

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.

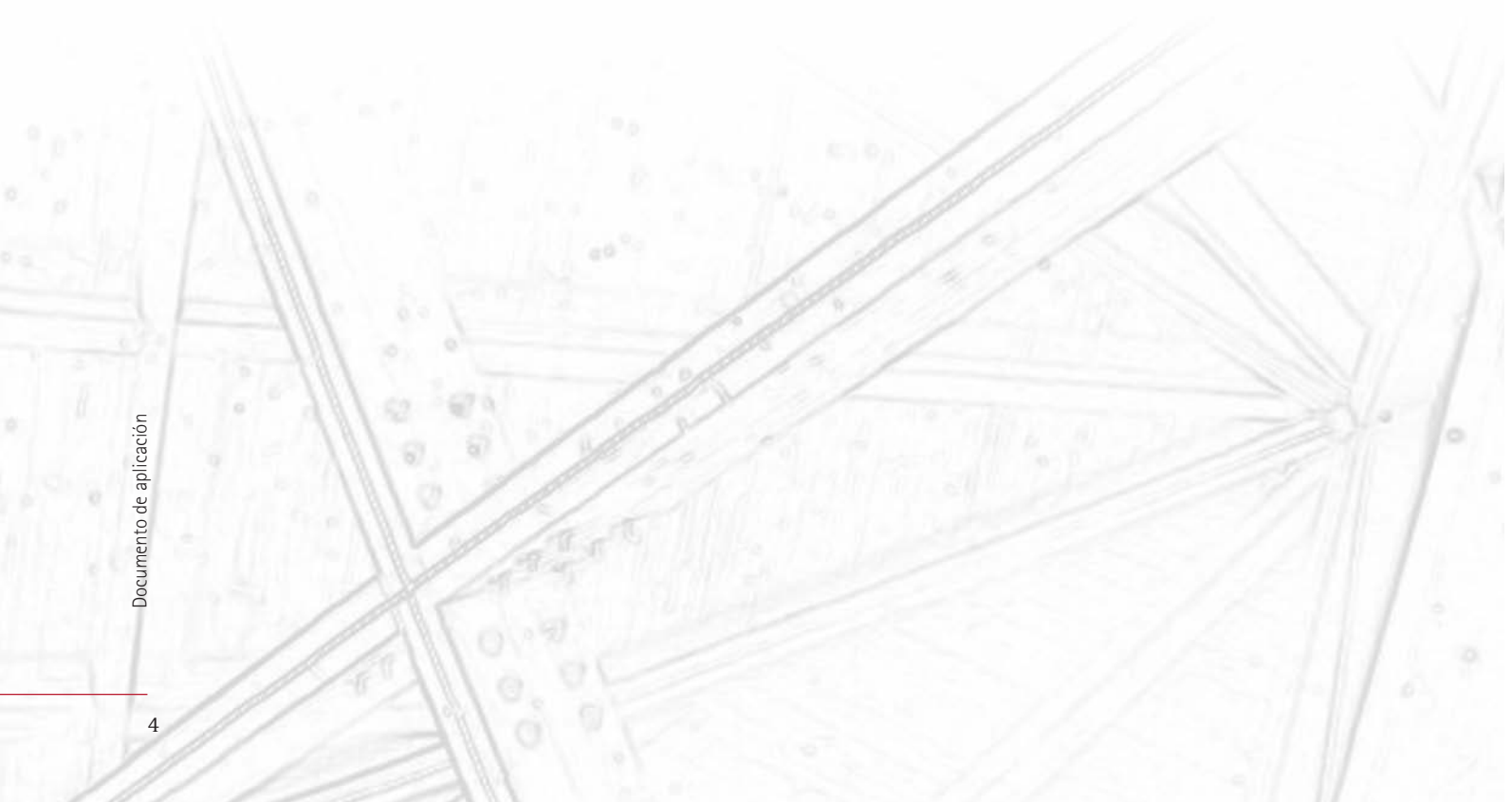
Capítulo 4. Uniones.

Capítulo 5. Ejecución, control y mantenimiento. Patología.



INDICE

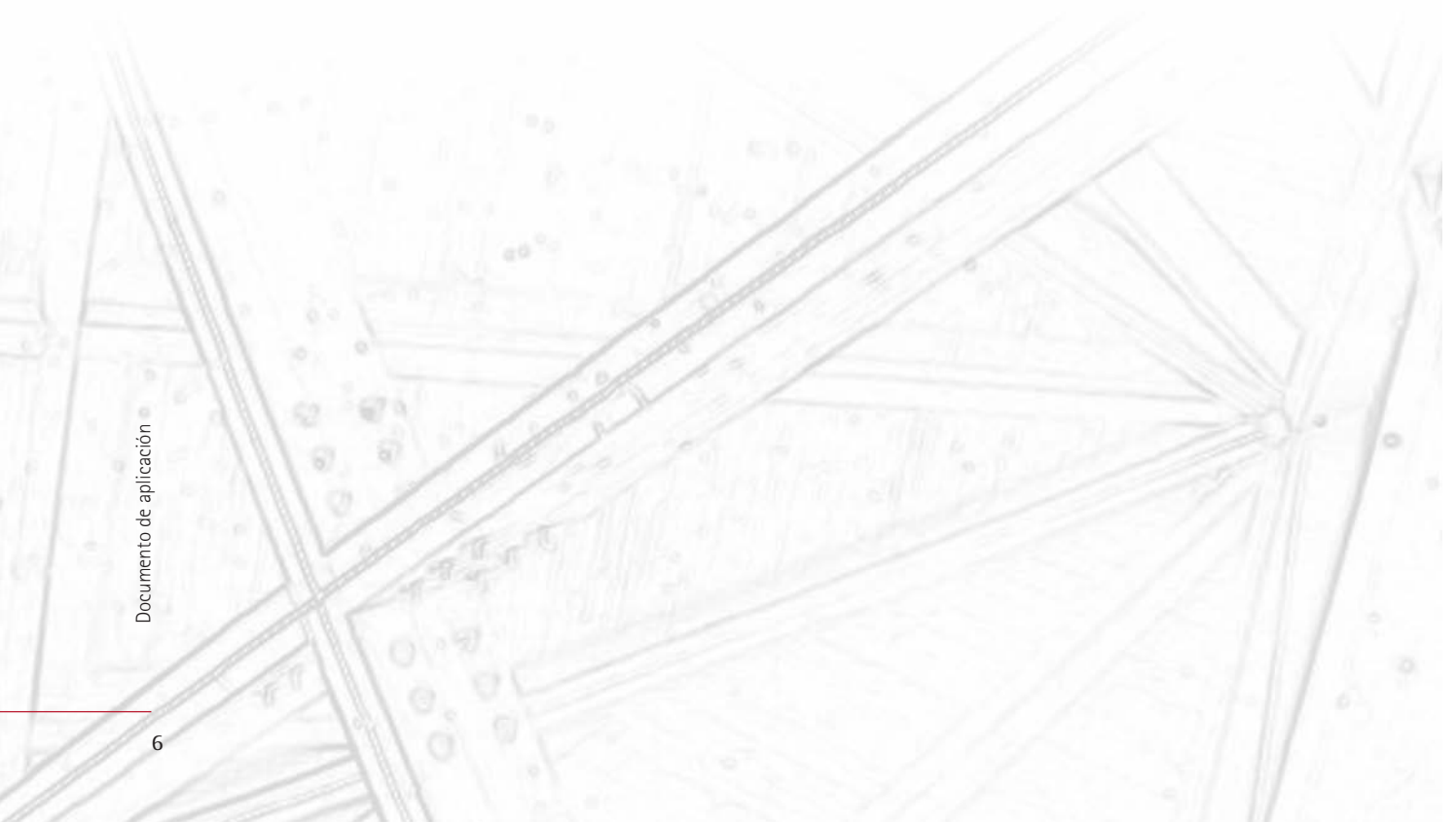
INTRODUCCIÓN	5
1. GENERALIDADES	7
- Objeto y ámbito de aplicación	7
- Cuadro de exigencias por elemento	7
2. CONSIDERACIONES GENERALES	9
- Introducción	9
- Beneficios de la producción de madera: bosques y plantaciones	9
- Características de la madera como material de construcción	10
- Tipos de edificación	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

