

Capítulo 1

Productos de madera para la construcción

Documento de aplicación del CTE



GUÍA DE CONSTRUIR CON MADERA



Edición:

Construir con Madera (CcM)

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

CONFEMADERA

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

www.confemadera.es

Autores:

FRANCISCO ARRIAGA MARTITEGUI

MIGUEL ESTEBAN HERRERO

GUILLERMO ÍÑIGUEZ GONZÁLEZ

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes
Universidad Politécnica de Madrid

Dirección y coordinación:

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

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

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

Créditos fotográficos:

Fotografía 1 y 3: los autores

Resto de fotografías: JUAN I. FERNÁNDEZ-GOLFÍN SECO

Dibujos y esquemas: los autores

ISBN: 978-84-693-1289-6

Depósito legal: M-17443-2010

Derechos de la edición: CONFEMADERA

© de los textos: los autores

Con la financiación del

ÍNDICE

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

INTRODUCCIÓN

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

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

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

MADERA EN ROLLO ESTRUCTURAL

DEFINICIÓN

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



APLICACIONES

Las aplicaciones estructurales más habituales son las siguientes:

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

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

MATERIALES

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

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

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

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

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

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

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

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

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

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

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

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

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

Clasificación visual

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

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

Comentarios:

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

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



Clases resistentes

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

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

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

Durabilidad

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

Comportamiento al fuego

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

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

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

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

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

MARCADO CE

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

ESPECIFICACIONES

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

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

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

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

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

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

BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

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

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

NORMATIVA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MADERA ASERRADA ESTRUCTURAL

DEFINICIÓN

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



APLICACIONES

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

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

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

MATERIALES

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comentarios:

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

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

Dimensiones

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

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

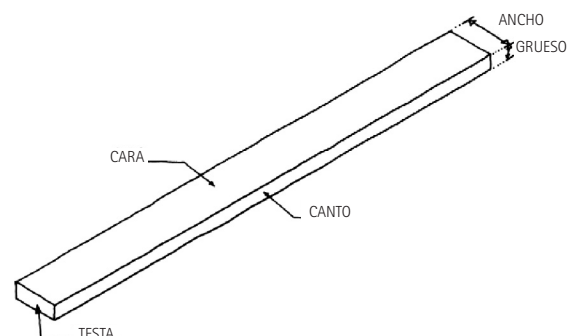


Figura 1. Nomenclatura de las piezas de madera aserrada.

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

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

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

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

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

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

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

XX: medidas más frecuentes en almacén.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comentarios:

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

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

Tolerancias

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

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



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

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

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

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

Comentarios

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

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

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

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

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

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

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

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

Normas de clasificación visual estructural

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

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

Comentarios:

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

Normas españolas de clasificación visual

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

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

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

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

Clases resistentes

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

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

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

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

	Especies coníferas													Especies frondosas									
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70			
Propiedades resistentes en N/mm²																							
Flexión	f _{m,k} 14 16 18 20 22 24 27 30 35 40 45 50 18 24 30 35 40 50 60 70																						
Tracción paralela	f _{t,0,k} 8 10 11 12 13 14 16 18 21 24 27 30 11 14 18 21 24 30 36 42																						
Tracción perpendicular	f _{t,90,k} 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,4 0,6 0,6 0,6 0,6 0,6 0,6 0,6 0,6																						
Compresión paralela	f _{c,0,k} 16 17 18 19 20 21 22 23 25 26 27 29 18 21 23 25 26 29 32 34																						
Compresión perpendicular	f _{c,90,k} 2,0 2,2 2,2 2,3 2,4 2,5 2,6 2,7 2,8 2,9 3,1 3,2 7,5 7,8 8,0 8,1 8,3 9,3 10,5 13,5																						
Cortante	f _{v,k} 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,0 4,0 4,0 4,0 4,0 4,0 3,4 4,0 4,0 4,0 4,0 4,5 5,0																						
Propiedades de rigidez en kN/mm²																							
Módulo elast. paralelo medio	E _{0,mean} 7 8 9 9,5 10 11 11,5 12 13 14 15 16 16 9,5 10 11 12 13 14 17 20																						
Módulo elast. paralelo 5º percentil	E _{0,05} 4,7 5,4 6,0 6,4 6,7 7,4 7,7 8,0 8,7 9,4 10,0 10,7 8,0 8,5 9,2 10,1 10,9 11,8 14,3 16,8																						
Módulo elast. perpendicular medio	E _{90,mean} 0,23 0,27 0,30 0,32 0,33 0,37 0,38 0,40 0,43 0,47 0,50 0,53 0,63 0,67 0,73 0,80 0,86 0,93 1,13 1,33																						
Módulo de cortante medio	G _{mean} 0,44 0,50 0,56 0,59 0,63 0,69 0,72 0,75 0,81 0,88 0,94 1,00 0,59 0,62 0,69 0,75 0,81 0,88 1,06 1,25																						
Densidad en kg/m³																							
Densidad característica	p _k 290 310 320 330 340 350 370 380 400 420 440 460 475 485 530 540 550 620 700 900																						
Densidad media	p _{mean} 350 370 380 390 410 420 450 460 480 500 520 550 570 580 640 650 660 750 840 1080																						

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

Asignación de la clase resistente

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

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

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

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

Durabilidad

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

Comportamiento al fuego

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

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

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

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

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

Propiedades térmicas

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

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

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

λ conductividad térmica, en W/m K, o la resistencia térmica R, en m²·K/W;
 c_p calor específico, en J/kg K;
 μ factor de resistencia a la difusión del vapor de agua.

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

MARCADO CE

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

ESPECIFICACIONES

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

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

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

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

BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

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

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

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

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

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

NORMATIVA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

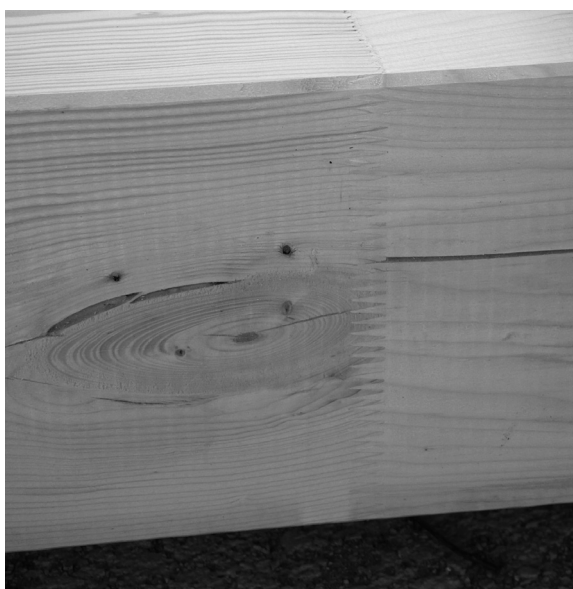
UNE-EN14081-1:2006. *Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales*.

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

MADERA EMPALMADA ESTRUCTURAL

DEFINICIÓN

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



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

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

APLICACIONES

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

Los adhesivos utilizados para la unión de empalme por enta-

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

MATERIALES

Madera. Especies y calidades

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

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

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

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

Adhesivos

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

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

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

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

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

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

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

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

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

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

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

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

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

Durabilidad

Respecto de la durabilidad de estos materiales se aplicarán

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

Comportamiento al fuego

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

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

Acabado

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

Contenido de humedad

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

TIPOS ESTRUCTURALES

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

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

MARCADO CE

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

ESPECIFICACIONES

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

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

gama de dimensiones comerciales.

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

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

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

BIBLIOGRAFÍA

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

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

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

NORMATIVA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

MADERA ASERRADA ENCOLADA

DEFINICIÓN

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

Comentarios:

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

APLICACIONES

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

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

MATERIALES

Madera

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

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

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

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

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

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

Calidad o clase resistente de la madera:

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

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

Contenido de humedad:

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

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

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

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

Comentarios:

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

Adhesivos

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

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

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

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

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

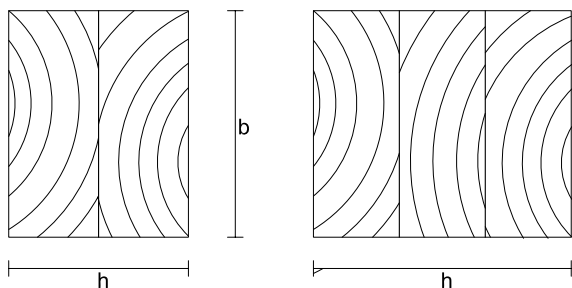
Tabla 1. Secciones transversales de dúos.

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

Tabla 2. Secciones transversales de tríos.

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

Figura 1. Secciones de Dúo y Tríó.

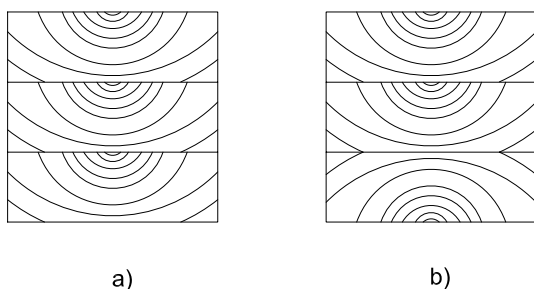


Generalmente, el grueso, t , la anchura, b , y el área de la sección transversal de las láminas cepilladas, A , cumplen las siguientes condiciones:

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

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

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



Comentarios:

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

La norma francesa NF B52-010 limita el grueso de lámina a 80 mm y la anchura a 260 mm. Igualmente indica que las láminas externas se dispondrán en la sección con el corazón hacia fuera.

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

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

	Tolerancia	
	$\leq 100 \text{ mm}$	$\pm 1 \text{ mm}$
Dimensiones sección transversal	$> 100 \text{ mm}$	$\pm 1,5 \text{ mm}$
Máximo descuadre de la sección transversal respecto al ángulo recto		1:50
Longitud de una pieza recta	$l \leq 10 \text{ m}$	$\pm 3 \text{ mm}$
	$l > 10 \text{ m}$	$\pm 5 \text{ mm}$

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

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

	k
Perpendicular a la fibra	0,0025
Paralelo a la fibra	0,0001
Los valores son válidos para madera de coníferas y chopo con un contenido de humedad comprendido entre el 6 % y el 25 %. El coeficiente unitario de deformación k perpendicular a la fibra es un valor medio entre la deformación tangencial y radial.	

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

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

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

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

Comentarios:

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

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

Durabilidad

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

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

Generalmente este producto se comercializa sin tratamiento químico de protección.

Comportamiento al fuego

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

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

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

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

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

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

Acabado

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

Contenido de humedad

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

TIPOS ESTRUCTURALES Y PREDIMENSIONADO

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

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

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

FABRICACIÓN Y MONTAJE

Fabricación

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

Comentarios:

La norma francesa NF B52-010 recoge los requisitos que deben reunir los locales para la fabricación, los equipos y las condiciones de la madera. La integridad de las líneas de cola sigue un planteamiento similar al que se utiliza en la madera laminada encolada. Utiliza los métodos de ensayo de cortante en línea de cola (UNE-EN 392) y delaminación (UNE-EN 391) e incluye una tabla de especificaciones para los resultados de ensayo con unos criterios similares a los de la norma de madera laminada encolada UNE-EN 386. Además, incluye especificaciones para la resistencia de los empalmes dentados.

Almacenaje, transporte y montaje

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

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

MARCADO CE

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

ESPECIFICACIONES

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

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

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

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

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

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

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

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

BIBLIOGRAFÍA

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

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

NORMATIVA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

UNE-EN 386:2002. Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación.

UNE-EN 391:2002 (+Erratum 2004). Madera laminada encolada. Ensayo de delaminación de líneas de adhesivo.

UNE-EN 392:1995. Madera laminada encolada. Ensayo de esfuerzo cortante en líneas de adhesivo.

MADERA LAMINADA ENCOLADA PARA USO ESTRUCTURAL

DEFINICIÓN

Son elementos estructurales formados por el encolado de láminas de madera en dirección paralela al eje de las láminas. Según la norma UNE-EN 14080 las láminas tendrán un espesor comprendido entre 6 y 45 mm, y podrán utilizarse maderas de especies coníferas o chopo tratadas o no frente a agentes biológicos.



Comentarios:

En el proyecto de norma prEN 14080 se define la madera laminada encolada como una pieza estructural compuesta por al menos dos láminas encoladas en dirección paralela al eje de la pieza. También se observa que debido al cepillado el grueso de las láminas externas puede ser algo inferior a las internas.

APLICACIONES

La madera laminada encolada se utiliza como elemento estructural para la construcción. Las estructuras de madera laminada encolada resultan especialmente indicadas en las siguientes condiciones:

- Grandes luces libres en edificios de uso público, comercial o deportivo. Luces de 30 a 70 m.
- Luces moderadas (8 a 14 m) en construcciones mixtas de madera aserrada y laminada, para los elementos principales.
- Estructura de cubierta de peso propio reducido.
- Cuando se requiere un aspecto natural y cálido.
- Cuando se precisa una resistencia a los agentes químicos agresivos.

MATERIALES

Madera

- Especies

De acuerdo con las normas UNE-EN 14080 y UNE-EN 386, las maderas aptas para la fabricación de este producto serán las siguientes: falso Abeto (*Picea abies*), Abeto (*Abies alba*); Pino silvestre (*Pinus sylvestris*); Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii*); Pino Laricio (*Pinus nigra*); Alerce (*Larix decidua*); Pino marítimo o pinaster (*Pinus pinaster*); Chopo (*Populus robusta*, *Populus alba*); Pino radiata (*Pinus radiata*); Picea Sitka (*Picea sitchensis*); Hemlock del Oeste (*Tsuga heterophylla*), Cedro Rojo (*Thuja plicata*) y Cedro Amarillo (*Chamaecyparis nootkatensis*).

La especie más utilizada en Europa es la *Picea abies*, que vulgarmente se conoce como abeto, abeto rojo, picea o falso abeto. El pino silvestre es la siguiente especie más empleada, principalmente cuando se requiere un tratamiento en profundidad, aplicable para clases de uso 3.2, 4 y 5.

En España se emplean además, algunas especies frondosas como el Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), el Roble (*Quercus robur* y *Quercus petraea*), el castaño (*Castanea sativa*) y en menor medida el Fresno (*Fraxinus excelsior*), el Haya (*Fagus sylvatica*) y el Iroko (*Chlorophora excelsa* y *Chlorophora regia*). Actualmente se están llevando a cabo acciones para su inclusión en la norma.

- Calidad o clase resistente de la madera

La madera deberá estar clasificada de acuerdo con la norma UNE-EN 14081-1. El fabricante puede recurrir a uno de los dos sistemas siguientes: utilizar madera clasificada estructuralmente y marcada con la clase resistente correspondiente (según UNE-EN 338); o, utilizar madera sin clasificar y realizar la clasificación estructural en la propia fábrica.

- Contenido de humedad

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

- Madera no tratada: durante el armado deberá estar comprendido entre el 6 y el 15%. (Salvo especificaciones del fabricante del adhesivo)
- Madera tratada: durante el armado debe estar comprendido entre el 11 y 18%.

En ambos casos la variación de contenido de humedad de las láminas dentro de una misma pieza no excederá del 5%.

Comentarios:

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

Adhesivos

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

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

Los adhesivos más utilizados en la actualidad son los siguientes:

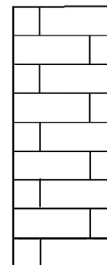
- Melamina-Urea-Formaldehído (MUF), de color translúcido y resistente a la humedad y al fuego.
- Resorcina-Fenol-Formaldehído (RPF), de color marrón oscuro, resistente a la humedad y al fuego. Permite tiempos de trabajo algo mayores que los adhesivos MUF. Ha sido desplazado por la melamina debido a razones medioambientales de sus residuos y emisiones de formaldehído durante la fabricación.
- Poliuretano (PU), de color transparente.

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

Las dimensiones de este producto no están normalizadas en una serie de tamaños, sino que cada fabricante tiene dimensiones ligeramente diferentes para el ancho y espesor de lámina.

La gama de anchuras habituales es la siguiente: 80, 100, 110, 130, 140, 160, 180, 200 y 220 mm. Por lo general, la exigencia de resistencia al fuego de 30 minutos obliga a un ancho mínimo en madera de coníferas del orden de 90 a 100 mm. En cualquier caso esto deberá ser comprobado por el cálculo.

Figura 1. Pieza de ancho elevado con láminas formadas por dos tablas.



Si fuera necesaria una anchura superior a 220 mm, la solución más habitual es disponer dos piezas juntas. En caso de precisar una pieza única de mayor anchura deberá recurrirse a acoplar en cada lámina dos tablas, contrapeando las juntas al tresbolillo, figura 1.

En elementos curvos, el espesor máximo de lámina está también limitado por el radio de curvatura r de las láminas y por la resistencia característica a flexión de la unión dentada. Esta resistencia tiene que cumplir un mínimo que es función de la clase resistente. Así, para las clases resistentes: GL24, GL28, GL32 y GL36 el espesor máximo de lámina deberá ser $r/185$, $r/177$, $r/169$ y $r/163$, respectivamente.

