleable EN-GJMB-350-10 (número de material EN-JM 1130) según EN 1562.</p>	
C11	<p>Es un conector de una cara constituido por una placa circular con clavos a un lado de la placa. Los clavos son equidistantes y se disponen en uno a dos círculos.</p> <p>En el caso de que sea de dos círculos, la mitad de los clavos se dispone en el círculo interior y la otra mitad en el exterior, estando los clavos interiores situados alternamente respecto a los exteriores. Los clavos son de forma cónica con la punta redondeada- La parte interior del cono puede ser ligeramente aplanada por debajo de la zona redondeada de la punta, pero en ningún caso más de 1 mm en la base del cono. El conector tiene un orificio en el centro, rodeado de una brida embutida en el mismo lado que los clavos.</p> <p>Son de fundición maleable EN-GJMB-350-10 (número de material EN-JM 1130) según EN 1562.</p>	

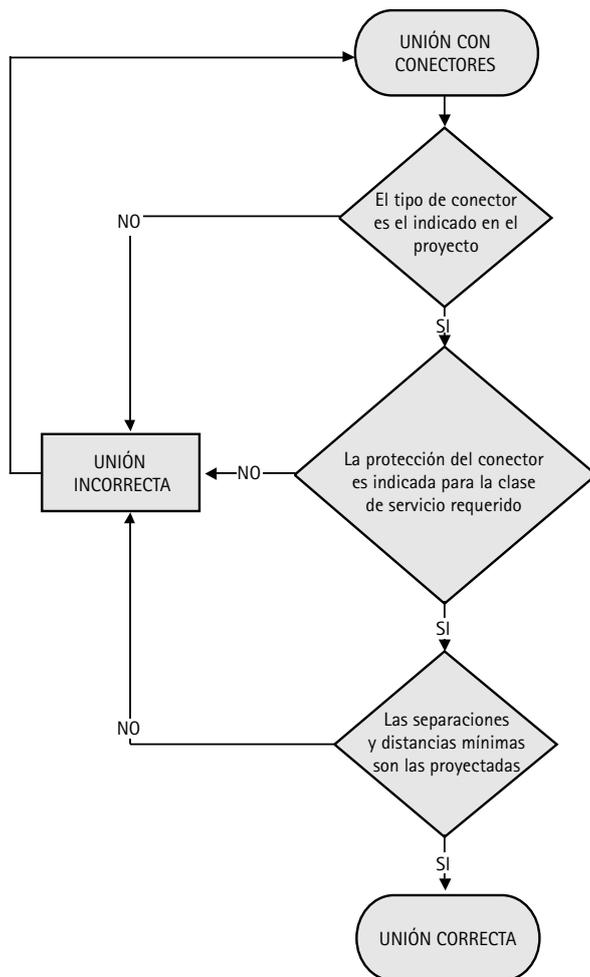
Cuadro 4. Conectores Grupo D. Otros conectores (UNE-EN 912)

D1	<p>Es un conector de doble cara constituido por una placa circular de madera con borde biselado, de forma que el diámetro aumenta hacia adentro. La placa lleva un orificio para perno en el centro.</p> <p>Son de madera de roble claro (<i>Quercus spp</i>) de una densidad característica mínima de 600 kg/m³ y con una humedad menor o igual al 18 % durante la fabricación. La dirección de la fibra debe ser perpendicular al eje del perno.</p>	
----	---	---

El proyecto debe incluir planos de detalles y documentación suficiente que permita la comprobación en fase de ejecución de:

- Tipo de conector
- Nº de conectores por unión
- Disposición de los mismos
- Distancias de los tirafondos a los bordes de la pieza y separación entre ellos.

Diagrama 32. Uniones con conectores. Control de la unión



COMPROBACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS

Resulta imprescindible la comprobación de los siguientes diez puntos críticos, para poder asegurar la funcionalidad y durabilidad de la estructura de madera:

- Se ha procurado que, en el momento de su colocación, la madera hubiera alcanzado la humedad más próxima posible a la de la obra acabada.
- Se han tratado los puntos o zonas que han sido perforadas o cortadas en obra con el producto adecuado para mantener la funcionalidad del tratamiento preventivo, en su caso.
- Se ha evitado el contacto directo de la madera con el terreno, manteniendo una distancia mínima de 20 cm habiendo dispuesto barrera antihumedad.
- Ningún arranque de soporte o arco queda embebido en hormigón u otro material de fábrica.
- Los encuentros de vigas en muros se encuentran ventilados con una separación mínima de 15 mm entre la madera y el material del muro, y además, la base de apoyo dispone de un material intermedio que impide la transmisión de la humedad.
- Se ha evitado la posibilidad de acumulación de agua en las uniones.
- Se han protegido las caras superiores de los elementos de madera expuestos directamente a la intemperie. Si se ha colocado una albardilla metálica, ésta se ha dispuesto de forma que permite la aireación de la madera que cubre.
- Se han protegido las testas de los elementos estructurales de madera de la acción directa del agua de lluvia, ocultándolas con remates protectores.
- La cubierta evacua rápidamente el agua de lluvia y se han dispuesto sistemas de desagüe de condensaciones en los lugares oportunos.
- Los elementos de unión no coaccionan los posibles cambios dimensionales de la madera.