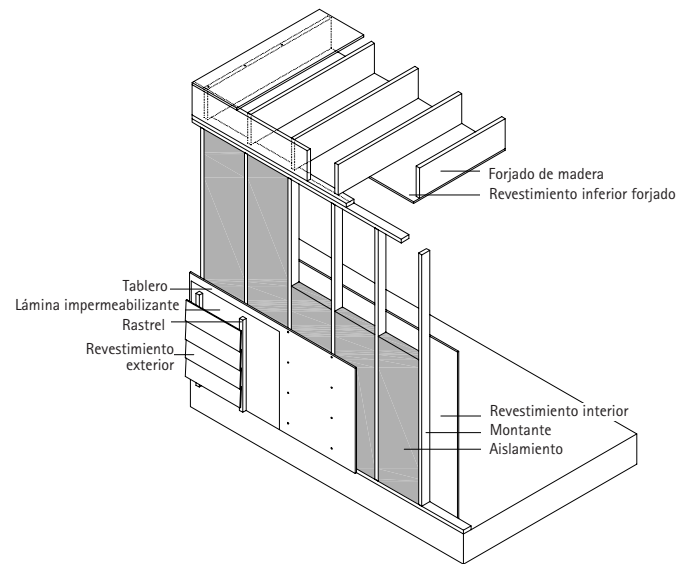
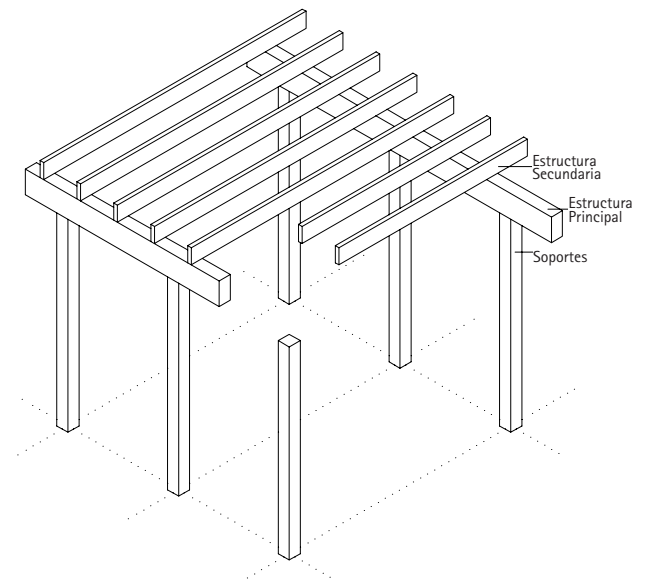


Figura 0.2. Edificación con sistema de entramado pesado



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

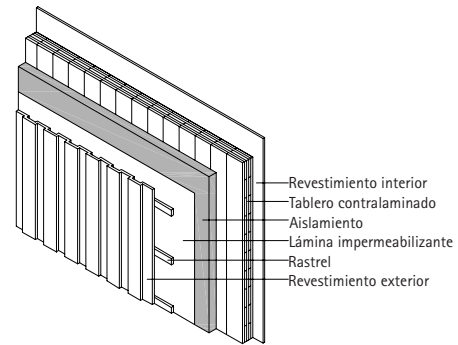
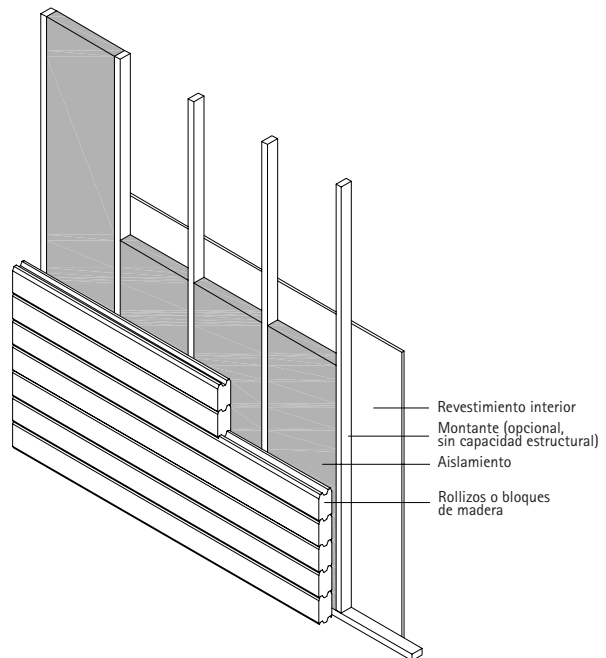


Figura 0.4. Edificación con muros de bloques de madera





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.)