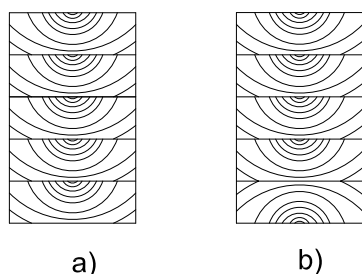
La altura máxima de la pieza varía con las características particulares de cada fabricante, pero suele estar en torno a 2.400 mm. La longitud máxima en pieza recta es del orden de 42 m. La anchura y altura envolventes del vehículo de transporte se limitan a unos 4,50 m. Para obtener luces mayores se puede recurrir a tipos estructurales de celosía o arcos articulados.

Los valores nominales de anchura, altura y longitud de las piezas se ajustarán a las tolerancias especificadas en la norma UNE-EN 390.

- anchura de la sección transversal: $\pm 2 \text{ mm}$
- altura de la sección transversal:
 - $h \leq 400 \text{ mm}$ $\pm 4 / -2 \text{ mm}$
 - $h > 400 \text{ mm}$ $(+ 1 / -0,5) \%$
- longitud de un elemento recto:
 - $l \leq 2 \text{ m}$ $\pm 2 \text{ mm}$
 - $2 \text{ m} > l \leq 20 \text{ m}$ $(\pm 0,1) \%$
 - $l > 20 \text{ m}$ $\pm 20 \text{ mm}$

Si el contenido de humedad es diferente al de referencia (12 %) las dimensiones deberán corregirse con los coeficientes que indica la norma anteriormente citada. En coníferas y chopo y para humedades comprendidas entre el 6 y el 25 %

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



se puede emplear el coeficiente de contracción unitario siguiente: 0,0025 en dirección perpendicular a la fibra y 0,0001 en dirección paralela a la fibra. El valor correspondiente a la dirección perpendicular a la fibra es la media entre el coeficiente tangencial y radial.

Los ángulos de la sección transversal no deben desviarse respecto a un ángulo recto en más de 1:50.

Todas las láminas deberán tener el corazón hacia el mismo lado, figura 2a, con la excepción de las piezas destinadas a la clase de servicio 3 en las que las láminas extremas en cada lado deberán tener el corazón mirando hacia el exterior, figura 2b.

PROPIEDADES

Clases resistentes

El sistema de clases resistentes es el definido en la norma UNE-EN 1194 que distingue 8 clases resistentes: 4 cuando la composición es homogénea (todas las láminas son de la misma clase resistente) y otras 4 cuando es combinada (las láminas extremas son de una clase resistente superior), que se exponen en las tablas 1 y 2.

Tabla 1: Clases resistentes de madera laminada encolada homogénea, según la norma UNE-EN 1194.

CLASES RESISTENTES	COMPOSICIÓN HOMOGÉNEA			
Valores característicos N/mm ² (densidad en kg/m ³)	GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Resistencia flexión	24	28	32	36
Resistencia tracción				
- paralela	16,5	19,5	22,5	26
- perpendicular	0,4	0,45	0,5	0,6
Resistencia compresión				
- paralela	24	26,5	29	31
- perpendicular	2,7	3,0	3,3	3,6
Resistencia cortante	2,7	3,2	3,8	4,3
Módulo de elasticidad				
- paralelo				
- medio	11.600	12.600	13.700	14.700
- característico	9.400	10.200	11.100	11.900
- perpendicular	390	420	420	490
Módulo de cortante	720	780	850	910
Densidad característica (kg/m ³)	380	410	430	450
Clase resistente requerida en las láminas	C24	C30	C40	-

Durabilidad

La estructura deberá tener una durabilidad al menos igual a la vida de servicio considerada para las condiciones de uso correspondientes. Esta durabilidad puede garantizarse por dos sistemas:

- Elección de una especie de madera con suficiente durabilidad natural, según la norma UNE-EN 350-2.

Tabla 2: Clases resistentes de madera laminada encolada combinada, según la norma UNE-EN 1194.

CLASES RESISTENTES	COMPOSICIÓN COMBINADA			
Valores característicos N/mm ² (densidad en kg/m ³)	GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c
Resistencia flexión	24	28	32	36
Resistencia tracción				
- paralela	14	16,5	19,5	22,5
- perpendicular	0,35	0,4	0,45	0,5
Resistencia compresión				
- paralela	21	24	26,5	29
- perpendicular	2,4	2,7	3,0	3,3
Resistencia cortante	2,2	2,7	3,2	3,8
Módulo de elasticidad				
- paralelo				
- medio	11.600	12.600	13.700	14.700
- característico	9.400	10.200	11.100	11.900
- perpendicular	390	390	420	460
Módulo de cortante	590	720	780	850
Densidad característica (kg/m ³)	350	380	410	430
Clase resistente requerida en las láminas	C24/C18	C30/C24	C40/C30	-

En esta línea de actuación en el centro de Europa se ha recurrido a la utilización de especies de madera de mayor durabilidad natural, que mantengan su aptitud para el laminado (como es el caso del alerce, género *Larix*). Más frecuente es el empleo de madera de "sacrificio" consistente en la protección de las piezas estructurales con un recubrimiento exterior construido con entablados de madera durable, que se reponga con facilidad al final de su vida útil.

- Tratamiento químico de protección adecuado a la clase de uso en la que se encuentre situada la estructura de acuerdo con el proyecto de norma prEN 15228, siempre que la madera sea suficientemente impregnable.
En general para clases de uso 1 y 2 el tratamiento aplicado a la madera laminada consiste en un tratamiento superficial mediante pulverizado o pincelado. Para las clases de uso 3 y 4 se recurre a un tratamiento en profundidad mediante autoclave. Lo más frecuente es el tratamiento de las láminas antes del encolado, utilizando sales hidrosolubles. El tratamiento deberá estar documentado de acuerdo con lo establecido al respecto en el Capítulo 13 del DB-SE-M, con indicación expresa de la clase de uso correspondiente.

En cualquier caso es importante señalar la importancia de que el diseño constructivo de la estructura evite la exposición innecesaria a la intemperie y la posibilidad de retención de agua. Un correcto diseño puede rebajar la clase de uso en la que trabajará el elemento (especialmente desde la clase de uso 3.2 a la 3.1), disminuyendo o evitando totalmente la intensidad del tratamiento químico protector. Para más detalles sobre este particular se recomienda la consulta del Documento de Aplicación de Durabilidad.

Comportamiento al fuego

Según la norma UNE-EN 14080, la clasificación de reacción al fuego de la madera laminada encolada es la D-s2-d0 del sistema de Euroclases, siempre que cumpla las siguientes condiciones:

- Densidad media mínima: 380 kg/m³.
- Espesor total mínimo de la pieza: 40 mm.

Si el fabricante definiera una clase de reacción al fuego dife-

rente, tendría que aportar el correspondiente informe de ensayo y de clasificación realizado de acuerdo con la norma UNE-EN 13501-1.

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

En madera de coníferas una pieza de madera laminada encolada trabajando a flexión con 3 caras expuestas al fuego (típica configuración de una vigueta o correa vista) requiere una anchura mínima de 90 a 100 mm para alcanzar la resistencia R30. En cualquier caso esto deberá comprobarse mediante el cálculo.

MARCADO CE

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE es la UNE-EN 14080, que entró en vigor el 1 de abril de 2008. Desde dicha fecha y hasta el final del periodo de coexistencia (1 de abril de 2010) el marcado CE de la madera aserrada es voluntario pero no obligatorio.

ESPECIFICACIONES

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

- **Especie y propiedades mecánicas:** Normalmente no es necesario llegar a especificar la especie de madera para la fabricación de la madera laminada encolada. En su caso, se definirá por la denominación comercial "oficial" y si es posible se añadirá el nombre botánico para mayor precisión. La especie más utilizada en Europa es el abeto (*Picea abies* L. Karst). Esta especie no es impregnable por lo que cuando es necesario un tratamiento de protección en profundidad se recurre en la mayoría de los casos al pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.).

Respecto de las propiedades mecánicas, al tratarse de un producto industrializado es suficiente con especificar la clase resistente elegida entre las existentes en la norma UNE-EN 1194. La clase más habitual es la GL24h y en algunas ocasiones la GL28c.

- **Fabricación:** Deberá especificarse en el proyecto que el fabricante debe acreditar que la fabricación ha sido realizada de

acuerdo con las especificaciones de fabricación definidas en la norma UNE-EN 386.

- **Dimensiones nominales:** Serán las deducidas a partir del cálculo para las piezas de madera y los elementos de conexión y deberán cumplir las tolerancias contempladas en la norma UNE-EN 390. Si es posible, deberían ajustarse a una gama de dimensiones comerciales.
- **Tratamiento preventivo:** Deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso correspondiente. Cuando sea necesario un tratamiento en profundidad (clases de uso 3.2, 4 y 5) deberá utilizarse una madera impregnable. El tratamiento deberá estar documentado de acuerdo con lo establecido al respecto en el Capítulo 13 del DB-SE-M. Para más información sobre tratamientos, durabilidad natural de maderas y calificación de su impregnabilidad se recomienda consultar el Documento de Aplicación de Durabilidad.
- **Comportamiento al fuego:** La estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio deberá ser justificada mediante cálculo de acuerdo con los principios del DB-SI o de acuerdo con la norma UNE-EN1995-1-2, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Si es necesario una mejora de la reacción al fuego (que además aumenta ligeramente la estabilidad al fuego) se pueden prescribir productos para mejorar su comportamiento al fuego. Las propiedades y garantías de los productos deben ser aportadas por el fabricante.
- **Almacenaje, transporte y montaje:** Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos.

En el caso de arcos, pórticos y otras estructuras similares deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical.

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

BIBLIOGRAFÍA

- Argüelles, R., Arriaga, F. y Martínez C., J.J. (2000). *Estructuras de madera. Diseño y cálculo*. Editorial AITIM, Madrid. 663 págs.
- Arriaga, F., González, M.A., Medina, G., Ortiz, J., Peraza, F., Peraza, J.E. y Touza, M. (1994) *Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración*. Editorial Aitim, Madrid. 572 pp.
- Daguzé, D. (1992). *Conception des structures en bois lamellé collé*. Ed. Eyrolles, Paris. 192 págs.
- García, L., Guindeo, A., Peraza, C., De Palacios, P. y García, F. (2002). *La madera y su tecnología*. Editorial: Fundación Conde del Valle de Salazar, Mundi Prensa y AITIM. Madrid, 322 págs.
- Laner, F. (1994). *Il legno lamellare. Il progetto*. Ed. Francesco Lonati. Habitat Legno s.p.a. Edolo, Italia. 157 págs.
- Syndicat National des Constructeurs de Charpentiers en Bois Lamellé-Collé (1986). *Charpentiers en bois lamellé - collé. Guide pratique de conception et de mise en oeuvre*. Ed. Eyrolles, Paris. 222 págs.

NORMATIVA

- DIN 1052:2004. *Design of timber structures. General rules and rules for buildings*.
- EN1995-1-2:2004. Eurocódigo 5. *Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: General. Proyecto en situación de incendio*.
- prEN 14080:2009. *Timber structures. Glued laminated timber and glued laminated solid timber. Requirements*.
- prEN 15228:2008. *Structural timber – Structural timber preservative treated against biological attack*.
- UNE-EN 1194:1999. *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos*.
- UNE-EN 13501-1:2007. *Clasificación en función del comportamiento al fuego de los productos de construcción y de los elementos para la edificación. Parte 1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego*.
- UNE-EN 14080:2006. *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Requisitos*.
- UNE-EN 14081-1:2006. *Estructuras de madera. Madera estructural con sección rectangular clasificada por su resistencia. Parte 1: Requisitos generales*.
- UNE-EN 15425:2008. *Adhesivos. Adhesivos de poliuretano de un componente para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento*.
- UNE-EN 1995-1-1:2006. Eurocódigo 5. *Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación*.
- UNE-EN 301:2007. *Adhesivos fenólicos y aminoplásticos para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento*.
- UNE-EN 350-2:1995. *Durabilidad de la madera y de los materiales derivados de la madera. Durabilidad natural de la madera maciza*.

Parte 2: *Guía de la durabilidad natural y de la impregnabilidad de especies de madera seleccionadas por su importancia en Europa*.

UNE-EN 386:2002. *Madera laminada encolada. Especificaciones y requisitos de fabricación*.

UNE-EN 391:2002 (+Erratum 2004). *Madera laminada encolada. Ensayo de delaminación de líneas de adhesivo*.

UNE-EN 392:1995. *Madera laminada encolada. Ensayo de esfuerzo cortante en líneas de adhesivo*.

UNE-EN 408:2004. *Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas*.

MADERA MICROLAMINADA

DEFINICIÓN

Material compuesto por chapas de madera con la fibra orientada esencialmente en la misma dirección. No se excluye la presencia de chapas orientadas perpendicularmente. Generalmente se comercializa en forma de perfiles de sección rectangular con uso estructural.



Comentarios:

En inglés se denomina "Laminated Veneer Lumber" (LVL) y en francés "Lamibois".

APLICACIONES

Es un material específicamente diseñado para usos estructurales debido a la elevada resistencia, uniformidad de sus propiedades y a su poco peso. De forma muy ocasional se utilizan como elementos decorativos; los requisitos para esta última aplicación no se contemplan en este capítulo. Las aplicaciones son las siguientes:

- Viguetas de forjado en edificación residencial y comercial. Si son soluciones con la madera oculta las piezas pueden ser simples y quedarán protegidas con el cerramiento inferior. El intereje varía entre 0,60 y 1,10 m. Si son vistas los requisitos de incendio suelen llevar a la necesidad de colocar piezas dobles.
- Pares de cubierta.
- Vigas y cargaderos en construcción ligera.
- Paneles prefabricados ligeros para forjados y cubiertas con anchuras de hasta 2,5 m y longitud de hasta 13 m.

- Material para la fabricación de viguetas prefabricadas con sección en doble T. En concreto para la fabricación de las cabezas de la viga.
- Forjados mixtos de viguetas de madera microlaminada y hormigón. El grueso de la capa de hormigón suele ser del orden de 65 mm. Las elevadas propiedades mecánicas de este material permiten llegar a soluciones de alta eficacia.
- Pórticos triarticulados para construcciones agrícolas, industriales y deportivas con luces de 10 a 20 m.
- Cerchas y otros tipos estructurales de celosía con luces de 15 a 45 m. Normalmente emplean barras formadas por dos piezas con los herrajes ocultos.
- Rehabilitación de estructuras de madera. Su elevada capacidad mecánica permite el refuerzo de piezas de madera mediante el adosado de piezas laterales o la constitución de sistemas mixtos con tableros de madera microlaminada en la cara superior.



MATERIALES

Para su fabricación se utilizan especies coníferas. En Finlandia el abeto (*Picea abies* L. Karst) y el pino silvestre (*Pinus sylvestris* L.) y en Norteamérica Pino Oregón – Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) y Pino amarillo del Sur (*Southern pine*).

El número mínimo de chapas en una sección transversal debe ser de cinco y el grosor máximo de cada chapa debe ser de 6 mm. En Europa el espesor de lámina es normalmente de 3 mm. En Norteamérica varía entre 2,5 y 4,8 mm.

Para su fabricación normalmente se utilizan adhesivos fenólicos.

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

La madera microlaminada fabricada en Europa se comercializa habitualmente con las siguientes dimensiones:

- Grosos: 21, 24, 27, 33, 36, 39, 45, 51, 57, 63, 69 y 75 mm.
- Anchuras: 200, 225, 260, 300, 360, 400, 450, 500 y 600 mm. Estos son las anchuras estándares que son consecuencia del máximo aprovechamiento de la anchura de los paneles (1.800 y 2.500 mm).
- Longitud: a medida con un máximo de 23 m.

La madera microlaminada fabricada en Norteamérica se comercializa con las siguientes dimensiones:

- Grosos: 19 a 64 mm. Algún fabricante llega a 89 mm). El más común en construcción es el de 45 mm.
- Anchuras: las más comunes en construcción son 241, 302, 356, 406 y 476 mm. También se comercializan los siguientes: 140, 184 y 610 mm. La anchura del panel en fábrica es de 610 y 1.220 mm.
- Longitud: hasta un máximo de 24 m. Son comunes los largos siguientes: 14,6 – 17 – 18,3 y 20,1 m.

Las dimensiones nominales de las piezas son las especificadas por el comprador con el contenido de humedad de referencia del 10 ± 2 %. Los valores nominales de anchura, altura y longitud de las piezas se ajustarán a las tolerancias especificadas en la norma UNE-EN 14374 que se recogen a continuación:

- Grosor: $+(0,8+0,03 t)$ mm ó $-(0,4+0,03 t)$ mm, donde "t" es el espesor nominal. Se admiten desviaciones locales debidas a discontinuidades de las chapas, tales como orificios de nudos y juntas entre chapas.
- Anchura:
 - para anchuras < 400 mm: ± 2 mm respecto a la anchura nominal
 - para anchuras ≥ 400 mm: $\pm 0,5$ % de la anchura nominal
- Longitud: no debe desviarse más de ± 5 mm de la longitud nominal

Los ángulos de la sección transversal no deben desviarse respecto a un ángulo recto en más de 1:50 (aproximadamente $1,1^\circ$).

Para el cálculo de las variaciones dimensionales de la madera microlaminada fabricada con abeto en Europa es habitual emplear los siguientes coeficientes unitarios de contracción, tabla 1.

Tabla 1. Coeficientes de contracción (%) para cada grado de variación del contenido de humedad.