TOLERANCIAS DE LA OBRA ACABADA

Las tolerancias sobre la fabricación de elementos estructurales pueden establecerse en el proyecto, de forma específica, en función de las condiciones de fabricación y montaje. De no especificarse, el fabricante o suministrador deberá cumplir lo indicado en los diagramas de flujo referidos a tolerancias expuestos anteriormente para cada tipo de material, además de:

Para elementos estructurales:

- Las tolerancias o desviaciones admisibles respecto a las dimensiones nominales de la madera aserrada, se ajustarán a los límites de tolerancia de la clase 1.
- La combadura de columnas y vigas medida en el punto medio del vano, en aquellos casos en que puedan presentarse problemas de inestabilidad lateral, o en barras de pórticos, debe limitarse a 1/500 de la longitud del vano en piezas de madera laminada y microlaminada o a 1/300 en piezas de madera maciza.

Para celosías con uniones de placas dentadas:

- Será admisible una combadura máxima de 10 mm en cualquier pieza de la cercha siempre que quede afianzada de manera segura en la cubierta terminada de forma que se evite el momento provocado por dicha tensión.
- La desviación máxima de una cercha respecto a la vertical no deberá exceder el valor de la expresión $10 + 5(H-1)$ mm, con un valor máximo de 25 mm; donde H es la altura (diferencia de cota entre apoyos y punto más alto), expresada en metros.

MANTENIMIENTO

Las operaciones de mantenimiento son de vital importancia para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura a lo largo de su vida útil.

Estas operaciones deben responder a las directrices marcadas en la documentación que se libraré al propietario y/o usuarios del edificio en el momento de su entrega, integrada en el Libro del Edificio.

El libro del edificio

En el Libro del Edificio se incluirá la documentación de los controles de recepción de los productos y sistemas suministrados a la obra y su aceptación.

Contendrá, asimismo, las instrucciones de uso y mantenimiento del edificio terminado, incluyendo un plan de mantenimiento del edificio con la planificación de las operaciones programadas para el mantenimiento del edificio y sus instalaciones, que estará de acuerdo con las instrucciones de los suministradores de los productos, equipos y materiales empleados.

Uso y conservación

El edificio y sus instalaciones se utilizarán adecuadamente de conformidad con las instrucciones de uso, absteniéndose de hacer un uso incompatible con el previsto. Los propietarios y los usuarios pondrán en conocimiento de los responsables del mantenimiento cualquier anomalía que se observe en el funcionamiento normal del edificio.

El edificio debe conservarse en buen estado mediante un adecuado mantenimiento. Esto supondrá la realización de las siguientes acciones:

- Llevar a cabo el plan de mantenimiento del edificio, encargando a técnico competente las operaciones programadas para el mantenimiento del mismo y de sus instalaciones.
- Realizar las inspecciones reglamentariamente establecidas y conservar su correspondiente documentación.
- Documentar a lo largo de la vida útil del edificio todas las intervenciones, ya sean de reparación, reforma o rehabilitación realizadas sobre el mismo, consignándolas en el Libro del Edificio.

Si se detectasen deterioros importantes (grietas, deformaciones, fallos uniones, etc.), ataques de termitas o insectos (muchas veces detectables al exterior por la aparición de orificios superficiales en la madera, la presencia de serrín en el suelo o de galerías terrosas en las paredes) se avisará a un técnico competente para que audite el problema y proponga las soluciones de mantenimiento más adecuadas.

En el caso de que para rebajar la clase de uso en la que trabajan los productos de madera se hubieran adoptado en el proyecto soluciones de protección por diseño (tipo barrera, instalación de deshumectadores y ventiladores, colocación de piezas de sacrificio, juntas y rejillas de ventilación, etc.), el proyecto deberá establecer un programa de mantenimiento de los puntos críticos, programa que deberá ser seguido por los responsables de mantenimiento.

En el caso de emplear productos de acabado o protección superficial que formen una película, como las pinturas y los barnices, deberá establecerse y seguirse un programa de mantenimiento posterior. Para el mantenimiento de los productos de tratamiento superficial tipo lasur, seguirán las recomendaciones establecidas en el proyecto o, en su defecto, las recomendaciones del fabricante del producto aplicado. En ausencia de otros datos se renovarán cada 3 años en madera colocada al exterior o cada 6 en madera colocada al interior.

Los revestimientos ignífugos superficiales deberán ser reparados tan pronto como se observen daños que hagan peligrar su integridad.

Para más detalles sobre la mejor forma de proteger y mantener las estructuras y productos estructurales de madera se recomienda consultar el capítulo de Durabilidad de esta Guía.

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

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
PROHOLZ
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