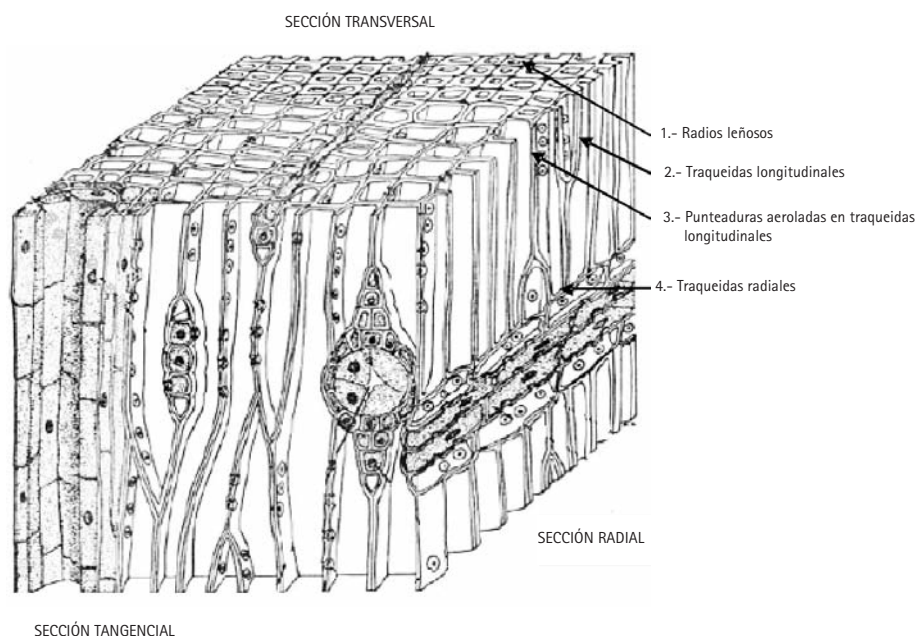


Figura 0.5. Vista tridimensional de un corte anatómico de la madera de conífera

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 construidos 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	$L/30-L/50$ $f \geq L/7$
	Pórtico 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

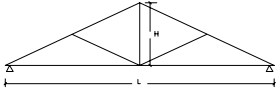
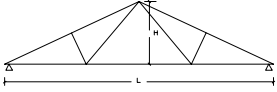
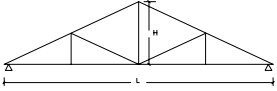
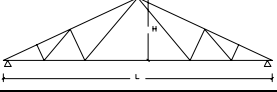
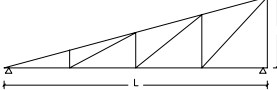
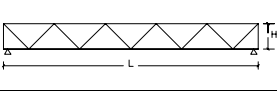
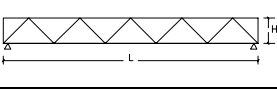
Sistema estructural	Altura máxima	Ángulos	Separación (m)	Luces habituales (m)
	$H \geq L/10 - L/8$		4-10	7,5-30
	$H \geq L/10 - L/8$		4-10	7,5-30
	$H \geq L/10 - L/8$	12-30°	4-10	7,5-30
	$H \geq L/10 - L/8$	12-30°	4-10	7,5-30
	$H \geq L/10$	12-30°	4-10	7,5-35
	$H \geq L/10 - L/12$	0	2,5-6	5-25
	$H \geq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

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

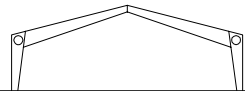
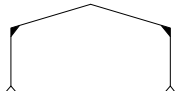
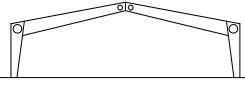

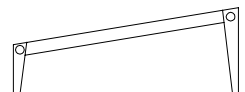

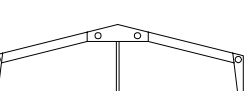
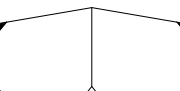
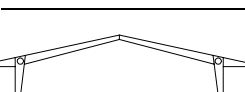
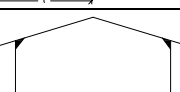
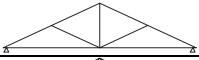
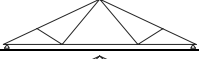
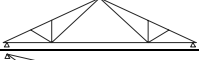


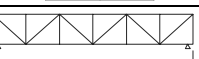
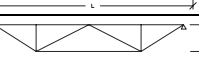
Tipo estructural	Luces (m) Altura pilares (m)	Pendiente (%)	Separación (m)	Modelo
	12 a 35 3 a 7	> 25	4 a 8	
	18 a 30 3 a 7	3 a 20	4 a 8	
	10 a 20 3 a 7	3 a 20	4 a 8	
	10 a 20 3 a 7	3 a 20	4 a 8	
	Luz de vuelo: 2 a 5	> 25	4 a 8	

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 arriostren 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

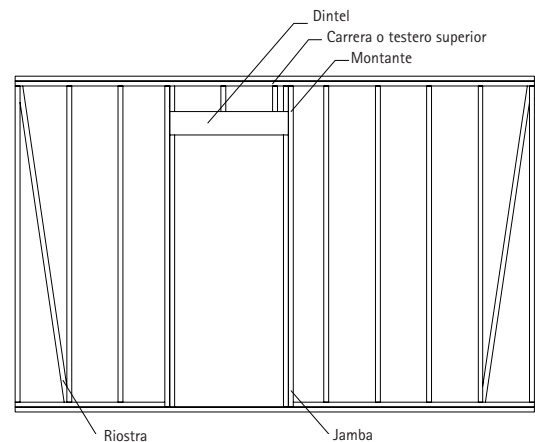
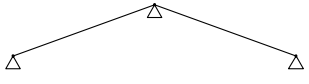
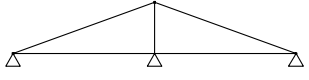
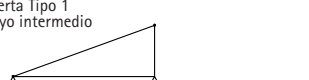


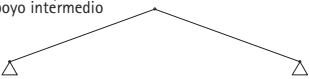
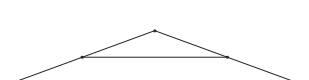
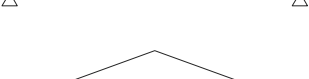


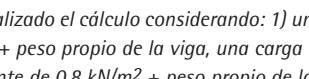
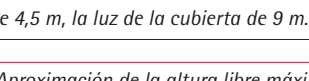


Tabla 0.6. Aproximación de la altura libre máxima (m) de los entramados de muros exteriores según escudrías, clase resistente y número de plantas del edificio ⁽¹⁾

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 escudrías, 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

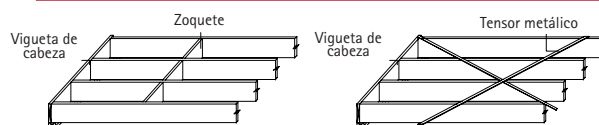


Tabla 0.8. Aproximación de la luz máxima permitida de pares del entramado de forjado para un canto determinado ⁽¹⁾ ⁽²⁾

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.

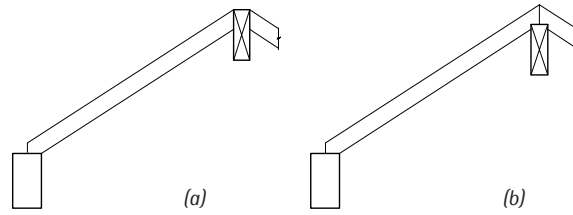


Tabla 0.9. Aproximación de la luz máxima permitida (desarrollo real) de pares de entramado de cubierta para un canto determinado ⁽¹⁾. Pendiente máxima 30° ⁽²⁾

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/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 $1/300$.

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.