Dirección	Composición con chapas paralelas	Con chapas paralelas y perpendiculares
Grosor	0,24	0,24
Anchura	0,32	0,03
Longitud	0,01	0,01

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

El fabricante debe aportar los valores característicos de resistencia y rigidez correspondientes al 5º percentil, obtenidos de acuerdo con la norma UNE-EN 14358. Los ensayos se realizarán de acuerdo con la norma UNE-EN 408, excepto para la resistencia y módulo de elasticidad a cortante en flexión de cara que se realizará de acuerdo con la norma UNE-EN 789.

En Europa la madera microlaminada se fabrica con dos tipos de composición. La primera denominada paralela se caracteriza por tener todas las láminas orientadas en la misma dirección. Adecuado para elementos estructurales como vigas, barras de estructuras en celosía, etc. Y la segunda se puede denominar cruzada y se caracteriza por tener un porcentaje (aproximadamente un 20 %) de las láminas orientadas perpendicularmente. El producto presenta una mayor estabilidad dimensional frente a los cambios de humedad. Se utiliza principalmente como tablero estructural y a veces para determinados elementos lineales como pilares de pórticos.

En la tabla 2 y para material de procedencia europea de madera de abeto se recogen los valores característicos más habituales de las propiedades mecánicas.

Tabla 2. Valores característicos más habituales de las propiedades mecánicas de la madera microlaminada con madera de abeto.

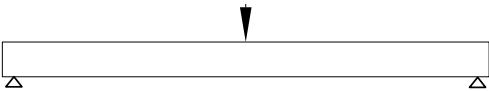
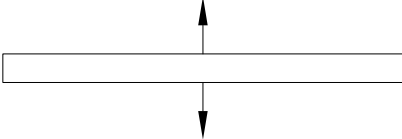
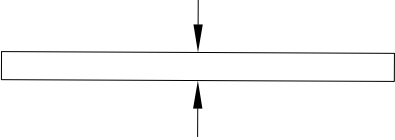
Propiedad	Símbolo	Valor característico, N/mm ² o kg/m ³		
		Composición paralela	Con chapas paralelas y perpendiculares	Con chapas paralelas y perpendiculares
		Grueso: 21-90 mm	Grueso: 21-24 mm	Grueso: 27-69 mm
5º percentil				
Resistencia a flexión:				
De canto (h = 300 mm)	f _{m,canto,k}	44,0	28,0	32,0
De cara (grueso 21 a 90 mm)	f _{m,cara,k}	50,0	32,0	36,0
Resistencia a tracción:				
Paralela a la fibra (longtitud 3000 mm)	f _{t,0,k}	35,0	19,0	26,0
Perpendicular a la fibra, de canto	f _{t,90,canto,k}	0,8	6,0	6,0
Perpendicular a la fibra, de cara	f _{t,90,cara,k}	-	-	-
Resistencia a compresión:				
Paralela a la fibra	f _{c,0,k}	35,0	19,0	26,0
Perpendicular a la fibra, de canto	f _{c,90,canto,k}	6,0	9,0	9,0
Perpendicular a la fibra, de cara	f _{c,90,cara,k}	1,8	2,2	2,2
Resistencia a cortante:				
De canto	f _{v,canto,k}	4,1	4,5	4,5
De cara	f _{v,cara,k}	2,3	1,3	1,3
Módulo de elasticidad:				
Paralelo a la fibra	E _{0,k}	11.600	8.300	8.800
Perpendicular a la fibra, de canto	E _{90,canto,k}	350	2.000	2.000
Perpendicular a la fibra, de cara	E _{90,cara,k}	100	100	100
Módulo de cortante:				
De canto	G _{canto,k}	400	400	400
De cara	G _{cara,k}	400	-	-
Densidad	ρ _k	480	480	480
Valores medios				
Módulo de elasticidad:				
Paralelo a la fibra	E _{0,mean}	13.800	10.000	10.500
Perpendicular a la fibra, de canto	E _{90,canto,mean}	430	2.400	2.400
Perpendicular a la fibra, de cara	E _{90,cara,mean}	130	130	130
Módulo de cortante:				
De canto	G _{canto,mean}	600	600	600
De cara	G _{cara,mean}	600	60	120
Densidad	ρ _{mean}	510	510	510
s= 0,12 (parámetro del efecto de tamaño)				

Comentarios:

Debido a la orientación de las láminas es posible diferenciar dos posiciones de trabajo en relación a la flexión: flexión de canto cuando las láminas quedan en dirección perpendicular al eje de giro por flexión (viga) y flexión de cara cuando las láminas quedan en dirección paralela al eje de giro por flexión (tablero). Además, se diferencian dos direcciones en las sollicitaciones axiales de tracción y compresión: paralela a la fibra cuando las chapas externas son paralelas a la dirección

del esfuerzo y perpendicular a la fibra cuando las chapas externas son perpendiculares a la dirección del esfuerzo. En la figura 1 se describe la nomenclatura de las propiedades en relación con la orientación de las chapas y la posición de las piezas.

Figura 1. Nomenclatura para las propiedades mecánicas. (UNE-EN 14374)

Condiciones de carga	Madera microlaminada en flexión de canto	Madera microlaminada en flexión de cara
		
	$f_{m,0,canto}$ $f_{v,0,canto}$	$f_{m,0,cara}$ $f_{v,0,cara}$
	$f_{t,0}$	$f_{t,0}$
	$f_{t,90,canto}$	$f_{t,90,cara}$
	$f_{c,0}$	$f_{c,0}$
	$f_{c,90,canto}$	$f_{c,90,cara}$

Para la madera microlaminada se utiliza un coeficiente k_{mod} para ajustar las propiedades mecánicas de resistencia en función de la clase de servicio y duración de la carga especificado en el Eurocódigo 5 (norma UNE-EN 1995-1-1), tabla 3.

Tabla 3. Coeficiente k_{mod} para la madera microlaminada.

Clase de servicio	Clases de duración de la carga				
	Permanente	Larga	Media	Corta	Instantánea
1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Para la madera microlaminada con todas las chapas con la fibra en la misma dirección se utiliza el coeficiente k_{def} para el cálculo de la deformación por fluencia que se especifica en el Eurocódigo 5 (norma UNE-EN 1995-1-1) para este producto, tabla 4. Para la madera microlaminada con algunas láminas en dirección perpendicular se deberá utilizar el coeficiente k_{def} correspondiente al tablero contrachapado, tabla 4.

Tabla 4. Coeficiente k_{def} para la madera microlaminada con todas las láminas en dirección paralela y con algunas láminas en dirección perpendicular.

	Clase de servicio		
	1	2	3
Microlaminada chapas paralelas	0,60	0,80	2,00
Microlaminada chapas paralelas y perpendiculares	0,80	1,00	2,50

Cuando los perfiles se diseñan con canto variable las piezas se cortan con un ángulo con respecto a la directriz de la pieza. Para esta aplicación se utilizará el producto con algunas chapas transversales. La desviación de la fibra en el borde de corte oblicuo produce una disminución de la resistencia que se recoge en la tabla 5.

Tabla 5. Factor de reducción de la resistencia cuando la pieza se corta con un ángulo con respecto a la dirección de la fibra de las chapas externas.

	Ángulo α			
	0°	15°	30°	45-90°
Flexión de canto	1,00	0,40	0,25	0,20
Tracción paralela a la fibra	1,00	0,30	0,20	0,15
Compresión paralela a la fibra	1,00	0,50	0,35	0,25

Durabilidad

Generalmente durante la fabricación de la madera microlaminada no se aplica ningún producto protector y por tanto su durabilidad natural corresponde a la de la madera utilizada. Durante la construcción de la edificación resiste sin problemas la intemperie temporalmente, siempre que posteriormente se pueda secar.

Comportamiento al fuego

Para la clasificación de la reacción al fuego de este producto, el fabricante deberá aportar el correspondiente informe de ensayo y de clasificación realizado de acuerdo con la norma UNE-EN 13501-1. Los fabricados en Europa suelen ser de la Euroclase D-s1, d0.

La resistencia al fuego de la pieza de madera microlaminada se deberá calcular de acuerdo con el DB de Seguridad contra Incendio o de acuerdo con la norma UNE-EN1995-1-2. El parámetro dependiente de la madera es la velocidad de carbonización que toma el valor nominal de 0,7 mm/min en madera microlaminada con densidad característica mayor o igual a 480 kg/m³.

En madera de coníferas una pieza de madera trabajando a flexión con 3 caras expuestas al fuego (típica configuración de una viga vista) requiere unos 100 mm de anchura para alcanzar la resistencia R30. Por este motivo, suele ser necesario utilizar piezas formados por dos o más perfiles de madera microlaminada.

Acabado

En Europa la madera microlaminada se comercializa con un acabado de superficie cepillada pensado para poder dejarlo visto. En Norteamérica por lo general se comercializa con una superficie más basta que incluye las marcas del tipo de producto impresas en la superficie, pensado para dejar oculto. Sin embargo, hay fabricantes que bajo pedido pueden suministrar una calidad de acabado que denominan "architectural grade" para dejar vista. El aspecto de las caras del producto con la superficie cepillada es similar al del tablero contrachapado.

Curvado

Al tratarse de un producto de grosor reducido en comparación con su longitud es posible la utilización del producto en forma de grandes tableros curvados para la construcción de cubiertas de perfil curvo. El radio de curvatura mínimo, $R_{\min}$ depende del grosor del tablero, t y de la orientación de las fibras en las chapas externas:

- $R_{\min} \geq 200 \cdot t$ cuando el curvado produce tensiones normales de compresión y tracción paralelas a la dirección de la fibra en las chapas externas.
- $R_{\min} \geq 600 \cdot t$ cuando el curvado produce tensiones normales de compresión y tracción perpendiculares a la dirección de la fibra en las chapas externas.

MARCADO CE

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE es la UNE-EN 14374, que entró en vigor de forma voluntaria el 1 de septiembre de 2005 y de forma obligatoria el 1 de septiembre de 2006. Por dicho motivo la pre-

sencia del Marcado CE de estos productos en el mercado español es obligatoria.

ESPECIFICACIONES

Las especificaciones en el proyecto sobre este producto deberán hacerse con referencia al fabricante. A continuación se ofrece un resumen o guía para la redacción de un pliego de condiciones para la utilización de madera microlaminada.

- **Definición del material y propiedades mecánicas:** Al tratarse de un producto industrializado puede especificarse la marca comercial del producto e incluir las propiedades mecánicas que define el fabricante.
- **Fabricación:** De acuerdo con lo establecido en la Norma armonizada del producto, UNE-EN 14374, el fabricante deberá disponer de un Certificado del sistema de Control de la Producción en Fábrica emitido por un Organismo Notificado. En la norma UNE-EN 14374 se especifican las condiciones para el Control de la Producción en Fábrica.
- **Dimensiones nominales:** Serán las deducidas a partir del cálculo para las piezas y deberán cumplir las tolerancias indicadas en la norma UNE-EN 14374. Si es posible, deberían ajustarse a la gama de dimensiones comerciales más habituales.
- **Contenido de humedad:** El producto se comercializa con un contenido de humedad del orden del 10 %, valor adecuado para su puesta en obra.
- **Tratamiento preventivo:** El producto se comercializa sin tratamiento de protección. Por dicho motivo, deberá aplicarse un tratamiento adecuado para la clase de uso prevista. El tratamiento deberá efectuarse siguiendo las prescripciones del fabricante del producto y estar documentado de acuerdo con lo establecido al respecto en el Capítulo 13 del DB-SE-M. Para más información sobre tratamientos, durabilidad natural de maderas y calificación de su impregnabilidad se recomienda consultar el Documento de Aplicación de Durabilidad.
- **Comportamiento al fuego:** La estabilidad al fuego de las secciones de madera en situación de incendio deberá ser justificada mediante cálculo de acuerdo con los principios del DB-SI o de acuerdo con la norma UNE-EN1995-1-2, aunque no hay que olvidar que los medios de unión suelen ser los elementos más limitantes. Debe tenerse en cuenta que las piezas de madera microlaminada tienen gruesos reducidos, por lo que generalmente para alcanzar una R30 suele ser preciso el uso de secciones múltiples, adosando dos o más piezas.

- **Almacenaje, transporte y montaje:** El producto que presenta un acabado preparado para dejar visto se suministra embalado con plástico. Sin embargo este envoltorio tiene como misión la protección durante el transporte, pero no es suficiente para el almacenamiento en obra. La exposición a la intemperie en la obra sólo será temporal y debe reducirse al mínimo. Deben protegerse con lonas impermeables del agua de lluvia, polvo y la radiación solar continuada. También deben tomarse medidas para evitar la condensación y la humedad alta. Deben almacenarse sobre un plano utilizando el número de soportes de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Durante el almacenaje, transporte y montaje se evitará someter a las piezas a tensiones superiores a las previstas. Si la estructura se carga o apoya de manera diferente a la que tendrá en servicio se comprobará que estas condiciones son admisibles y deberán tenerse en cuenta aquellas cargas que puedan producir efectos dinámicos. En el caso de vigas de gran longitud deberán evitarse las deformaciones y distorsiones que puedan producirse en el levantamiento desde la posición horizontal a la vertical.

UNE-EN 408:2004. Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.

BIBLIOGRAFÍA

APA (2000). PRL 501 - Performance Standard for APA EWS (Engineer Wood System) Laminated Veneer Lumber.

APA (2005). Proper Storage and Handling of I-joist and LVL. Number EWS E 705.

DRAFT ISO/DIS 22390-1:2008. Timber structures. Laminated veneer lumber (LVL). Part 1: Structural properties.

Finnforest (2005). Kerto - A wood product for advanced structural engineering.

NORMATIVA

UNE-EN 14279:2007. Estructuras de madera. Madera microlaminada (LVL). Definiciones, clasificación y especificaciones.

UNE-EN 14374:2005. Estructuras de madera. Madera microlaminada (LVL). Requisitos.

UNE-EN 314-1:2007. Tableros contrachapados. Calidad del encolado. Parte 1: Métodos de ensayo.

UNE-EN 314-2:1994 Tableros contrachapados. Calidad del encolado. Parte 2: Especificaciones.

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

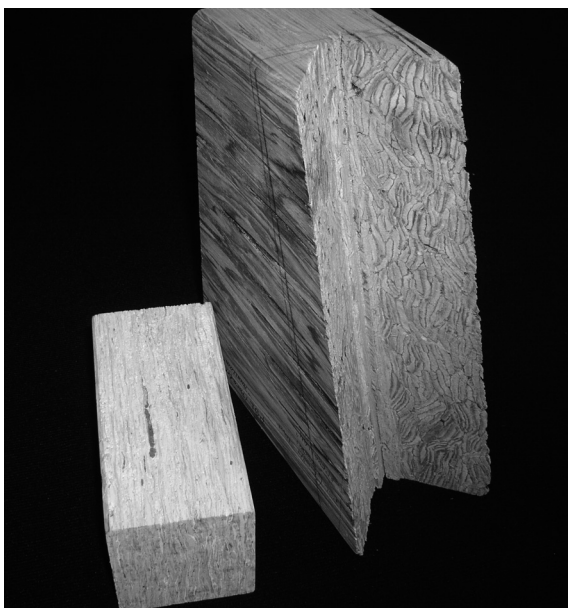
UNE-EN 789:2006. Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la madera.

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

PERFILES DE MADERA RECONSTITUIDA

DEFINICIÓN

La denominación de madera reconstituida engloba varios productos de uso estructural en forma de perfiles con sección rectangular que están fabricados con chapas, tiras o virutas de madera encoladas.



Se trata de productos de propiedades mecánicas elevadas y muy homogéneas y que permiten el aprovechamiento de trozas que no tienen dimensiones suficientes para el aserrado o de recortes de las chapas empleadas para la fabricación del tablero contrachapado y obtenidas mediante desenrollado periférico de troncos. Existe una gran variedad de productos con diferentes denominaciones que se diferencian según el formato de la madera utilizado (chapas, virutas, tiras). Algunos se fabrican directamente con la sección final, pero en otros casos se fabrica un tablero que posteriormente se corta a la medida deseada. Los tipos de productos más habituales son los siguientes:

Perfiles de tiras de madera (PSL-Parallel Strand Lumber)

La materia básica son recortes de chapas obtenidas por desenrollado. Se cortan tiras de estas chapas con una longitud de hasta 2,4 m, una anchura de unos 13 mm y un grueso de unos

3 mm y se encolan orientadas de tal forma que la dirección de la fibra de la gran mayoría de las tiras siga la dirección longitudinal del perfil. Se fabrica en Norteamérica y utiliza madera de coníferas.

Perfiles de virutas de madera laminadas (LSL-Laminated Strand Lumber)

Es un producto parecido al PSL con un proceso de fabricación similar pero que utiliza virutas más gruesas y anchas. Se obtienen encolando virutas de madera que durante el proceso de formación se orientan siguiendo la dirección longitudinal del tablero. Las dimensiones de las virutas tienen una anchura variable entre 5 y 25 mm mientras que su longitud suele ser de 300 mm, aunque lo habitual es que sean de unos 50 mm. Suelen utilizar madera de chopo.