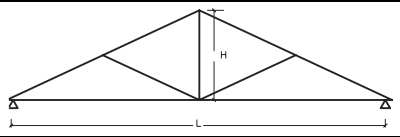
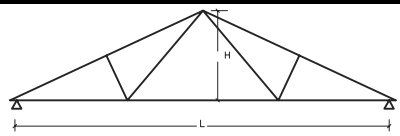
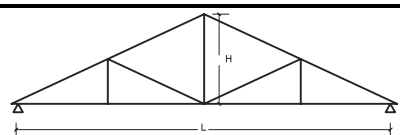
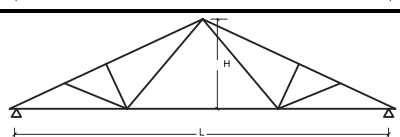
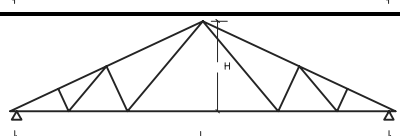
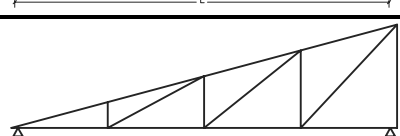
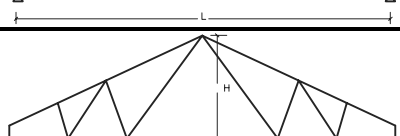
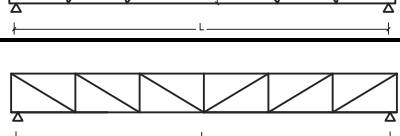
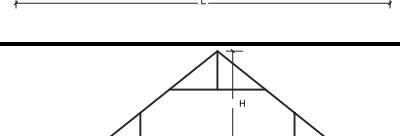
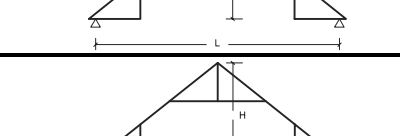
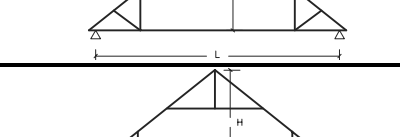
Para la comprobación y dimensionado de las viguetas prefabricadas en doble T se suelen emplear las tablas de cálculo que aporta el fabricante del producto, que normalmente están adaptadas a la normativa europea.

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 $1/300$.

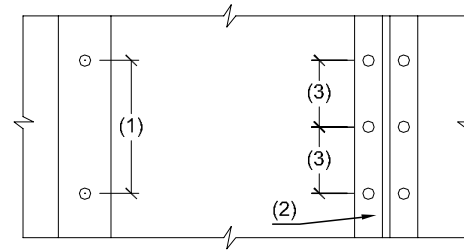
Estructura secundaria: Tableros estructurales.

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	C _{FL} -s1
	Aparcamientos y recintos de riesgo especial ⁽⁵⁾	B-s1,d0	B _{FL} -s1
	Espacios ocultos no estancos: patinillos, falsos techos (excepto los existentes dentro de las viviendas), suelos elevados, etc.	B-s3,d0	B _{FL} -s2 ⁽⁶⁾
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.

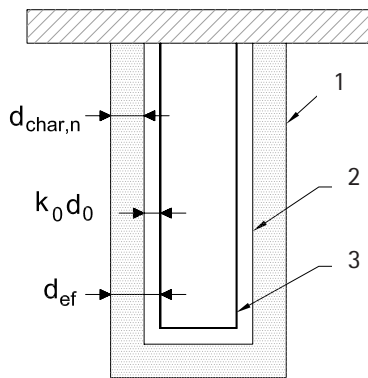
4 Sectores de incendio: Espacio del edificio separado de otras zonas del mismo por elementos constructivos delimitadores resistentes al fuego durante un periodo de tiempo determinado, en el interior del cual se puede confinar (o excluir) el incendio para que no se pueda propagar a (o desde) otra parte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

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

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

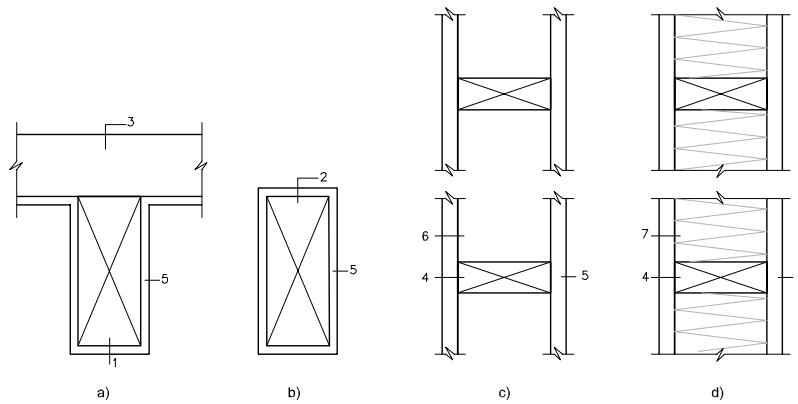
Debido a que la madera es un buen aislante térmico, cuando se emplean como elementos de protección tableros derivados de este material se considera que el tiempo de carbonización y tiempo de fallo coinciden, es decir, que el elemento estructural no comienza a carbonizarse hasta que no ha desaparecido 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.