Perfiles de macro-virutas de madera orientadas (OSL-Oriented Strand Lumber)

Es un producto parecido al LSL pero con virutas más estrechas y largas. Se obtienen encolando virutas de madera con una longitud que varía entre 472 y 945 mm con una anchura de 2 a 5 mm. Durante el proceso de formación se orientan de tal forma que la dirección de la fibra de la inmensa mayoría de las virutas sigue la dirección longitudinal del tablero. Es similar al tablero de virutas orientadas (OSB) con la diferencia de que todas las capas de virutas tienen la misma dirección paralela a la dirección longitudinal.

Perfiles de lino (SPSL – Steam Pressed Scrim Lumber)

Este perfil es de reciente aparición y apenas se dispone de información. De todas formas se reseña dentro de este apartado y se destaca que la materia prima utilizada para su fabricación es el lino.

APLICACIONES

Las aplicaciones de estos productos son similares a las que tienen las piezas de madera empalmada, madera aserrada encolada y madera microlaminada; vigas de luces medias y pilares; tipos estructurales de celosía de luces medias y elevadas utilizadas en cubiertas de edificios industriales y comerciales.

MATERIALES

Se pueden utilizar especies de madera de coníferas y de frondosas. Las más habituales son las especies de crecimiento rápido, coníferas y los chopos. El producto terminado se comercializa con un contenido de humedad cercano al 11 %.

Comentarios:

*El producto PSL, habitualmente se fabrica en Canadá con madera de Pino Oregón (*Pseudotsuga menziesii* Franco) y en Estados Unidos de América con *Southern pine* – Pino amarillo del Sur. En España se fabrica LSL con madera de chopo.*

Normalmente se utilizan adhesivos con altas prestaciones estructurales como los de fenol-formaldehído e isocianatos. Los adhesivos para la fabricación del PSL deben ser del tipo de los resistentes a la humedad según las especificaciones de la norma ASTM D 2559.

DIMENSIONES

Las dimensiones de comercialización de estos productos son variables según los productores, por lo que es necesario recurrir a la información del fabricante.

El producto PSL se fabrica con longitud de hasta 24 m. Sin embargo, en España llega con un máximo de unos 12 m por las limitaciones habituales de transporte. Las escuadrías estándares se recogen en la tabla 1.

La pieza obtenida se puede cortar a las dimensiones requeridas. Asimismo se pueden obtener dimensiones mayores encolando dos piezas de este producto utilizando técnicas parecidas a las empleadas en la fabricación de madera laminada encolada.

El producto LSL se suele fabricar en forma de tableros, con anchos de 2.400 mm y longitudes de 15 metros. El tablero o pieza obtenida se puede cortar en su anchura para obtener las dimensiones requeridas de la sección transversal de la pieza.

En la actualidad no hay normas que especifiquen las tolerancias dimensionales para estos productos. Sin embargo, parece adecuado exigir las mismas tolerancias que al producto de madera microlaminada.

PROPIEDADES

En la actualidad no hay normas europeas que regulen estos productos. Por lo tanto, las propiedades deben ser declaradas y garantizadas por los fabricantes y es muy recomendable que exista alguna certificación de la producción emitida por un organismo competente y que incluya un protocolo de inspección externa periódica.

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son declaradas por los fabricantes de cada producto. El fabricante deberá aportar la información necesaria sobre sus propiedades mecánicas en valores característicos de acuerdo con el planteamiento de cálculo del Eurocódigo 5 (UNE-EN 1995-1-1) o DB SE-M del Código Técnico de la Edificación.

Con un carácter informativo se puede citar que la resistencia característica a flexión del PSL procedente de EEUU es de 42 a 46 N/mm² y el valor medio módulo de elasticidad en flexión es de 14.500 N/mm².

Tabla 1. Escuadrías estándar de PSL.

Ancho (mm)	Canto (mm)								
	89	133	178	241	292	318	356	406	457
45				X	X	X	X		
89	X	X	X	X	X	X	X	X	X
133		X	X	X	X	X	X	X	X
178			X	X	X	X	X	X	X

En el Eurocódigo 5, norma UNE-EN 1995-1-1 no se especifica el factor de modificación de la resistencia (k_{mod}) ni el factor de fluencia (k_{def}) para estos productos. Deberá ser el fabricante quien aporte estos datos para el cálculo basados en ensayos realizados con sus productos.

Durabilidad

Estos productos se comercializan normalmente sin incluir tratamientos de protección. No obstante, aceptan un alto grado de penetración el tratamiento con productos protectores.

Comportamiento al fuego

Para la clasificación de la reacción al fuego el fabricante deberá aportar el correspondiente informe de ensayo y de clasificación realizado de acuerdo con la norma UNE-EN 13501-1.

En relación a la resistencia al fuego la norma UNE-EN 1995-1-2 no incluye la velocidad de carbonización de estos productos. El fabricante deberá declarar estos valores para sus productos basados en los ensayos adecuados.

Acabado

Estos productos se suelen entregar lijados. Puede mecanizarse, teñirse y recibir cualquier tipo de acabado utilizando las mismas técnicas que se emplean para la madera maciza.

MARCADO CE

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción pero la norma armonizada que regularía su marcado CE todavía no existe, motivo por lo cual el Marcado CE ni puede ser aplicado por el fabricante ni puede ser exigido por el mercado.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D2559 -04. Standard Specification for Adhesives for Structural Laminated Wood Products for Use Under Exterior (Wet Use) Exposure Conditions.

Canadian wood Council. (1991). Wood Reference Handbook.

Forest Products Laboratory. (1999). Wood Handbook - Wood as an engineering product.

Galiläa, K.J. y Mohrmann, M.. (2006). Zimmerarbeiten clever planen und ausführen. Ed. Weka Media. Munich. ISBN: 3-8277-3079-1

NORMATIVA

ASTM D2559 - 04 Standard Specification for Adhesives for Structural Laminated Wood Products for Use Under Exterior (Wet Use) Exposure Conditions.

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

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

UNE-EN 14374:2005. Estructuras de madera. Madera microlaminada (LVL). Requisitos.

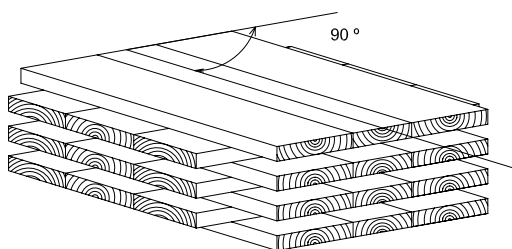
UNE-EN 1995-1-1:2006. Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para la edificación.

PANELES CONTRALAMINADOS

DEFINICIÓN

Panel formado por varias capas de madera aserrada encoladas entre sí o a veces unidas con clavos o espigas de madera, de forma que la orientación de las fibras de dos capas adyacentes es perpendicular entre sí. Cada una de las tablas que componen las capas del tablero ha debido ser clasificadas estructuralmente, bien mediante métodos visuales o mediante métodos automatizados (de máquina), con carácter previo a su encolado o fijación mecánica (clavijas). La estructura transversal del panel debe ser simétrica y estar compuesta por un mínimo de tres capas, figura 1. Las tablas de cada capa pueden estar unidas longitudinalmente a tope o mediante empalme dentado. Estos paneles tienen uso estructural.

Figura 1. Composición de un panel contralaminado.



Comentarios:

Este tipo de paneles podría confundirse con los tableros de uso estructural de madera maciza multicapa (SWP), muy habituales para encofrados y en menor medida para decoración. Sin embargo, los paneles contralaminados tienen unas dimensiones muy superiores a las de los multicapa, tanto en espesor como en longitud. Tienen una identidad propia en el sector de la construcción y unas prestaciones estructurales diferentes. En el mercado se le conoce a veces por sus siglas en inglés: CLT (Cross Laminated Timber).

APLICACIONES

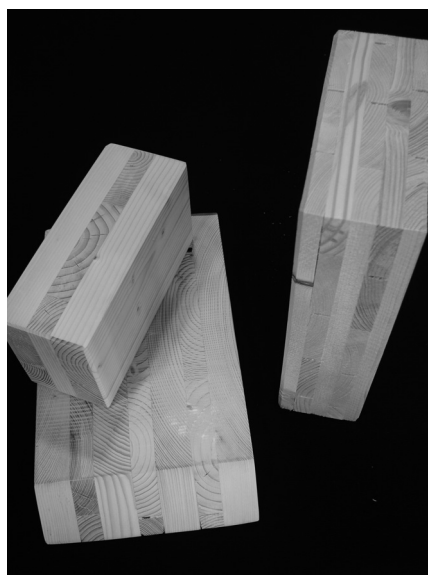
Estos paneles pueden trabajar como muros, forjados y cubiertas, en clases de servicio 1 y 2. En el caso de cubiertas, se limita a locales con higrometría baja o media y se excluye para locales con higrometrías altas o muy altas (por encima de $W/n > 5 \text{ g/m}^3$, siendo: W = cantidad de vapor de agua que se produce en el interior del edificio en una hora y n = tasa horaria de renovación del aire).

Se utilizan tanto en viviendas como en construcciones industriales de hasta 3 ó 4 alturas. Los sistemas constructivos con paneles estructurales son muy flexibles y permiten insertar sin dificultad puertas y ventanas, incluso durante y después de que la obra haya finalizado.

MATERIALES

Normalmente se utilizan tablas clasificadas de madera aserrada de coníferas de los géneros: picea (*Picea* spp.), pino (*Pinus* spp.), abeto (*Abies* spp.) o alerce (*Larix* spp.), siendo la picea (*Picea abies* (L) Karst.) la especie más utilizada.

Los adhesivos más utilizados para encolar las tablas y las uniones dentadas entre tablas, son los de poliuretano o de urea-formaldehído. Estos adhesivos deben cumplir los requisitos de la norma UNE-EN 301, y en su defecto, el anexo C de la Guía ETAG 011.



Hay algún fabricante que utiliza espigas de madera en vez de adhesivo para unir las diferentes capas de tablas. Otros fabricantes, en vez de utilizar clavijas de madera, utilizan clavos de adherencia mejorada de aluminio.

DIMENSIONES Y TOLERANCIAS

Los paneles contralaminados estructurales poseen un amplio rango dimensional, pero como dimensiones máximas de fabricación se pueden citar las siguientes: longitud, de entre 15 a 25 metros; anchura hasta 5 m y un espesor que puede llegar a los 600 mm, dependiendo de la configuración de capas y del espesor relativo de cada una de ellas.

El espesor de las piezas de madera utilizada en cada capa varía según el fabricante, pero es común el rango de 10 a 40 mm (siendo algunos espesores habituales: 13, 24, 26, 30, 34, 40, 45 y 50 mm). La tolerancia de espesor tras el cepillado suele ser $\pm 0,15$ mm.

La anchura de tabla suele estar comprendida entre 80 y 240 mm, de tal forma que el ratio anchura / espesor, sea superior a 4.

El número de capas de madera utilizado habitualmente es impar y suele ser de: 3, 5, 7, 9, 13 y 15.

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

Cada fabricante debe aportar la información correspondiente a las propiedades de su producto en base a un Documento de Idoneidad Técnico Europeo (DITE), emitido por el correspondiente organismo notificado y conforme al CUAP (Common Understanding of Assessment Procedure) establecido para este tipo de productos, que es el CUAP nº 03.04/06.

Nota: Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE) o European Technical Approval (ETA) u Homologación Técnica Europea (HTA).

De forma indicativa se aportan los datos de la tabla 1, en la que quedan recogidos los valores característicos de la resistencia y rigidez de estos paneles.

Tabla 1. Valores característicos de paneles contralaminados.

Tipo de solicitación		Clase resistente de la madera utilizada	
		C 16	C24
Valores característicos de resistencia (N/mm ²)			
Flexión	$f_{m,k}$	16	24
Tracción	$f_{t0,k}$	10	14
	$f_{t90,k}$	0,4	0,4
Compresión	$f_{c0,k}$	17	21
	$f_{c90,k}$	2,2	2,5
Cortante	$f_{v,k}$	1,8	2,5
Cortante por rodadura	$f_{r,k}$	0,70	
Valores característicos de rigidez (N/mm ²)			
Módulo de elasticidad flexión	$E_{0,mean}$	8000	11000
	$E_{90,mean}$	270	370
Módulo de cortante	G_{mean}	500	690
Módulo de cortante por rodadura	$G_{r,mean}$	50	

Los adhesivos que se utilicen en la clase de servicio 2, deben cumplir con lo especificado en la norma UNE-EN 301. Los adhesivos de poliuretano deberán cumplir con lo especificado en la norma UNE-EN 301 y, además, superar los ensayos definidos en el anexo C de la Guía ETAG 011.

Durabilidad

Estos productos se comercializan normalmente sin incluir tratamientos de protección. El uso de los paneles de madera contralaminada está actualmente permitido solo en las clases de servicio 1 y 2, según UNE-EN 1995-1-1. Si los elementos se emplean al exterior deberán contar con una protección adicional y permanente contra agentes meteorológicos.

Comportamiento al fuego

De acuerdo con el HTE-06/0009, los paneles contralaminados usados para muros, cubiertas y módulos especiales pertenecen a la clase de reacción al fuego D-s2, d0 y los elementos usados para forjados y cubiertas pertenecen a la clase DFL-s1.

En relación a la resistencia al fuego ni la norma UNE-EN 1995-1-2 ni el HTE-06/0009 incluyen el valor de la velocidad de carbonización de estos productos. El fabricante deberá declarar estos valores para sus productos basados en los ensayos adecuados. No obstante, al tratarse de madera aserrada pueden tomarse como valores de la velocidad de carbonización los de la velocidad básica de la madera maciza.

MARCADO CE

Este producto está afectado por la Directiva Europea de Productos de la Construcción 89/106/CEE y al no disponer de norma armonizada, ni de Guía EOTA, su marcado CE se regula mediante CUAP (Common Understanding of Assessment Procedure 03.04/06), que el fabricante tiene que solicitar al correspondiente organismo notificado. La disposición de un DITE acreditativo de haber superado las exigencias del CUAP 03.04/06 habilita al fabricante a colocar la estampilla del Marcado CE en su producto pero no impone la obligatoriedad de su presencia. Ya existen en el mercado productos que disponen del Marcado CE.

BIBLIOGRAFÍA

- Betz, J. (2006). *Development of MPB thick laminate wood plate products*. Faculty of Forestry. University of British Columbia.
- CUAP nº 03.04/06. (2005). *Solid wood slab element to be used as a structural element in buildings*.
- Gsell, D.; Feltrin, G.; Schubert, S.; Steiger, R.; Motavalli, M. (2007). *Cross-Laminated Timber Plates: Evaluation and Verification of Homogenized Elastic Properties*. *Journal of Structural Engineering*, Vol. 133, Issue 1, pp. 132-138.
- Homologación Técnica Europea HTE-06/0009. (2006). *Paneles de madera contrachapada Binder BBS*. Binder Holzbausysteme GMBH.
- Homologación Técnica Europea HTE-06/0138 (European Technical Approval ETA-06/0138). (2006). *KLH solid wood slabs*. KLH Massivholz GmbH.
- Lam, F.; Chen, J. Y. (2007). *Development of Thick Laminated MPB Wood Plates. Year Two Report*. Project No. MDP-07-0020A. Wood Science Department. University of British Columbia.

NORMATIVA

- CTE - DB - SI: *Código Técnico de la Edificación - Documento Básico - Seguridad en caso de incendio*. (2006).
- Decisión 2003/43/CE de la Comisión de las Comunidades Europeas por la que se establecen las clases de reacción al fuego para determinados productos de construcción (2003).
- Directiva 89/106/CEE sobre los productos de construcción (1988).
- Directiva 98/8/CE relativa a la comercialización de biocidas (1998).
- ETAG 011 (2002). *Guideline for European Technical Approval of light composite wood-based beams and columns*.
- ETAG 019. (2004). *Guideline for European Technical Approval for prefabricated wood-based loadbearing stressed skin panels*.
- UNE-EN 301. (2007). *Adhesivos fenólicos y aminoplásticos para estructuras de madera bajo carga. Clasificación y requisitos de comportamiento*.
- UNE-EN 338. (2003). *Madera estructural. Clases resistentes*.
- UNE-EN 385. (2002). *Empalmes por unión dentada en madera estructural. Especificaciones y requisitos mínimos de fabricación*.
- UNE-EN 1194. (1999). *Estructuras de madera. Madera laminada encolada. Clases resistentes y determinación de los valores característicos*.
- UNE-EN 1995-1-1. (2006). *Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación*.
- UNE-ENV 1995-1-2. (1999). *Eurocódigo 5. Proyecto de estructuras de madera. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego*.
- UNE-EN 12114. (2000). *Prestaciones térmicas de los edificios. Permeabilidad al aire de componentes y elementos de los edificios. Mé-*

todo de ensayo de laboratorio.

UNE-EN 12354-1. (2000). *Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos.*

UNE-EN 12524. (2000). *Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores de diseño tabulados.*

UNE-EN 20354/A1. (1998). *Acústica. Medición de la absorción sonora en cámara reverberante. Modificación 1: Montaje de muestras de ensayo para ensayos de absorción sonora.*

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

UNE-EN ISO 140-3. (1995). *Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 3: Medición en laboratorio del aislamiento acústico al ruido aéreo de los elementos de construcción.*

UNE-EN ISO 140-6. (1999). *Acústica. Medición del aislamiento acústico en edificios y de los elementos de construcción. Parte 6: Mediciones en laboratorio del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.*

UNE-EN ISO 717-1. (1997). *Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.*

UNE-EN ISO 717-2. (1997). *Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.*

UNE-EN ISO 6946. (1997). *Elementos y componentes de edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo.*

TABLEROS ESTRUCTURALES DERIVADOS DE LA MADERA

DEFINICIÓN

Los tableros son productos obtenidos mediante el encolado o aglomerado de listones, chapas, virutas, partículas o fibras de madera, caracterizados por tener una gran superficie y un reducido espesor.

APLICACIONES

Las aplicaciones más características de los tableros en la construcción se encuentran en su empleo como cerramiento en forjados de piso, cubiertas, muros y tabiques. Cumplen una misión estructural resistiendo las cargas perpendiculares a su plano y en algunos casos también actúan como diafragma para la estabilidad de la construcción resistiendo los esfuerzos cortantes debidos a acciones horizontales sobre la estructura.

Algunos tipos de tableros se utilizan como componente de secciones mixtas de madera y tablero, como es el alma de las viguetas prefabricadas en doble T o caras en tensión de los paneles prefabricados.

MATERIALES

La madera se puede utilizar en diferentes formatos en función del tipo de tablero a fabricar, ya sea en forma de chapas (tableros contrachapados y tableros laminados), listones o piezas de madera (tableros de madera maciza), partículas de madera (tableros de partículas y tableros de virutas) o fibras (tableros de fibras). En todos los casos supone una optimización y mejora de su aprovechamiento, de forma especial en aquellos en que se utiliza la madera en formatos pequeños como partículas, fibras o virutas.

El adhesivo que se debe utilizar depende del tipo del tablero y uso del mismo. En el caso de los tableros estructurales se han de utilizar colas mejoradas con aditivos que permitan al tablero cumplir los requisitos de estabilidad estructural definidos. Los más utilizados son los de Urea Formol (para interiores), Urea - Melamina formol o Fenol formaldehído (para exteriores), aunque últimamente se están empezando a emplear los adhesivos de isocianato.

Con el objeto de mejorar las prestaciones de los adhesivos se pueden añadir aditivos. Los más usuales son las ceras (para aumentar la repelencia a la humedad), los productos ignífu-

gos (para mejorar el comportamiento frente al fuego), los productos insecticidas (para mejorar el comportamiento frente a los insectos xilófagos), los productos fungicidas (para mejorar el comportamiento frente a los hongos xilófagos) y los endurecedores (para mejorar las prestaciones del adhesivo).

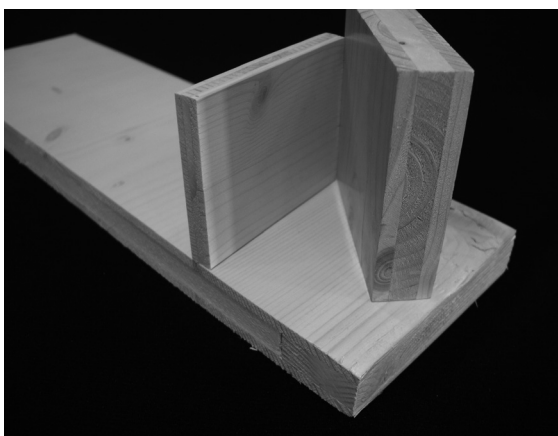
TIPOS Y DIMENSIONES DE TABLEROS ESTRUCTURALES DE MADERA

Los tableros derivados de la madera que pueden utilizarse en aplicaciones estructurales son los que se mencionan a continuación.

Tableros de madera maciza

Están fabricados con tablas, tablillas o listones de madera que se unen entre sí por encolado, machihembrado o por un revestimiento de chapa encolada. Se denominan también por sus siglas en inglés SWP (Solid Wood Panel). Algunos tipos son para uso estructural. Se fabrican con una o varias capas (monocapa o multicapa, véase la norma UNE-EN 12775). Los monocapas reciben también el nombre de tableros alistonados y los multicapa más habituales constan de 3 y 5 capas. En la norma UNE-EN 13353 se clasifican en función de su aptitud para las clases de servicio definidas en la normativa (UNE-EN1995-1-1 o CTE) en los tres tipos siguientes:

- SWP/1 para utilización en ambiente seco (clase de servicio 1).
- SWP/2 para utilización en ambiente húmedo (clase de servicio 2).



- SWP/3 para utilización en ambiente exterior (clase de servicio 3).

Las dimensiones más habituales son las siguientes:

- Para los tableros monocapa (alistonados): longitud de 970, 1000, 1970 y 2000 mm; anchura de 500 mm y grueso de 22 y 27 mm.
- Para los multicapa la longitud y anchura más habituales son 2.050 x 500 mm; mientras que el espesor varía en función del tipo de tablero:
- Tricapa: 12, 16, 19, 22, 27, 32, 40, 50 y 60 mm.
- Multicapa: 35, 42, 50 y 52 mm.

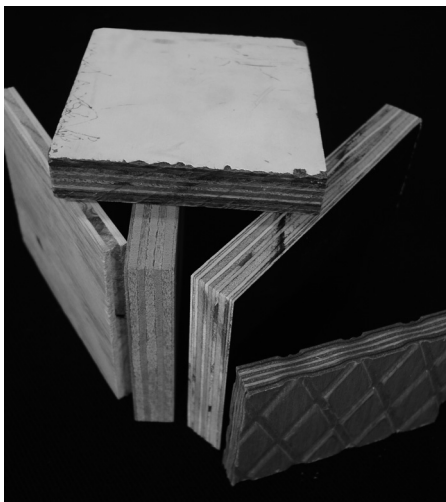
Las especies más utilizadas son el Abeto (*Picea abies*), Pino marítimo (*Pinus pinaster*), Pino radiata, Castaño, etc.

Tableros contrachapados

Están fabricados mediante el encolado de chapas de madera de 2 a 3 mm de espesor dispuestas de forma que la dirección de la fibra de dos capas consecutivas forma entre sí un ángulo de 90°. La disposición de las chapas es simétrica respecto a la chapa central del tablero. El número mínimo de chapas es 3, siendo siempre un número impar.

Según la calidad de su encolado los tableros contrachapados se clasifican en los tres tipos siguientes, de acuerdo con la norma UNE-EN 636:

- Tablero contrachapado para ambiente seco (EN636-1). Clase de servicio 1.
- Tablero contrachapado para ambiente húmedo (EN636-2). Clase de servicio 2.
- Tablero contrachapado para ambiente exterior (EN636-3). Clase de servicio 3.



Habitualmente el primer tipo de paneles se fabrica con resinas de Urea-Formaldehído (UF), el segundo tipo con resinas de Urea-Melamina-Formaldehído (MUF) o Fenol-formaldehído (PUF) y el tercero con resinas del tipo PUF.

En ambientes de tipo exterior (clases de uso 3.1 y 3.2) así como para aplicaciones especiales (Clases de uso 4 y 5) la elección de la especie de madera es una variable habitualmente tenida en cuenta para evitar o reducir la necesidad de aplicar tratamientos químicos de protección. La elección de la especie de madera es una variable también considerada para obtener productos con acabado adecuado al uso, e, incluso, para obtener tableros especialmente ligeros.

Las dimensiones más habituales son 1220x2440 mm, aunque pueden llegar a 1525x3050 mm. Para productos especiales es posible la fabricación de tableros de hasta 14x3 m. El espesor varía entre 1,5 y 40 mm, aunque las dimensiones más habituales se encuentran entre 8 y 25 mm.

Las especies más utilizadas son el Abeto (*Picea abies*), Pino silvestre, Pino marítimo (*Pinus pinaster*), Pino radiata, Pino Oregón, Abedul, Pino amarillo del Sur.

Tableros de partículas

Tableros fabricados con partículas de madera (astillas, partículas, serrín, virutas y similares) y/u otros materiales lignocelulósicos en forma de partículas (fibras de cáñamo, lino, bagazo, paja y similares), con la adición de un polímero aglomerante mediante la aplicación de presión y calor. Según su uso y tipo de ambiente de destino, las normas UNE-EN 309 y UNE-EN 312 establecen los siguientes siete tipos de tableros de partículas:

- P1 Tableros para uso general para utilización en ambiente seco.
- P2 Tableros para aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) en ambiente seco.
- P3 Tableros no estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- P4 Tableros de partículas. Tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- P5 Tableros de partículas. Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- P6 Tableros de partículas. Tableros estructurales de alta prestación para utilización en ambiente seco.
- P7 Tableros de partículas. Tableros estructurales de altas prestaciones para utilización en ambiente húmedo.



Únicamente pueden tener uso estructural los tipos P4 a P7.

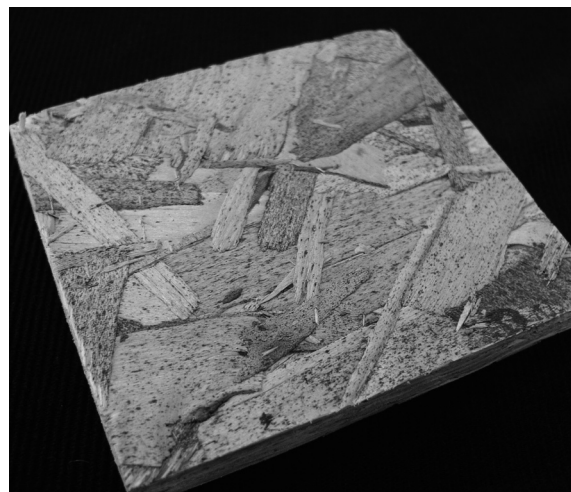
Las dimensiones son muy variables. La longitud varía desde 2050 hasta 4880 mm, la anchura de 1220 hasta 2500 mm y el espesor de 3 a 50 mm. Las dimensiones más habituales son: 2440x2050, 4880x2050 y 3660x1830 mm. Los espesores más frecuentes son 16, 19, 22 y 30 mm.

Las especies más utilizadas son el abeto, pino, haya, chopo, roble, castaño, etc.

Tableros de virutas orientadas – OSB

Están fabricados mediante el encolado de virutas de madera. Las capas externas presentan una orientación de las virutas paralelas a la longitud del tablero (dirección de fabricación) y la central una orientación perpendicular, lo que origina una diferencia de propiedades en ambas direcciones.

Los tipos de tableros de virutas orientadas se clasifican según la norma UNE-EN 300 en los siguientes:



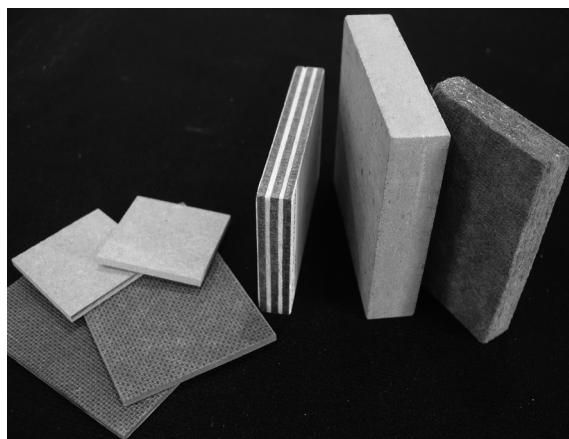
- OSB 1 Tableros para uso general y aplicaciones de interior (incluyendo mobiliario) utilizados en ambiente seco.
- OSB 2 Tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- OSB 3 Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- OSB 4 Tableros estructurales de alta prestación para utilización en ambiente húmedo.

Únicamente pueden tener uso estructural los tipos OSB2, OSB3 y OSB4.

Las dimensiones más habituales de longitud y anchura son: 2440x1200 mm, 2440x1220 mm y 3660x1220 mm. Los espesores más habituales son: 6, 8, 9, 11, 15, 18, 22, 25 y 38 mm.

Las especies más utilizadas son las siguientes: Pinos, pino marítimo, Pino Oregón, Chopo y Abedul.

Tableros de fibras



Se define como un material en forma de tablero con un grosor nominal mayor o igual a 1,5 mm fabricado a partir de fibras lignocelulósicas, mediante la aplicación de calor y presión. La cohesión se puede conseguir por afieltrado de las fibras gracias a sus propiedades adhesivas intrínsecas, o por la adición de un adhesivo sintético.

Según sea su proceso de fabricación y características se diferencian los tipos siguientes:

Tableros de fibras de densidad media – MDF: los tipos de tableros de uso estructural que se consideran en la norma UNE-EN 622-5 son los siguientes:

- MDF.LA Tableros de fibras MDF estructurales para su utilización en ambiente seco.
- MDF.HLS Tableros de fibras MDF estructurales para su utilización en ambiente húmedo.

Existe una gran variedad de dimensiones de los tableros; la longitud varía desde 2050 hasta 4880 mm, la anchura desde 1220 hasta 2500 mm y el espesor desde 2,5 hasta 50 mm. Las especies más utilizadas en España son los pinos y el eucalipto.

Tableros de fibras duros – HB: los tipos de tableros de uso estructural que se consideran en la norma UNE-EN 622-2 son los siguientes:

- HB.LA Tableros de fibras duros. Tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- HB.HLA1 Tableros de fibras duros. Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- HB.HLA.2 Tableros de fibras duros. Tableros estructurales de altas prestaciones para utilización en ambiente húmedo.

Habitualmente estos tableros tienen una anchura de 1220 mm, variando su longitud desde 2400 mm a 3660 mm. Los espesores suelen variar entre 1,2 y 9,5 mm. No obstante, las dimensiones habituales de longitud y anchura son 2440x1220 y 2750x1220 mm y las de espesor de 2 y 3 mm.

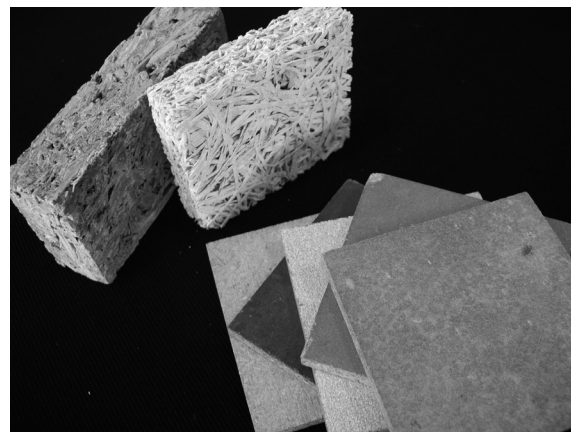
Las especies más utilizadas en España para la fabricación de estos tableros son los pinos y el eucalipto.

Tableros de fibras semiduros – MBH: los tipos de tableros de uso estructural que se consideran en la norma UNE-EN 622-3 son los siguientes:

- MBH.LA1 Tableros de fibras semiduros. Tableros estructurales para utilización en ambiente seco.
- MBH.LA2 Tableros de fibras semiduros. Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- MBH.HLS1 Tableros de fibras semiduros. Tableros estructurales para utilización en ambiente húmedo.
- MBH.HLS2 Tableros de fibras semiduros. Tableros estructurales de altas prestaciones para utilización en ambiente húmedo.

Habitualmente estos tableros tienen una anchura de 1220 mm, variando su longitud desde 2400 mm a 3660 mm. Los espesores suelen variar entre 6 y 12 mm.

Tableros de partículas aglomeradas con cemento



Son los fabricados con partículas de madera u otras de naturaleza vegetal, aglomeradas con cemento mediante la aplicación de presión. El cemento utilizado puede ser el Pórtland Corriente Ordinario (tablero OPC – Ordinary Portland Cement) o derivado del magnesio (por ejemplo magnesita). Además pueden incorporar aditivos. Suelen denominarse tableros de madera-cemento.

Existen dos grandes familias de tableros de madera-cemento. Una corresponde a tableros ligeros, con una densidad del orden de los 600 kg/m³ que tienen propiedades adecuadas para el aislamiento o acondicionamiento acústico y térmico. La otra familia corresponde a los tableros pesados, con densidad del orden de los 1200 kg/m³ que pueden tener aplicaciones estructurales en encofrados perdidos y cerramiento de cubiertas o aplicaciones no estructurales como el revestimiento de fachadas o la base de suelos.

Las dimensiones varían según los fabricantes. Son frecuentes las siguientes dimensiones:

Longitud: 2600 y 3000 mm
Anchura: 1250 mm
Espesor: 8 a 40 mm

También hay tableros con anchuras menores (600 a 625 mm) que se fabrican con un machihembrado y con longitudes de 2000 a 2600 mm. El espesor varía desde 8 hasta 100 mm. Generalmente este formato es el correspondiente a los tableros ligeros (densidad de 360 a 600 kg/m³) aislantes.

Tolerancias dimensionales

Las tolerancias dimensionales de los tableros, antes citados, a su salida de fábrica son las siguientes, tabla 1.

Tabla 1. Tolerancias dimensionales de fabricación.