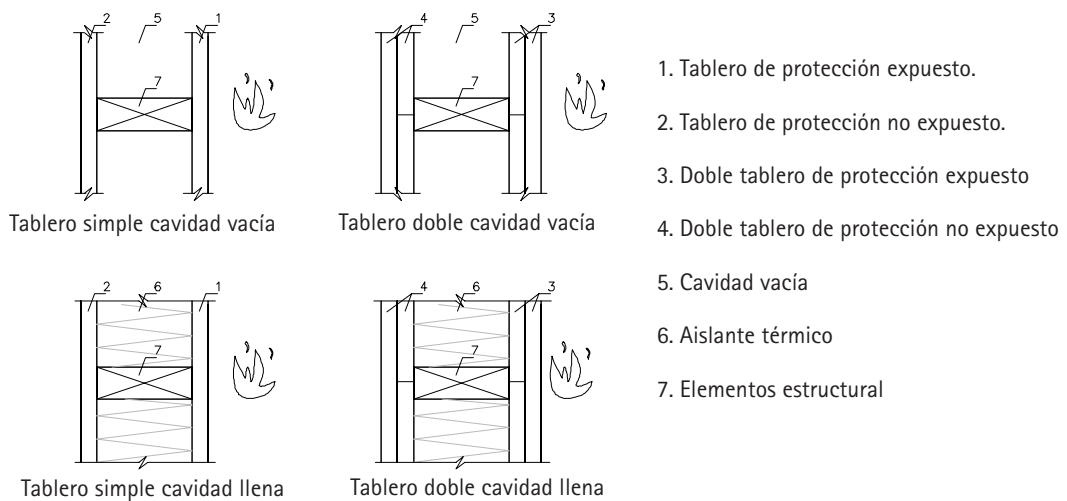
La Tabla 0.19. presenta, de forma aproximada, los tiempos de resistencia frente a la acción de incendio contemplados en la Norma EN 1995 -1-2. Esta Tabla considera solamente las situaciones en las que se exijan resistencia a la integridad y aislamiento inferiores a 60 minutos. Para resistencias mayores, 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	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		(EI 30)	(EI 30)	
	12	EI30	140	100	40	140	80	10	110	40	30	10	10	20	10	10	10	10	(EI 30)	Tablero expuesto	Tablero expuesto	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	180	160	140	170	140	120	140	110	Tableros ≥ 20	≥ 20	≥ 20	
	15	EI30	120	80	10	110	60	10	90	20	20	10	10	10	10	10	10	10	≥ 20	Tablero no expuesto	Tablero no expuesto	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	170	150	130	160	130	110	130	100	≥ 20	≥ 18	≥ 15	
	18	EI30	100	50	10	80	30	10	60	10	10	10	10	10	10	10	10	10				
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	150	140	110	140	120	90	110	80				
	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)
			EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	190	170	150	180	150	130	140	110	Tablero expuesto ≥ 18	(EI 30)	Tablero expuesto ≥ 18
		12	EI30	130	90	20	120	70	10	100	30	30	10	10	20	10	10	10	10	Tablero no expuesto ≥ 20	≥ 18	Tablero no expuesto $\geq 12,5$
			EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	180	160	140	160	140	120	130	100	≥ 20	≥ 18	$\geq 12,5$
15		EI30	110	60	10	100	40	10	70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	≥ 20	≥ 18	$\geq 12,5$	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	160	140	120	150	120	100	120	90	≥ 20	≥ 18	$\geq 12,5$	
18		EI30	80	30	10	60	10	10	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	≥ 20	≥ 18	$\geq 12,5$	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	150	130	110	130	110	90	100	70	≥ 20	≥ 18	$\geq 12,5$	
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	Tablero expuesto ≥ 15	Tablero expuesto ≥ 15	Tableros ≥ 15
		12,5	EI30	110	60	10	100	40	10	60	10	20	10	10	10	10	9	10	10	no expuesto ≥ 20	no expuesto ≥ 15	(EI60) Doble tableros $\geq 12,5$
			EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	170	150	120	150	130	100	120	90	≥ 20	≥ 18	$\geq 12,5$
	15	EI30	80	30	10	70	10	10	40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	≥ 20	≥ 18	$\geq 12,5$	
		EI60	-	-	-	-	-	-	-	-	150	130	110	140	110	90	100	80	≥ 20	≥ 18	$\geq 12,5$	

- (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			$\geq 30^{(4)}$
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		$\geq 45^{(5)}$	≥ 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:

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

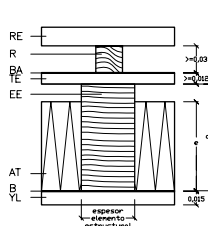
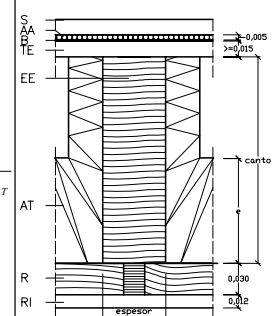
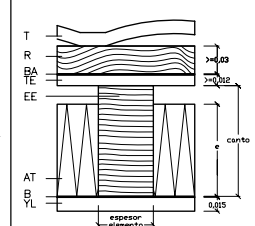
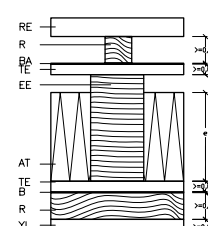
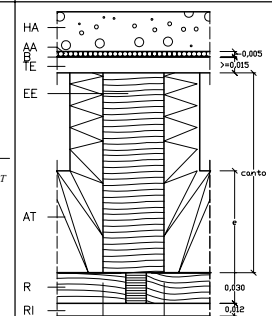
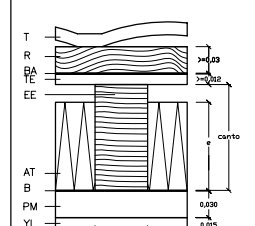
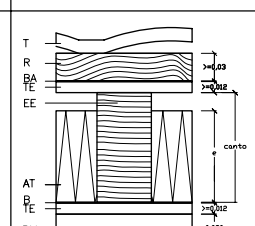
Siendo

- 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

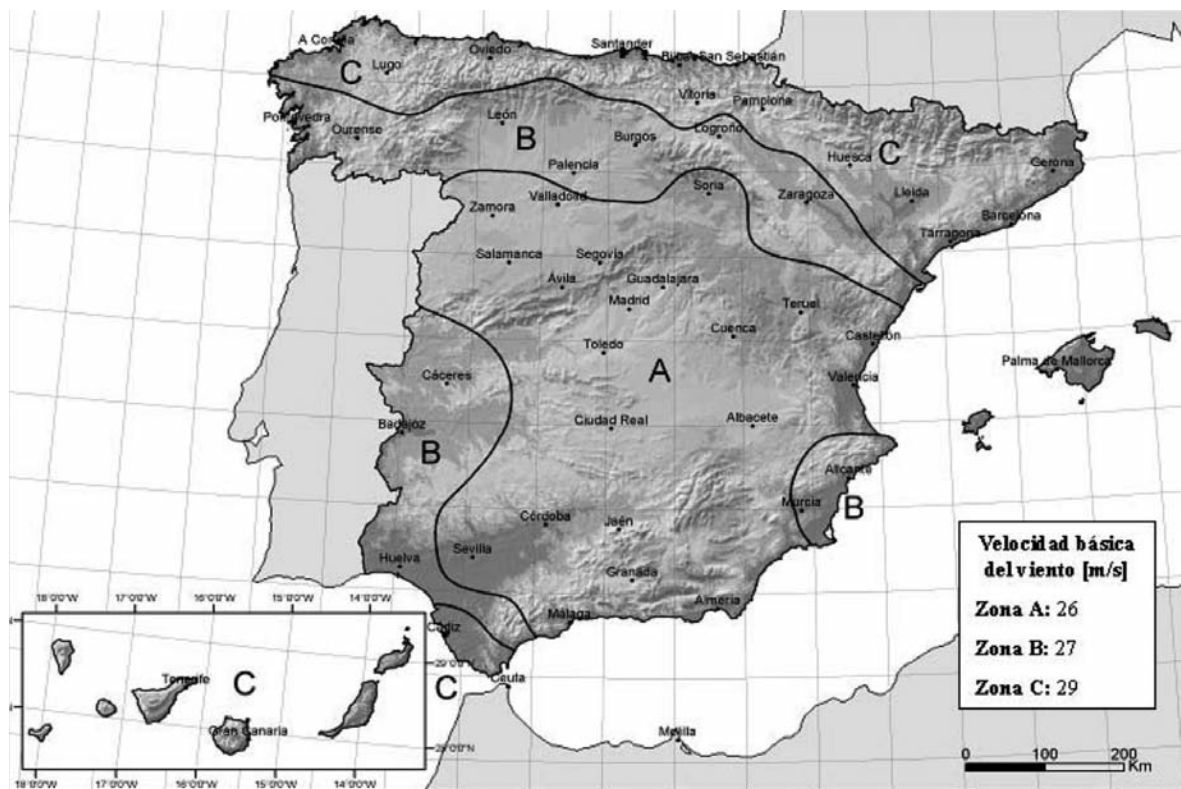
Tabla 0.31. Grado de exposición al viento