Tablero (por tipos y espesores)	Norma	Longitud y anchura mm	Espesor mm	
			Lijados	No lijados
Madera maciza	UNE-EN 13353	±2,0	±1,0	-
Contrachapados				
≤ 25 mm	UNE-EN 315	±3,5	$+(0,2+0,03 \cdot t)/-(0,4+0,03 \cdot t)$	$+(0,8+0,03 \cdot t)/-(0,4+0,03 \cdot t)$
> 25 mm			$+(0,0+0,03 \cdot t)/-(0,4+0,03 \cdot t)$	
Partículas	UNE-EN 324-1	±5,0	±0,3	-0,3 mm a +1,7
OSB	UNE-EN 300	±3,0	±0,3	±0,8
Fibras				
MDF(≤19/>19)	UNE-EN 622-1	±2,0	±0,2/±0,3	-
HB(≤3,5/≤5,5/>5,5)			±0,3/±0,5/±0,7	
MBH (≤10/>10)			±0,7/±0,8	
Madera-cemento				
<12	UNE-EN 634-1	±5,0	±0,3	±0,7
12-15				±1,0
15-19				±1,2
>19				±1,5

PROPIEDADES

Propiedades mecánicas

Para el uso estructural de los tableros es necesario conocer los valores característicos de sus propiedades mecánicas tal y como se definen en la norma UNE-EN 1995-1-1. Los valores característicos de las propiedades mecánicas de los distintos tipos de tableros, salvo los de madera-cemento, quedan recogidos en las distintas partes de la norma UNE-EN 12369:

- UNE-EN 12369-1: recoge los valores característicos a emplear para el cálculo estructural con los tableros de partículas, de fibras y de virutas orientadas (OSB).
En las tablas 2 a 9 se indican los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad para cada tipo de tablero y ambiente según la norma UNE EN 12369-1.

Tabla 2. Tableros de partículas estructurales para su uso en ambiente seco Tipo P4 (UNE EN 312).
Valores de las propiedades

		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
Propiedades		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia característica en N/mm ²							
Flexión	$f_{m,p,k}$	14,2	12,5	10,8	9,2	7,5	5,8
Tracción	$f_{t,p,k}$	8,9	7,9	6,9	6,1	5,0	4,4
	$f_{c,p,k}$	12,0	11,1	9,6	9,0	7,6	6,1
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	6,6	6,1	5,5	4,8	4,4	4,2
	$f_{r,p,k}$	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Rigidez media en N/mm ²							
Flexión	$E_{m,p}$	3200	2900	2700	2400	2100	1800
Tracción	$E_{t,p}$	1800	1700	1600	1400	1200	1100
Compresión	$E_{c,p}$	1800	1700	1600	1400	1200	1100
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	860	830	770	680	600	550
Densidad en kg/m ³							
Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla 3. Tableros de partículas estructurales para su uso en ambiente húmedo Tipo P5 (UNE EN 312). Valores de las propiedades

		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
Propiedades		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia característica en N/mm ²							
Flexión	$f_{m,p,k}$	15,0	13,3	11,7	10,0	8,3	7,5
Tracción	$f_{t,p,k}$	9,4	8,5	7,4	6,6	5,6	5,6
Compresión	$f_{c,p,k}$	12,7	11,8	10,3	9,8	8,5	7,8
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	7,0	6,5	5,9	5,2	4,8	4,4
Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
Rigidez media en N/mm ²							
Flexión	$E_{m,p}$	3500	3300	3000	2600	2400	2100
Tracción	$E_{t,p}$	2000	1900	1800	1500	1400	1300
Compresión	$E_{c,p}$	2000	1900	1800	1500	1400	1300
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	960	930	860	750	690	660
Densidad en kg/m ³							
Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla 4. Tableros de partículas de alta prestación estructural para su uso en ambiente seco Tipo P6 (UNE EN 312). Valores de las propiedades

		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
Propiedades		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia (característica), en N/mm ²							
Flexión	$f_{m,p,k}$	16,5	15,0	13,3	12,5	11,7	10,0
Tracción	$f_{t,p,k}$	10,5	9,5	8,5	8,3	7,8	7,5
Compresión	$f_{c,p,k}$	14,1	13,3	12,8	12,2	11,9	10,4
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	7,8	7,3	6,8	6,5	6,0	5,5
Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	1,9	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Rigidez media, en N/mm ²							
Flexión	$E_{m,p}$	4400	4100	3500	3300	3100	2800
Tracción	$E_{t,p}$	2500	2400	2100	1900	1800	1700
Compresión	$E_{c,p}$	2500	2400	2100	1900	1800	1700
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	1200	1150	1050	950	900	880
Densidad, en kg/m ³							
Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla 5. Tableros de partículas de alta prestación estructural para su uso en ambiente húmedo Tipo P7 (UNE EN 312). Valores de las propiedades

		Espesor nominal, t_{nom} , en mm					
Propiedades		> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Resistencia característica en N/mm ²							
Flexión	$f_{m,p,k}$	18,3	16,7	15,4	14,2	13,3	12,5
Tracción	$f_{t,p,k}$	11,5	10,6	9,8	9,4	9,0	8,0
Compresión	$f_{c,p,k}$	15,5	14,7	13,7	13,5	13,2	13,0
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	8,6	8,1	7,9	7,4	7,2	7,0
Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	2,4	2,2	2,0	1,9	1,9	1,8
Rigidez media en N/mm ²							
Flexión	$E_{m,p}$	4600	4200	4000	3900	3500	3200
Tracción	$E_{t,p}$	2600	2500	2400	2300	2100	2000
Compresión	$E_{c,p}$	2600	2500	2400	2300	2100	2000
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	1250	1200	1150	1100	1050	1000
Densidad en kg/m ³							
Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	550	500	500

Tabla 6. Tableros de fibras duros y semiduros estructurales. Valores de las propiedades

		Duros (UNE EN 622-2 - HB.HLA2) Para su uso en ambiente húmedo Espesor nominal, t_{nom} , en mm			Semiduros (UNE EN 622-3 - MBH.LA-2) Para su uso en ambiente seco Espesor nominal, t_{nom} , en mm	
Propiedades		≤ 3,5	> 3,5 a 5,5	> 5,5	≤ 10	> 10
Resistencia característica en N/mm ²						
Flexión	$f_{m,p,k}$	37,0	35,0	32,0	17,0	15,0
Tracción	$f_{t,p,k}$	27,0	26,0	23,0	9,0	8,0
Compresión	$f_{c,p,k}$	28,0	27,0	24,0	9,0	8,0
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	19,0	18,0	16,0	5,5	4,5
Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$	3,0	3,0	2,5	0,3	0,25
Rigidez media en N/mm ²						
Flexión	$E_{m,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
Tracción	$E_{t,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
Compresión	$E_{c,p}$	5000	4800	4600	3100	2900
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	2100	2000	1900	1300	1200
Densidad en kg/m ³						
Característica	$\rho_{p,k}$	900	850	800	650	600

Tabla 7. Tableros de fibras estructurales fabricados por proceso seco (MDF). Valores de las propiedades

		MDF-LA (UNE EN 622-5) Para su uso en ambiente seco				MDF-HLS (UNE EN 622-5) Para su uso en ambiente húmedo ^(*)			
		Espesor nominal, t_{nom} , en mm				Espesor nominal, t_{nom} , en mm			
Propiedades		>1,8 a 12	>12 a 19	>19 a 30	>30	>1,8 a 12	>12 a 19	> 19 a 30	>30
Resistencia característica en N/mm ²									
Flexión	$f_{m,p,k}$	21,0	21,0	21,0	19,0	22,0	22,0	21,0	18,0
Tracción	$f_{t,p,k}$	13,0	12,5	12,0	10,0	18,0	16,5	16,0	13,0
Compresión	$f_{c,p,k}$	13,0	12,5	12,0	10,0	18,0	16,5	16,0	13,0
Cortante, en el grueso	$f_{v,p,k}$	6,5	6,5	6,5	5,0	8,5	8,5	8,5	7,0
Cortante, en el plano	$f_{r,p,k}$ ^(**)	-	-	-	-	-	-	-	-
Rigidez media en N/mm ²									
Flexión	$E_{m,p}$	3700	3000	2900	2700	3700	3200	3100	2800
Tracción	$E_{t,p}$	2900	2700	2000	1600	3100	2800	2700	2400
Compresión	$E_{c,p}$	2900	2700	2000	1600	3100	2800	2700	2400
Cortante, en el grueso	$G_{v,p}$	800	800	800	600	1000	1000	1000	800
Densidad en kg/m ³									
Característica	$\rho_{p,k}$	650	600	550	500	650	600	550	500

^(*) En ambiente húmedo solo podrá usarse para cargas instantáneas o de corta duración.

^(**) El valor de $f_{r,p,k}$ lo declarará el fabricante del tablero MDF-LA o del tablero MDF-HLS

Tabla 8.

Tableros de virutas orientadas para uso en ambiente seco (OSB/2) y para uso en ambiente húmedo (OSB/3).
Valores de las propiedades.

OSB/2 y OSB/3 (UNE EN 300)

Para su uso en ambiente seco y húmedo

Espesor nominal, t_{nom} , en mm

Propiedades			> 6 a 10	> 10 a 18	> 18 a 25
Resistencia característica en N/mm ²					
Flexión	paralela	$f_{m,p,0,k}$	18,0	16,4	14,8
	perpendicular	$f_{m,p,90,k}$	9,0	8,2	7,4
Tracción	paralela	$f_{t,p,0,k}$	9,9	9,4	9,0
	perpendicular	$f_{t,p,90,k}$	7,2	7,0	6,8
Compresión	paralela	$f_{c,p,0,k}$	15,9	15,4	14,8
	perpendicular	$f_{c,p,90,k}$	12,9	12,7	12,4
Cortante en el grueso		$f_{v,p,k}$	6,8	6,8	6,8
Cortante en el plano		$f_{r,p,k}$	1,0	1,0	1,0
Rigidez media en N/mm ²					
Flexión	paralela	$E_{m,0,p}$	4930	4930	4930
	perpendicular	$E_{m,90,p}$	1980	1980	1980
Tracción	paralela	$E_{t,0,p}$	3800	3800	3800
	perpendicular	$E_{t,90,p}$	3000	3000	3000
Compresión	paralela	$E_{c,0,p}$	3800	3800	3800
	perpendicular	$E_{c,90,p}$	3000	3000	3000
Cortante en el grueso		$G_{v,p}$	1080	1080	1080
Cortante en el plano		$G_{r,p}$	50	50	50
Densidad en kg/m ³					
Característica		$\rho_{p,k}$	550	550	550

OSB/4 (UNE EN 300)
De alta prestación para su uso en ambiente
húmedo

Espesor nominal, t_{nom} , en mm

Propiedades			> 6 a 10	> 10 a 18	> 18 a 25
Resistencia característica en N/mm ²					
Flexión	paralela	$f_{m,p,0,k}$	24,5	23,0	21,0
	perpendicular	$f_{m,p,90,k}$	13,0	12,2	11,4
Tracción	paralela	$f_{t,p,0,k}$	11,9	11,4	10,9
	perpendicular	$f_{t,p,90,k}$	8,5	8,2	8,0
Compresión	paralela	$f_{c,p,0,k}$	18,1	17,6	17,0
	perpendicular	$f_{c,p,90,k}$	14,3	14,0	13,7
Cortante en el grueso		$f_{v,p,k}$	6,9	6,9	6,9
Cortante en el plano		$f_{r,p,k}$	1,1	1,1	1,1
Rigidez media en N/mm ²					
Flexión	paralela	$E_{m,0,p}$	6780	6780	6780
	perpendicular	$E_{m,90,p}$	2680	2680	2680
Tracción	paralela	$E_{t,0,p}$	4300	4300	4300
	perpendicular	$E_{t,90,p}$	3200	3200	3200
Compresión	paralela	$E_{c,0,p}$	4300	4300	4300
	perpendicular	$E_{c,90,p}$	3200	3200	3200
Cortante en el grueso		$G_{v,p}$	1090	1090	1090
Cortante en el plano		$G_{r,p}$	60	60	60
Densidad en kg/m ³					
Característica		$\rho_{p,k}$	550	550	550

Tabla 9.
Tableros de virutas orientadas de alta
prestación para uso en ambiente húmedo
(OSB/4).
Valores de las propiedades.

- UNE-EN 12369-2: define un sistema de clases resistentes para los tableros contrachapados relativos a la resistencia (Clases F3 a F80) y módulo de elasticidad (Clases E5 a E140) en flexión, tablas 11 y 12.

Para esta familia de tableros el fabricante deberá cumplir las especificaciones correspondientes a cada clase de resistencia a la flexión y de módulo de elasticidad en flexión, definidas en la norma UNE-EN 636. En un sistema parecido al de la madera aserrada, en el que el fabricante deberá declarar las clases de resistencia y elasticidad a las que quedan asignadas los distintos tableros que produce (clase en dirección de la fibra/clase en dirección perpendicular).

Tabla 10. Clases de resistencia a flexión para
el tablero contrachapado. Valores característicos de resistencia a la
flexión $f_{m,K}$ (UNE - 12369-2)

Clase	Valor mínimo de la resistencia característica a flexión N/mm ²
F3	3
F5	5
F10	10
F15	15
F20	20
F25	25
F30	30
F40	40
F50	50
F60	60
F70	70
F80	80

$f_{m0,5}$

Tabla 11. Clases de módulo de elasticidad a flexión para el tablero contrachapado. Valores medios del módulo de elasticidad E_m , mean (UNE-EN 12369-2)

Clase	Valor mínimo del módulo de elasticidad medio N/mm^2
E5	500
E10	1000
E15	1500
E20	2000
E22	2500
E30	3000
E40	4000
E50	5000
E60	6000
E70	7000
E80	8000
E90	9000
E100	10000
E120	12000
E140	14000

Los valores característicos del módulo de elasticidad (5º percentil) se tomarán como 0'8 veces los valores de la tabla 11.

Ejemplo: un tablero contrachapado designado F10/20 y E 30/40, tendrá como mínimo un valor característico de resistencia a flexión de 10 y 20 N/mm^2 (en dirección paralela y perpendicular, respectivamente) y como mínimo un valor medio del módulo de elasticidad, de 3000 y 4000 N/mm^2 (en dirección paralela y perpendicular respectivamente).

- prEN 12369-3: proyecto de norma que establece unos valores mínimos para los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros de madera maciza. Se trata de unos valores generales sin diferenciar la especie de madera.

En las tablas 12 y 13 se indican los valores de las propiedades de resistencia, rigidez y densidad para cada tipo de tablero según lo establecido en la norma prEN 12369-3.

Tabla 12. Valores característicos de tableros de madera maciza monocapas (prEN 12369-3, requisitos de UNE-EN 13353)

Espesor mm	Valores característicos		
	Densidad kg/m^3	Flexión paralela a la dirección de la fibra N/mm^2	
	ρ	f_m	E_m
20-30	410	40	10000

Como valor del 5º percentil para el módulo de elasticidad (E_m) se tomará 0,85 veces del valor medio de la tabla 12.

Tabla 13. Valores característicos de las resistencias de tableros de madera maciza multicapa (prEN 12369-3, requisitos de UNE-EN 13353)

Espesor mm	Valores característicos de densidad en kg/m³ y resistencia en N/mm²												
	Densidad	Flexión de canto		Flexión de tabla		Tracción		Compresión		Cortante de canto (*)		Cortante de tabla (**)	
		f_m		f_p		f_t		f_c		f_v		f_r	
		0	90	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
t	ρ												
12-20	410	35	5	25	12	16	6	16	10	4	5	1,6	1,4
>20-32	410	30	5	14	12	9	6	16	10	4	3,5	1,6	1,4
>30-42	410	16	9	12	12	6	6	10	16	3,5	2,5	1,2	1,4
>42	410	12	9	10	12	6	6	10	16	2,5	2	1,2	1,4
(*) De canto o en el grueso del tablero.													
(**) De tabla o en el plano del tablero.													

Tabla 14. Valores medios de la rigidez de tableros de madera maciza multicapa (prEN 12369-3, requisitos de UNE-EN 13353)

Espesor mm	Valores medios del módulo de elasticidad en N/mm ²									
	Flexión de canto		Flexión de tabla		Tracción		Cortante de canto (*)		Cortante de tabla (**)	
	E_m		E_p		E_t		G_v		G_r	
	0	90	0	90	0	90	0	90	0	90
t										
12-20	10000	550	4700	3500	4700	2900	470	470	41	41
>20-32	8200	550	2900	3500	3500	2900	470	470	41	41
>30-42	7600	1500	2400	4700	2400	2900	470	470	41	41
>42	7100	1500	1800	4700	2400	2900	470	470	41	41

(*) De canto o en el grueso del tablero.
(**) De tabla o en el plano del tablero.

Como valor del 5º percentil para el módulo de elasticidad (E_m) se tomará 0,85 veces el valor medio de la tabla 14 anterior.

Además de todo lo anterior, en la norma UNE-EN 634-2 quedan establecidos los valores de resistencia y densidad mínimos exigidos para los tableros de madera-cemento (tipo OPC). La tabla 15 recoge tales valores.

En el caso de cualquier otro tipo de tablero no contemplado en las normas anteriores, o cuando el fabricante desee aportar valores diferentes a los anteriores, los valores característicos deberán obtenerse mediante ensayos efectuados según las normas UNE-EN 789 y UNE-EN 1058, siendo calculados según la norma UNE-EN 14358. El fabricante será el responsable de aportar la información sobre estas propiedades.

Tabla 15. Valores característicos del tablero de madera-cemento (tipo OPC)

Propiedad	Unidades	Requisito (todos los espesores)
Densidad	kg/m ³	1000
Resistencia a la flexión	N/mm ²	9
Módulo elasticidad en flexión	N/mm ²	Clase 1 4500 Clase 2 4000
Resistencia a la tracción	N/mm ²	0,5

Durabilidad

En la tabla 16 se resumen la aptitud de empleo de los diversos tipos de tableros para cada clase de servicio y de uso.