		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

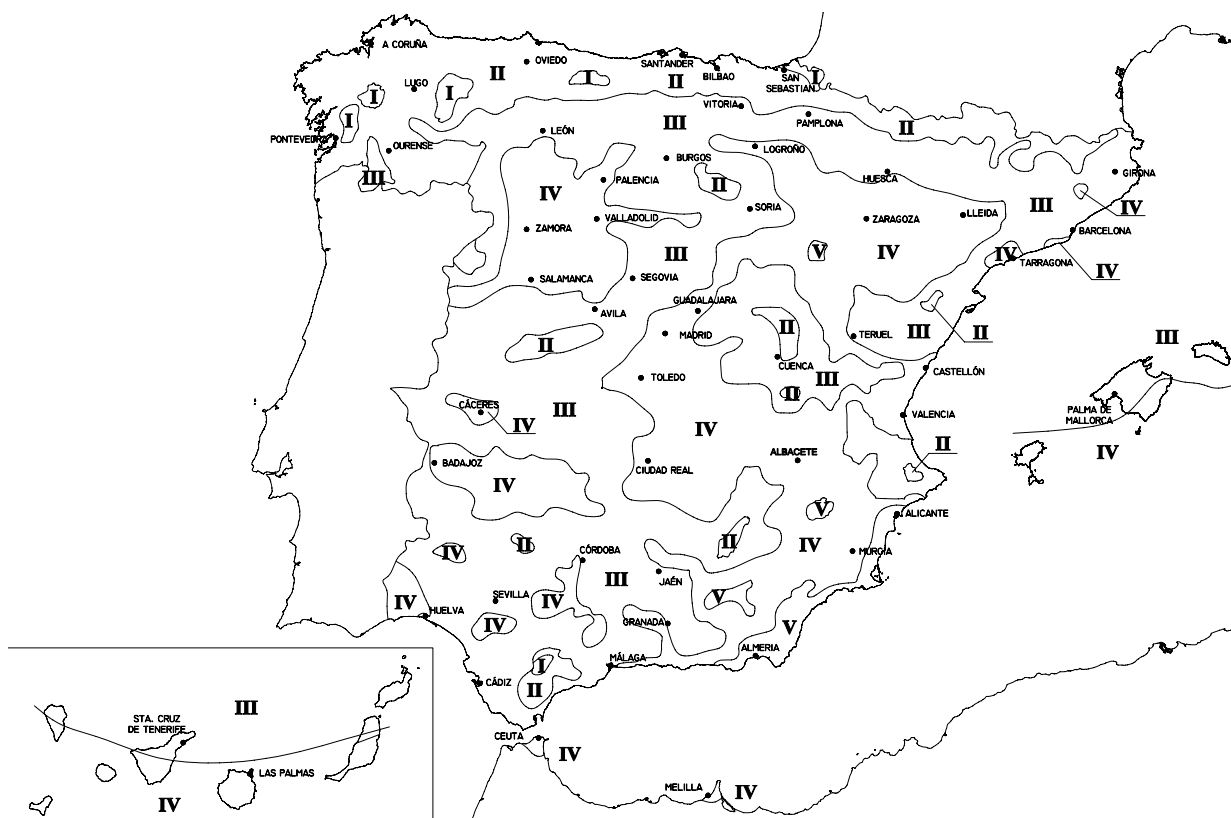


Tabla 0.32. Grado de impermeabilidad mínimo exigido a las fachadas

		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

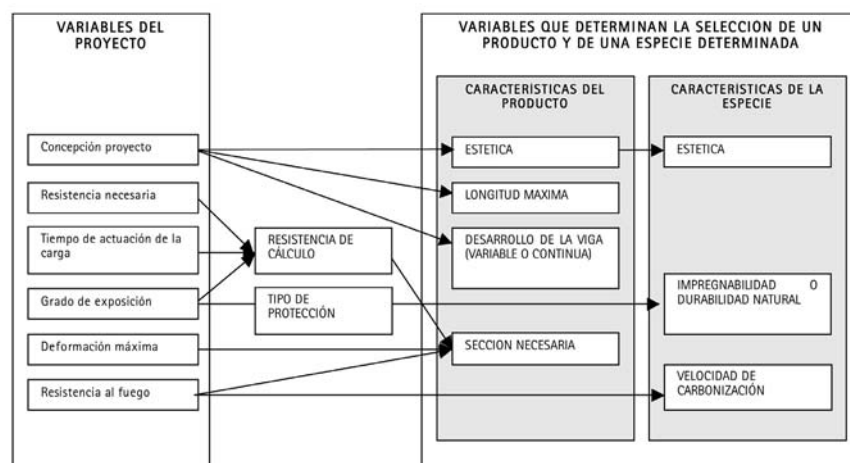


Tabla 0.33. Características de cada producto importantes para la toma de decisión del producto más adecuado para un proyecto determinado

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						550 < ρ ≤ 750	0,18	20
	MBH-LA1	interior	D-s2,d0 - D-s2,d2 ⁽²⁾							
	MBH-LA2	Exterior no expuesto						350 < ρ ≤ 550	0,14	12
	MBH-HLS1	Interior - altas resistencia								
MBH-HLS2	Exterior no expuesto - altas resistencia				200 < ρ ≤ 350	0,1	6			
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-S1 con una densidad mínima de 10 kg/m³ o al menos sobre productos de clase D-S2 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.):


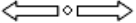


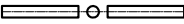
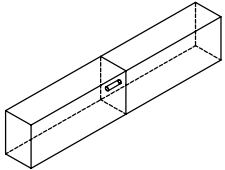
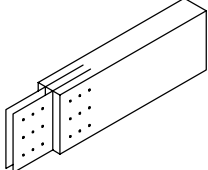
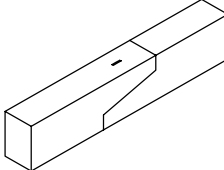
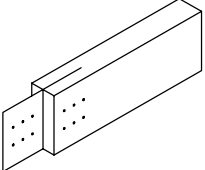
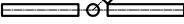
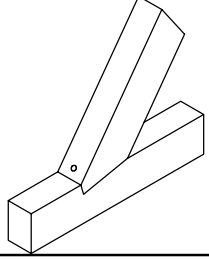
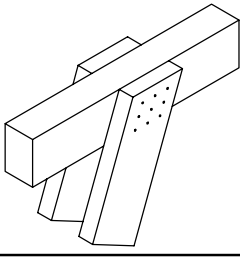
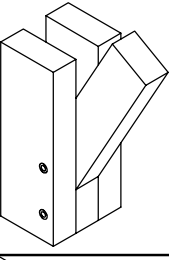
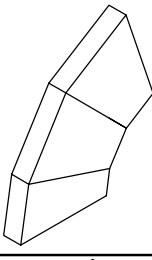