Tabla 16. Aptitud de los tableros a la clase de servicio y de uso.
La aptitud a una clase de servicio implica la aptitud a las clases inferiores.

Tablero Norma	Tipo	Clase de	
		Servicio	Uso
Madera maciza UNE-EN 12775	SWP1	1	1
	SWP2	2	2
	SWP3	3	4
Contrachapado UNE-EN 636	1 (seco)	1	1
	2 (húmedo)	2	2
	3 (exterior)	3	4/5
Virutas orientadas UNE-EN 300	OSB 2	1	1
	OSB 3	2	2
	OSB 4	2	2
Partículas UNE-EN 312	P4	1	1
	P5	2	2
	P6	1	1
	P7	2	2
Fibras duros UNE-EN 622-2	HB. LA	1	1
	HB.HLA1 y 2	2	2
Fibras media densidad UNE-EN 622-5	MDF.LA	1	1
	MDF.HLS	2	2
Fibras semiduros UNE-EN 622-3	MBH.LA1 y 2	1	1
	MBH.HLS1 y 2	2	2
Madera cemento		2	3

Comportamiento al fuego

La clasificación de reacción al fuego de los tableros derivados de la madera se recoge en la norma UNE-EN 13986, cuyo re-

sumen se presenta en la tabla 17. Esta clasificación se puede mejorar mediante tratamientos ignífugos de las chapas, de todo el tablero o añadiendo productos ignífugos al adhesivo utilizado en su fabricación.

Tabla 17. Euroclases definidas para los tableros derivados de la madera según norma UNE-EN 13986

Tipo Tablero	Norma UNE-EN	Densidad mínima (kg/m ³)	Espesor mínimo (mm)	Clase (excluido revestimiento de suelo)	Clase revestimiento de suelo
Madera maciza	13353	400	12	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Contrachapados	636	400	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Partículas	312	600	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Fibras duros	622-2	900	6	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Fibras semiduros	622-3	600	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
		400	9	E, pasa	E _{FL}
Fibras blandos	622-4	250	9	E, pasa	E _{FL}
Fibras MDF	622-5	600	9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
Partículas cemento (OPC)	634-2	1000	10	B-s1, d0	B _{FL} -s1
Nota: Las clases establecidas en esta tabla se refieren a tableros no ensamblados, tableros ensamblados por junta machihembrada instalados según la norma UNE-ENV 12872 y tableros con juntas totalmente apoyadas sobre viguetas instaladas según la norma UNE-EN12872.					

Propiedades físicas

cas relacionadas con el acondicionamiento ambiental extraídas del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

En la tabla 18 se recogen los valores de las propiedades físicas

Tabla 18. Propiedades físicas de los tableros relacionadas con el acondicionamiento ambiental.

Producto	ρ kg / m ³	λ W / m·K	c_p J / kg·K	μ
Tablero contrachapado, tableros de madera maciza (SWP) y madera microlaminada (LVL) ⁽¹⁾	700 < ρ ≤ 900	0,24	1600	110
	600 < ρ ≤ 750	0,21	1600	110
	500 < ρ ≤ 600	0,17	1600	90
	450 < ρ ≤ 500	0,15	1600	70
	350 < ρ ≤ 450	0,13	1600	70
	250 < ρ ≤ 350	0,11	1600	50
	ρ ≤ 250	0,09	1600	50
Tablero de partículas	640 < ρ ≤ 820	0,18	1700	20
	450 < ρ ≤ 640	0,15	1700	20
	270 < ρ ≤ 450	0,13	1700	20
	180 < ρ ≤ 270	0,10	1700	20
Tablero de madera-cemento (OPC)	≤ 1200	0,23	1500	30
Tableros de fibras, incluyendo MDF ⁽²⁾	750 < ρ ≤ 1000	0,20	1700	20
	550 < ρ ≤ 750	0,18	1700	20
	350 < ρ ≤ 550	0,14	1700	12
	200 < ρ ≤ 350	0,10	1700	6
	ρ ≤ 200	0,07	1700	2
Tableros de fibras con conglomerante hidráulico	450 < ρ ≤ 550	0,15	1700	12
	350 < ρ ≤ 450	0,12	1700	5
	250 < ρ ≤ 350	0,10	1700	5
Tablero de virutas orientadas (OSB)	ρ ≤ 650	0,13	1700	30
Corcho	ρ ≤ 500	0,10	1560	5
Comprimido	100 ≤ ρ ≤ 150	0,049	1560	5
Expandido puro	150 ≤ ρ ≤ 250	0,055	1560	5
Expandido con resinas sintéticas	100 ≤ ρ ≤ 150	0,049	1560	5
Placas de corcho	ρ > 400	0,065	1500	20

⁽¹⁾ Como medida provisional y hasta disponer de suficientes datos significativos para los tableros de madera maciza (SWP) y madera microlaminada (LVL) pueden utilizarse los valores dados para contrachapados.

⁽²⁾ MDF: Tablero de fibras de densidad media, proceso en seco.

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

c_p Calor específico, en J/kg K;

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

ρ Densidad en Kg/m³.

Estabilidad dimensional

En la tabla 19 quedan recogidos los valores medios de las variaciones dimensionales que se producen en estos tableros por cada 1% de variación en su contenido de humedad. En dicha tabla también figuran los valores de la humedad de equilibrio del tablero para tres condiciones de humedad relativa (a 20°C).

Tabla 19.
Variaciones dimensionales del tablero (fuente Wood Panels Industries Federation)

Tablero	Variaciones dimensionales* (%)			Humedad de Equilibrio para una humedad relativa (%)		
	Longitud	Anchura	Espesor	30%	65%	80%
T. Partículas						
P4 y P6	0,05	0,05	0,7	7	11	15
P5 y P7	0,03	0,04	0,5			
T. OSB						
OSB2	0,03	0,04	0,7	5	10	15
OSB3	0,02	0,03	0,5			
OSB4	0,02	0,03	0,5			
T. Cemento (OPC)	0,05	0,05	0,04	5	10	14
T. Contrachapado	0,015	0,015	0,35	7	12	18
*Expresadas para una variación en el contenido de humedad del tablero de 1%						

TIPOS ESTRUCTURALES

Los usos estructurales de los tableros pueden clasificarse en los siguientes:

- Cerramiento de forjados como entrevigado.
- Cerramiento de cubiertas.
- Cerramiento de muros.
- Función de arriostramiento y estabilidad de construcciones ligeras sirviendo de diafragmas en forjados, cubiertas y muros.
- Alma de viguetas prefabricadas mixtas con madera maciza, laminada o microlaminada.
- Alas de paneles de caras en tensión para casetones de forjado o de cubierta.

MARCADO CE

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. La norma armonizada que regula su marcado CE es la UNE-EN 13986, que entró en vigor de forma definitiva el 1 de junio de 2006, siendo obligatorio el Marcado CE desde dicha fecha.

BIBLIOGRAFÍA

- Arriaga, F., Peraza, F. y García Esteban, L. (2008). Characteristic values of the mechanical properties of radiata pine plywood and the derivation of basic values of the layers for a calculation method. *Biosystems Engineering (Biosyst. Eng.)*. Vol 99/2 pp 256-266. ISSN 1537-5110.
- Arriaga, F., González, M.A., Medina, G., Ortiz, J., Peraza, F., Peraza, J.E. y Touza, M. (1994) *Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración*. Editorial Aitim, Madrid. 572 pp.
- Catálogo de elementos constructivos del CTE*. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. Versión preliminar: Mayo 08.
- Fernández Golfin-Seco, J.I. (1985). *El tablero aglomerado de madera en cerramientos*. Ed. ODITA, Madrid, 32 pp.
- Fernández Golfin-Seco, J.I. (1989). *Curso de construcción con madera. Estructuras mixtas, Rehabilitación, Carpintería. Capítulo 1 "Los tableros de madera en la construcción"*. Ed COAM, Madrid, 118 pp.
- Grau, J. (1978). *Estudio general de aplicaciones del tablero aglomerado de madera en la construcción*. Ed. ODITA, Madrid, 98 pp.
- Grau, J., Verd, A. y Gutiérrez, M.V. (1979). *El tablero aglomerado en la construcción*. Ed. ODITA, Madrid, 221 pp.
- Herzog, T., Natterer, J., Schweitzer, R., Volz, M. and Winter, W. (2004). *Timber construction manual*. Birkhäuser. Edition Detail.

ODITA (1985). *El tablero aglomerado de madera hidrófugo en encofrados y base de cubiertas*. Ed. ODITA, Madrid, 44 pp.

Peraza, F., Arriaga, F. y Peraza, J.E. (2004). *Tableros derivados de la madera de uso estructural*. Ed. AITIM, Madrid, 252 pp.

NORMATIVA

prEN 12369-3:2008. *Wood-based panels. Characteristic values for structural design. Part 3: Solid-wood panels*.

UNE-EN 1058:1996. *Tableros derivados de la madera. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y de la densidad*.

UNE-EN 12369-1:2001. *Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 1: OSB, tableros de partículas y tableros de fibras*.

UNE-EN 12369-2:2004. *Tableros derivados de la madera. Valores característicos para el cálculo estructural. Parte 2: tableros contrachapados*.

UNE-EN 12775:2001. *Tableros de madera maciza. Clasificación y terminología*.

UNE-EN 13353:2008. *Tableros de madera maciza (SWP). Requisitos*.

UNE-EN 13986:2006. *Tableros derivados de la madera para utilización en construcción. Características, evaluación de la conformidad y marcado*.

UNE-EN 14272:2003 *Tableros contrachapados. Método de cálculo para algunas propiedades mecánicas*.

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

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

UNE-EN 633:1995. *Tableros de partículas aglomeradas con cemento. Definición y clasificación*.

UNE-EN 634-1:1996. *Tableros de partículas aglomeradas con cemento. Especificaciones. Parte 1: Especificaciones generales*.

UNE-EN 634-2:2007. *Tableros de partículas aglomeradas con cemento. Especificaciones. Parte 2: Especificaciones para los tableros de partículas aglomeradas con cemento Portland ordinario para utilización en ambiente seco, húmedo y exterior*.

UNE-EN 636:2004. *Tableros contrachapados. Especificaciones*.

UNE-EN 789:2006. *Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la madera*.

VIGAS MIXTAS PREFABRICADAS

DEFINICIÓN

Son piezas estructurales de sección compuesta con unas cabezas o alas de madera o materiales derivados de la madera y un alma de tablero derivado de la madera o acero. El tipo más frecuente consiste en una viga en doble T con alas de madera microlaminada y alma de tablero de virutas orientadas.

APLICACIONES

Su aplicación en la construcción más típica es la de constituir la estructura secundaria en edificación residencial o industrial utilizándose fundamentalmente como viguetas de forjado o correas de cubierta.

Son elementos muy ligeros que permiten un montaje rápido, sencillo y con medios de elevación ligeros o manuales. Su alma abierta o perforable permite el paso de conducciones de distribución de agua, saneamiento y electricidad.

Comentarios:

Una de las ventajas que presentan frente a otros elementos estructurales para forjados y cubiertas, como es el caso de la madera aserrada, es que el fabricante ofrece tablas para el dimensionado directo y la información necesaria para la resolución de prácticamente todos los detalles constructivos y uniones. La longitud de las viguetas puede llegar a 18 o 20 m, por lo que es sencillo diseñar forjados de dos o tres vanos continuos. La relación resistencia/peso es muy ventajosa; el peso por metro lineal de las viguetas con alma de tablero varía entre 3 y 9 kg en función de las dimensiones del ala. Esto significa que pueden colocarse manualmente, lo que proporciona ventajas económicas y ahorros de tiempo en la puesta en obra. Normalmente en el alma de las vigas vienen pre-taladrados una serie de orificios circulares, que se pueden quitar y que facilitan el paso de la instalación eléctrica y sanitaria. Las cabezas de las viguetas permiten instalar o colocar fácilmente el material utilizado como entrevigado.

MATERIALES

En su fabricación se pueden utilizar una gran variedad de materiales y componentes:

Para las alas:

- madera aserrada estructural.
- madera laminada encolada.
- madera microlaminada.

Para el alma:

- tableros de virutas de madera orientadas estructurales.
- tableros contrachapados estructurales.
- tableros de fibras estructurales.
- tableros de partículas estructurales.
- elementos de acero galvanizado en forma de V que constituyen una celosía.
- chapa plegada de acero galvanizado.

Para la unión entre alas y alma se emplean adhesivos (normalmente de Fenol-Formaldehído y Fenol-Resorcinol) cuando se trata de alma de tablero; y la unión entre piezas metálicas y las alas o cabezas se realiza mediante un sistema de placa clavo de la misma pieza metálica que se une mediante prensas en la fábrica.

Todos los productos utilizados deben cumplir sus correspondientes normas de productos y estar caracterizados.

TIPOS ESTRUCTURALES

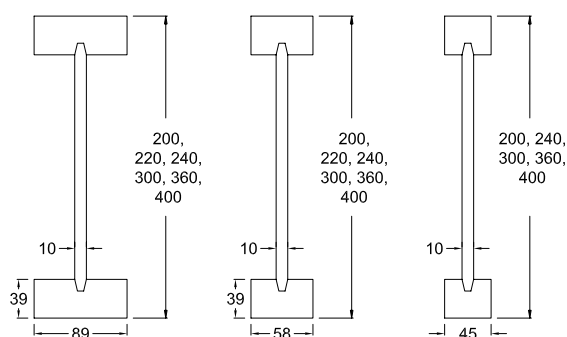
Viguetas con alas de madera microlaminada y alma de tablero de virutas

Las alas de las viguetas son de madera microlaminada con una anchura de 39 mm y una altura variable de 38, 45, 58 y 89 mm, según el modelo y el fabricante. El alma es de tablero



de virutas orientadas con un grueso de 9,5, 10 y 12,7 mm según fabricantes. Originariamente el alma se fabricaba con tablero contrachapado, pero en la actualidad ha sido desplazado por el tablero de virutas orientadas. El canto total de la vigueta varía entre 180 y 508 mm, aunque bajo pedido puede llegarse hasta los 762 mm. El producto fabricado en Europa sigue una gama de cantos habituales de 200, 220, 240, 300, 360 y 400 mm, figura 1. La longitud suele quedar limitada al largo de transporte de unos 14 m.

Figura 1.
Viguetas con alas de madera microlaminada y alma de tablero de virutas orientadas.



Viguetas con alas de madera aserrada y alma de tablero de fibras duro

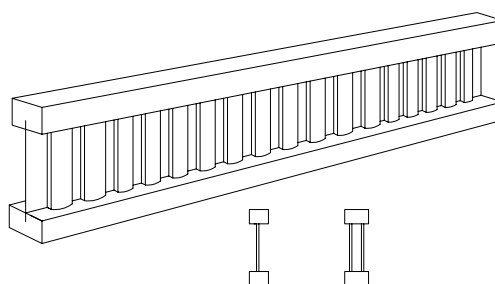
Es un sistema similar al anterior en el que el material que constituye las alas es madera aserrada clasificada estructuralmente con empalmes dentados encolados y con una sección de 45x45 mm y de 70x45 mm; el alma es de tablero de fibras duro con un grueso del orden de los 8 mm. El canto total varía de 200 a 550 mm y la longitud máxima entre 12 y 15 m. Este producto actualmente no es frecuente en el mercado.

Viguetas con alas de madera aserrada y alma de chapa de acero plegada

Viguetas formadas con un alma de acero galvanizado con un tratamiento epoxi que se prensa entre dos nervios o alas de madera de conífera generalmente tratada con productos protectores. Las alas tienen una sección de 72x36 a 122x61 mm. El alma de acero tiene forma plegada para aumentar su iner-

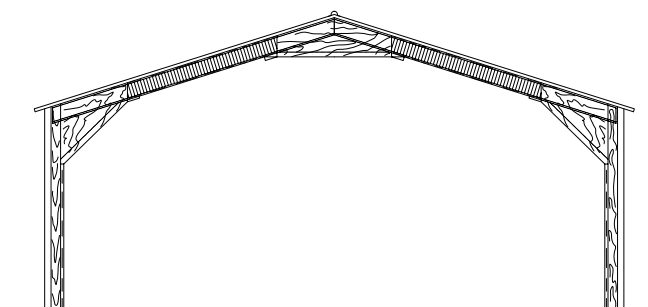
cia transversal y evitar el pandeo local por abolladura, figura 2. El sistema de fabricación permite dotar a las viguetas de una contraflecha de ejecución. Su longitud máxima es de 18 a 20 m. El canto total varía de 180 a 480 mm.

Figura 2.
Vigueta con alma de chapa plegada.



Se utilizan como viguetas de forjado de piso, correas y pares de cubierta. Además, permiten la fácil construcción de cubiertas habitables e incluso pórticos a dos aguas de uso industrial con luces de hasta 12 m, figura 3.

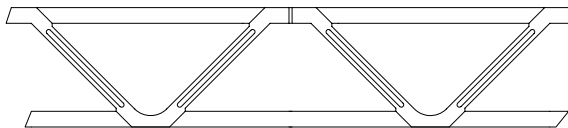
Figura 3. *Pórticos a dos aguas contruidos con viguetas con alma de chapa plegada.*



Viguetas con alas de madera aserrada y alma de celosía de acero

Estas viguetas están formadas por alas de madera aserrada con empalmes dentados y un alma de celosía constituida por piezas de acero en forma de V que se unen por clavado a las alas. La unión se realiza mediante prensado en fábrica de los extremos de las piezas que disponen de clavos obtenidos por estampación de la propia pieza metálica, figura 4. El canto total de la vigueta es de 200 a 570 mm. La separación entre ejes de viguetas de forjado de piso es de 45 a 60 cm y en correas o pares de cubierta de 60, 90 o 120 cm.