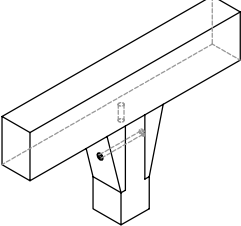
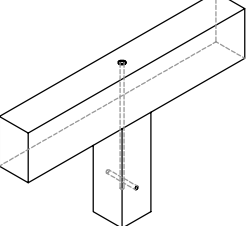
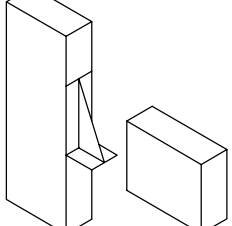
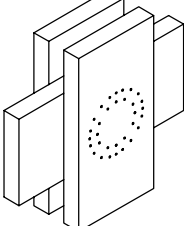
- Los tipos e intensidades de esfuerzos que deben transmitir (cargas estáticas, dinámicas, tracción, compresión, flexión, cizallamiento, etc).
- La geometría de las barras a unir (barras en un mismo eje, o encuentros con un ángulo).
- El tipo de sección de las barras a unir (sección rectangular, circular,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


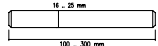
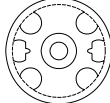

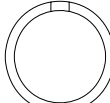
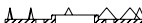
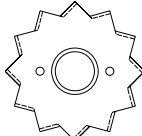

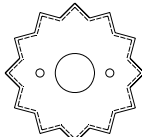
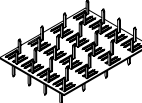
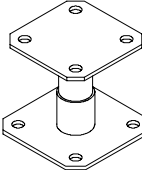
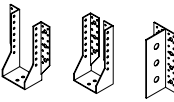
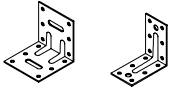
4.2.3.2. Tipos de unión entre elementos de grandes escudrias.

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. 	
Placas metálicas	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. Marcado 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 Marcado 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 marcado CE obligatorio y el nivel de conformidad.

Además del marcado 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

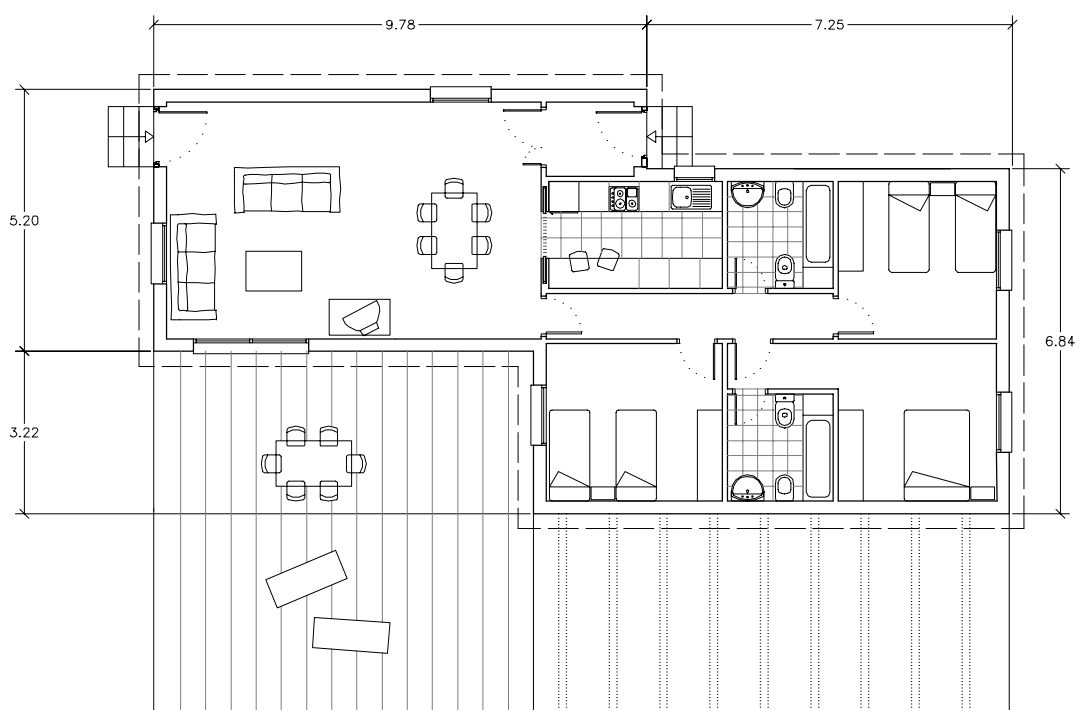
Cuando el fallo es por agotamiento de la sección en condiciones de fatiga.

(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.

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)

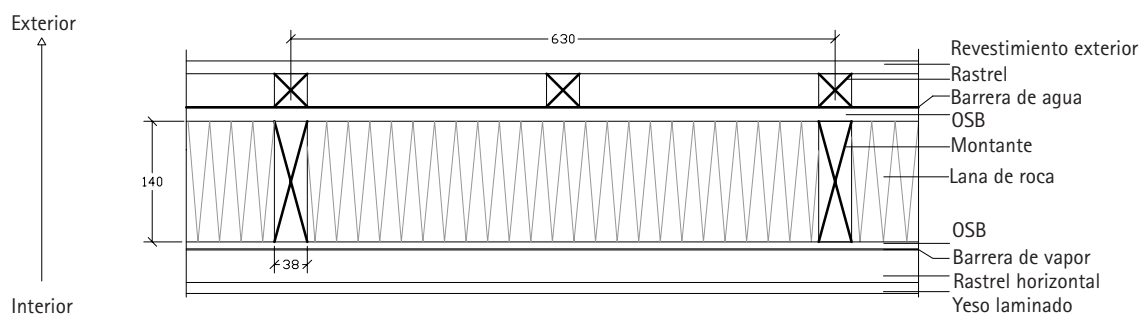
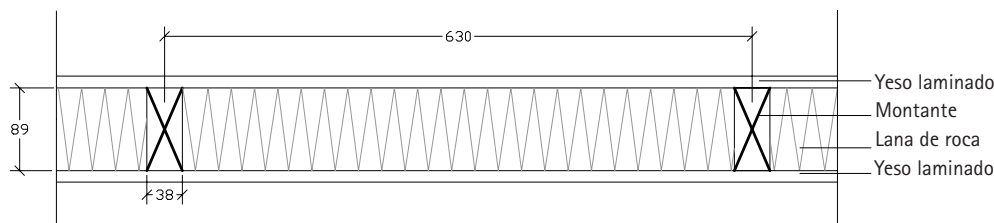


Figura B.3: Vista en planta de la solución constructiva de tabiques (cotas en mm)



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 $D_{2m,nT,Atr}$ dBA	Parte ciega 100% $R_{A,tr}$ dBA	Parte ciega ≠100% $R_{A,tr}$ dBA	Huecos Porcentaje de huecos $R_{A,tr}$ de 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%
$D_{2m,nT,Atr}=30$	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.

$$0,66 \geq \frac{1}{0,70R_{AT} + 0,83} \Rightarrow R_{AT} \geq 0,98 \Rightarrow \frac{e_{ais}}{\lambda_{ais}} \geq 0,98$$

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

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

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

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

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

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.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

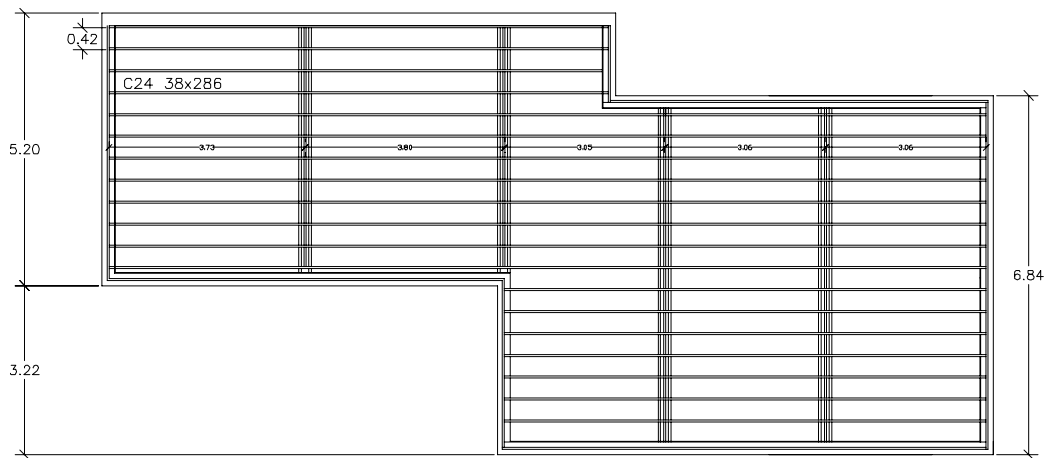
No hay exigencia acústica para el forjado.

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 $U_{S_{lim}}$ 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

$$\left. \begin{array}{l} \lambda_{ais} = 0,03 \text{ W/mK} \Rightarrow 0,261 \times 85 - 16,3 = 5,9^\circ \text{C} \\ \lambda_{ais} = 0,05 \text{ W/mK} \Rightarrow 0,254 \times 85 - 16,5 = 5,1^\circ \text{C} \end{array} \right\} \geq 3,7^\circ \text{C} \Rightarrow \text{B. vapor}$$

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.*

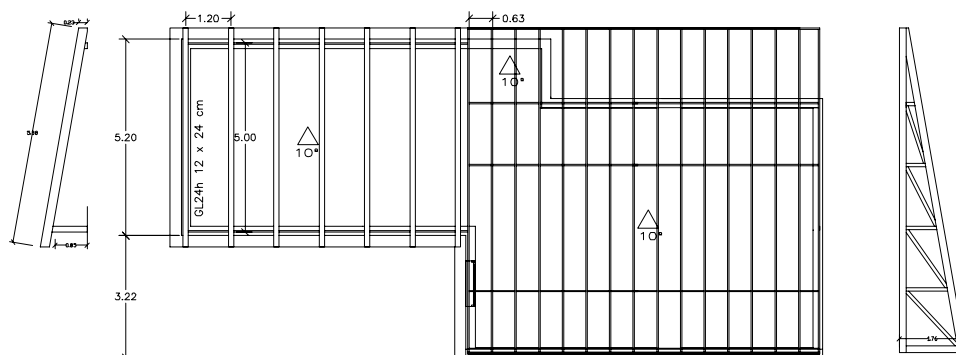
En la Tabla 0.10. se observa que el diseño de cercha elegida, con espesores de los elementos estructurales de 38 mm y separación entre cerchas de 0,63 m, permite luces de hasta 10 metros. En el caso estudiado, la luz máxima será de 8,42 m pero con un apoyo intermedio, por lo que este tipo de cubierta 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 ($t_{char}=21 + 21 \times 0,5=31,5$ 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.

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

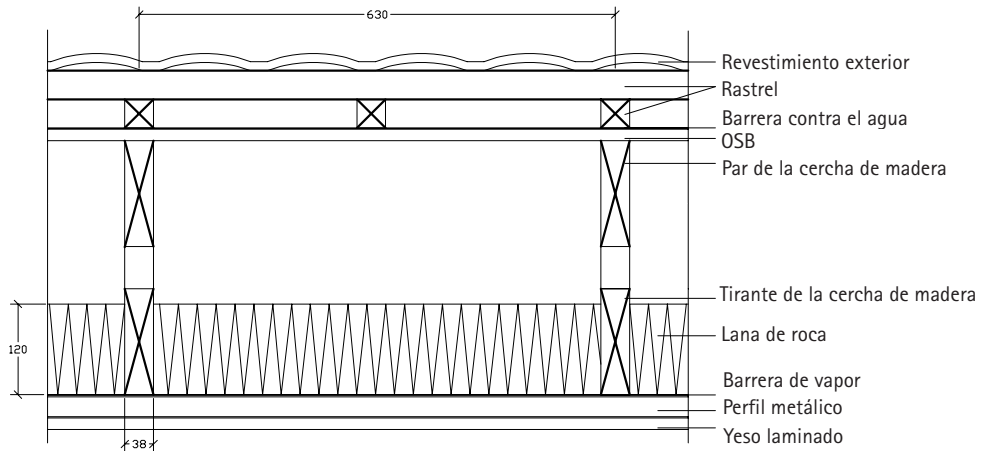
$$e_{ais} \geq 0,109m$$

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				
			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 $\lambda_{ais}=0,04 \text{ W/mK}$ se interpola el resultado obtenido en el caso de $\lambda_{ais}=0,03$ y $0,05 \text{ W/mK}$

$$\lambda_{ais} = 0,03 \text{ W/mK} \Rightarrow 0,017 \times 85 + 8,1 = 9,5^\circ \text{C}$$

$$\lambda_{ais} = 0,05 \text{ W/mK} \Rightarrow 0,018 \times 85 + 7,5 = 9,0^\circ \text{C}$$

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

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) 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.

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

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

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