Figura 4. Viguetas con alas de madera aserrada y alma formada por piezas metálicas en V clavadas.



PROPIEDADES

Al no existir ni normas EN de producto ni normas armonizadas, el fabricante que desee disponer del Marcado CE deberá aportar la información correspondiente a las propiedades de su producto mediante un Documento de Idoneidad Técnica Europeo (DITE) o ETA (European Technical Approval) emitido por un Organismo Notificado y obtenido a partir de los ensayos efectuados de acuerdo con los contenidos de la Guía ETAG (European Technical Approval Guidelines) nº 11 "Light Composite Wood-based Beams and Columns".

Propiedades mecánicas. Capacidad portante

Al tratarse de un producto prefabricado el fabricante deberá aportar las propiedades mecánicas necesarias para el cálculo estructural o las tablas y ábacos de dimensionado directo junto con las bases de cálculo utilizadas.

Comportamiento al fuego

Estos elementos prefabricados tienen componentes de espesores muy reducidos como los tableros o piezas metálicas sin protección contra el fuego, por lo que su resistencia al fuego

no alcanza por sí mismo los 30 minutos. Por tanto, es necesario recurrir a la protección contra el fuego mediante la instalación de capas de tableros de yeso laminado en su cara inferior. En general, para alcanzar los 30 minutos es suficiente con un tablero de yeso laminado de 15 mm y para 60 minutos dos tableros. No obstante, el fabricante deberá incluir información sobre la resistencia al fuego basada en ensayos realizados en soluciones concretas.

Comportamiento acústico

Los forjados contruidos con estos sistemas son muy ligeros y para cumplir los requisitos de aislamiento acústico requieren de la ayuda de otros elementos constructivos como suelen ser una doble capa de tableros de yeso laminado instalada en la cara inferior suspendidas de perfiles resilientes, fibra de vidrio en la cavidad interior y varias capas de tableros en la cara superior. El fabricante deberá aportar información sobre su comportamiento acústico basado en ensayos.

ALMACENAJE, TRANSPORTE Y MONTAJE

Las viguetas se almacenarán y manipularán siempre en posición vertical. Se dispondrán protegidas de la lluvia y separadas del suelo en pilas con rastreles separados a 3 m.

Las viguetas son inestables hasta que no se coloque el tablero de cerramiento por lo que no debe caminarse ni colocar cargas sobre ellas hasta ese momento.

Pueden cortarse utilizando las mismas herramientas utilizadas para trabajar la madera. Sin embargo, no deberían realizarse cortes o taladros en el ala de las viguetas. En el caso de que se realizara algún corte, deberían seguirse las indicaciones del fabricante.

En las viguetas de alma llena se pueden realizar orificios en el alma para el paso de cables y de tuberías. Cada fabricante establece claramente en su catálogo su forma, dimensión y localización. Como no se puede generalizar se ha de seguir lo especificado y recomendado por el fabricante. En el caso de que no estuvieran especificados y si se realizaran, deberían estar aprobados por el fabricante.

Además los fabricantes deben especificar los posibles refuerzos en los apoyos y en los puntos donde pueden actuar cargas puntuales. El objetivo de estos refuerzos es evitar el pandeo local o abolladura del alma. La transmisión vertical de las cargas, que actúan en la parte superior, a los apoyos puede requerir la adición de nuevas piezas. Estas piezas pueden ser de madera aserrada, tablero contrachapado, tablero de viru-

tas orientadas e incluso vigas prefabricadas de dimensiones más pequeñas. Todos los entramados deberían realizarse siguiendo las indicaciones del fabricante.

Cuando sea necesario suspender pesos de las viguetas debe tenerse la precaución de que no actúen sobre su ala inferior. Se pueden utilizar herrajes especiales, parecidos a los empleados en la madera laminada encolada, que suelen venir especificados en los catálogos de los fabricantes.

MARCADO CE

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. Al no existir norma armonizada de producto pero sí Guía ETAG, la implantación del Marcado CE es voluntaria por parte del fabricante pero en caso de ser efectuada ha de hacerse de acuerdo con los contenidos técnicos de la Guía ETAG (European Technical Approval Guidelines) nº 11, la cual define todos los aspectos relativos al marcado CE de estos productos. Desde 2004 el Marcado CE de estos productos es posible.

BIBLIOGRAFÍA

Arriaga, F., González, M.A., Medina, G., Ortiz, J., Peraza, F., Peraza, J.E. y Touza, M. (1994) *Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración*. Editorial Aitim, Madrid. 572 pp.

Canadian Wood Council (1991). *Wood Reference Handbook*. Ed. Canadian Wood Council/Conseil Canadien du Bois, Ottawa – Canada.

Arriaga, F., González, M.A., Medina, G., Ortiz, J., Peraza, F., Peraza, J.E. y Touza, M. (1994) *Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración*. Editorial Aitim, Madrid. 572 pp.

Wood Handbook. *Wood as an engineering product* (1999). Forest Product Laboratory.

ETAG 011 (2002). *Light composite wood based panels, beams and columns*. EOTA. 52 páginas.

EOTA TR 002 (2000). *Test methods for light composite wood-based beams and columns*. EOTA.

Acceptance criteria for prefabricated wood I-Joist. International Conference of Building Officials (ICBO).

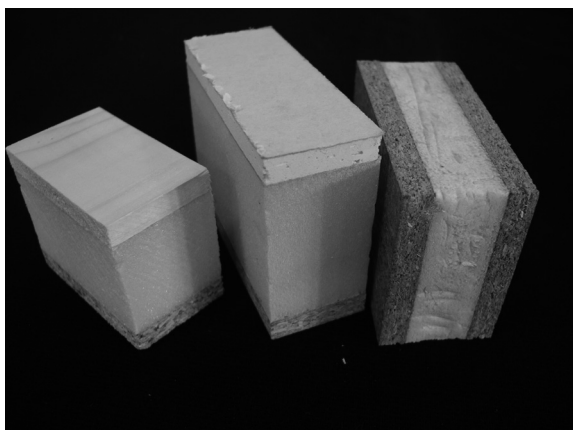
NORMATIVA

ASTM D 5055. *Standard specification for establishing and monitoring structural capacities of prefabricated wood I-Joists*.

PANELES SÁNDWICH DE CERRAMIENTO

DEFINICIÓN

Paneles ligeros compuestos por uno o dos paramentos formados por tableros o frisos de madera maciza o combinado con chapas metálicas, con o sin entramado interior, y un alma interior que suele ser aislante térmico, unida al menos a uno de los paramentos.



APLICACIONES

Las aplicaciones más características de este producto se encuentran en el cerramiento de la edificación y asume por lo general además de la función de cerramiento y soporte de las cargas aplicadas, la de aislamiento térmico gracias al material aislante del alma. En algunos casos puede llegar incluso a cumplir la función de impermeabilización. Las aplicaciones más frecuentes son:

- Cerramiento de cubiertas: Los paneles se apoyan sobre las correas o pares de la estructura de cubierta. Su gran ventaja es que pueden salvar luces mayores que el simple tablero (de hasta 2 o 3 m), resolviendo además el aislamiento térmico e, incluso, el acústico. El paramento inferior suele ser visto y, por ello, incorporar el acabado final, sin necesidad de operaciones posteriores. Es posible disponer teja sobre un enrastreado fijado a la cara superior del panel, que en algunos casos se coloca en fábrica.
- Cerramiento de muros exteriores: Los paneles quedan apoyados sobre el entramado estructural de la fachada y soportan las cargas aplicadas sobre la fachada y además aportan el aislamiento térmico.

- Doblado de cubiertas, falsos techos o muros de cerramiento. Son paneles sin funciones resistentes que permiten el acabado interior incorporando el aislamiento térmico o acondicionamiento acústico en construcciones de nueva planta o en la rehabilitación de edificios existentes.

DIMENSIONES

Las dimensiones más habituales son las siguientes:

Longitud: 2390, 2400, 2430, 2490, 2990, 3290, 3590, 4190, 4990 mm

Anchura: normalmente 600 mm; en algunos casos 540 mm.

Espesor: variable

El espesor depende fundamentalmente del grosor del material utilizado en el alma, que suele ser de (40, 50, 60, 80 mm o superiores); y de los espesores de los materiales de las caras y contracaras que pueden variar entre 10 y 27 mm.

MATERIALES

Los materiales que pueden formar parte de los paramentos del panel son los siguientes:

- Madera aserrada de madera de conífera (abeto o pino) o de frondosa (generalmente roble) en forma de friso machihembrado de 14 a 22 mm de grueso, que queda en la cara o paramento inferior y, por tanto, suele ser visible desde el interior del local.
- Tableros derivados de la madera con espesor de 10 mm aproximadamente:
 - o Para la cara inferior, normalmente vista, se suelen emplear los tableros contrachapados, de partículas, de fibras de densidad media rechapados o melaminados, de virutas orientadas, de yeso laminado, de viruta de madera o de madera-cemento con propiedades de absorción acústica.
 - o Para la cara exterior se suelen emplear los tableros de partículas con comportamiento mejorado a la humedad, los contrachapados o los de virutas orientadas.
- Chapa de acero: existen paneles mixtos (acero-madera) que utilizan para su paramento externo una chapa de acero de 0,5 a 0,6 mm de espesor y tableros o frisos de madera para su paramento interior. Con esta conformación, el paramento exterior de chapa sirve de impermeabilización.

Los materiales que constituyen el alma del panel suelen ser espumas sintéticas o materiales aislantes (entre ellos el corcho aglomerado negro) alcanzando un grueso de 30 a 120 mm (en algunos casos más). Los habituales son el poliestireno extruido, poliestireno expandido, lana de roca y corcho.

TIPOS

Se incluye una descripción de los tipos más frecuentes de paneles sándwich. Los valores de dimensiones y otros detalles constructivos tienen únicamente un carácter informativo. Cada fabricante tiene diseños y sistemas de colocación específicos.

Paneles con dos paramentos de tablero y alma de espuma

Se construyen encolando un alma de espuma aislante rígida a dos tableros derivados de la madera. Los tableros tienen un grueso del orden de 10 mm y el alma un grueso variable en función de los requerimientos de aislamiento térmico y del vano entre apoyos, variando desde 30 a 120 mm. En algunos casos la cara interior es un tablero ranurado imitando un friso de madera maciza, y la cara exterior puede incorporar un enrastrelado para el apoyo del contrarastrel y la teja.

El peso oscila entre 0,12 y 0,28 kN/m². Las luces de los vanos que pueden salvar varían entre 90 y 250 cm. La anchura más frecuente es de 600 mm, y la longitud habitual varía desde 2390 a 3590 mm. En las figuras 1 a 3 se incluyen diversos tipos de panel en función de su sección transversal y del sistema de unión.

Figura 1.
Panel sándwich con dos paramentos de tablero.

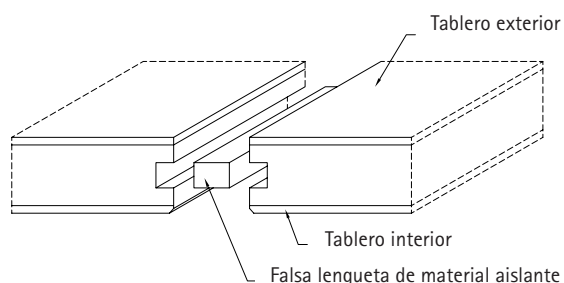


Figura 2.
Panel sándwich con tablero interior ranurado.

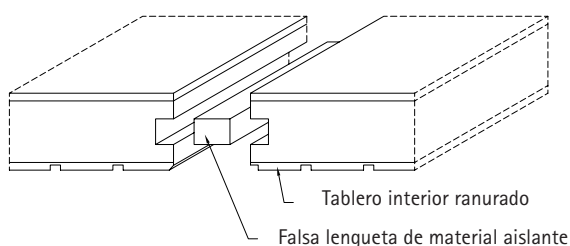
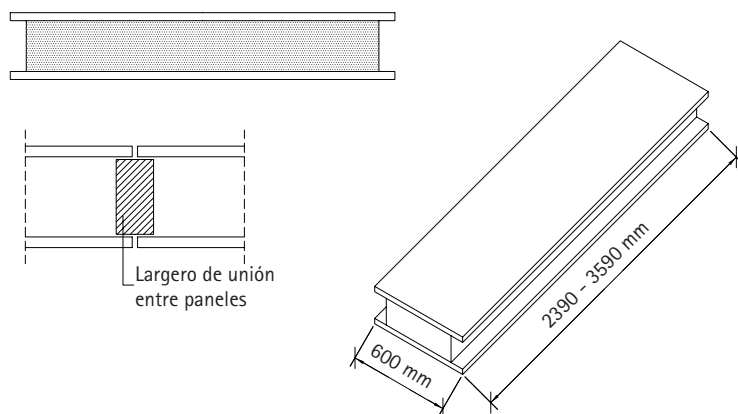


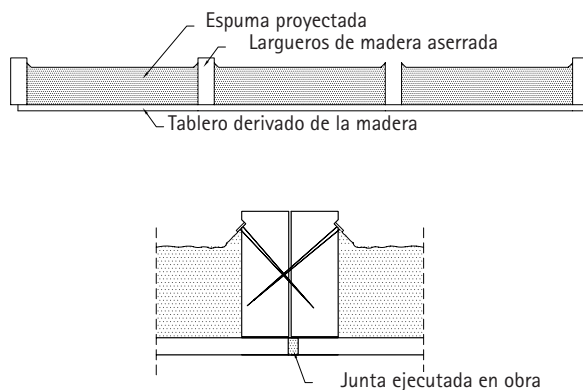
Figura 3.
Panel sándwich con uniones mediante largueros de madera aserrada.



Paneles con una sola cara armados con largueros de madera (casetones)

Se trata generalmente de paneles formados por un tablero de derivado de la madera colocado en la cara inferior, una capa de aislante térmico (a veces proyectado en fábrica) y unos refuerzos longitudinales de largueros de madera aserrada. Suelen constituir casetones que se disponen en piezas únicas desde alero a cumbrera. En la figura 4 se muestra un ejemplo.

Figura 4.
Paneles armados con largueros.

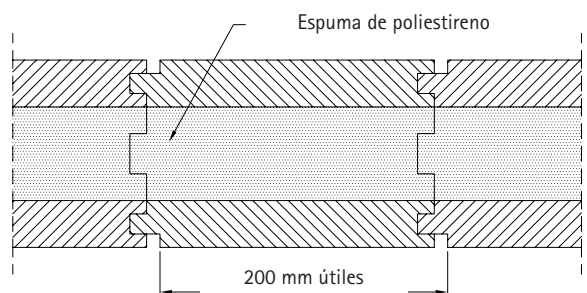


Paneles – entablados sándwich

Consisten en paneles en los que los dos paramentos están formados por tablas de madera y el alma por espuma de poliestireno de alta densidad encolada a las tablas. La anchura del panel queda reducida al ancho de la tabla (alrededor de 200 mm). En realidad se trata de un entablado tradicional que incorpora un mayor aislamiento y tiene una capacidad de carga muy superior a la de la tabla simple, figura 5.

El espesor total del panel varía entre 100 y 200 mm y el de la tabla es de unos 27 mm. La longitud de fabricación es de 12 a 18 m. Estos paneles o perfiles tienen una gran capacidad de flexión y permiten salvar grandes vanos entre apoyos (2 a 5 m).

Figura 5.
Paneles entablados-sándwich.

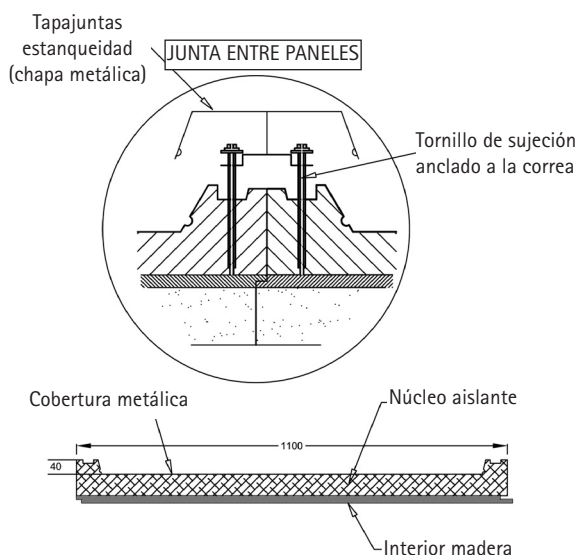


Paneles mixtos de acero y tablero

La cara externa de estos paneles es de chapa de acero con un grueso de 0,5 a 0,6 mm, que permite su utilización directa como impermeabilización, figura 6. El alma puede ser de lana de roca de alta densidad o de poliestireno expandido con un grueso de 50 a 120 mm. La cara interior está compuesta por un friso de madera aserrada de conífera (abeto o pino) con un espesor de 14 a 22 mm o por un tablero derivado de la madera, generalmente de virutas orientadas con un espesor de 10 mm.

Se fabrican con una longitud de 4,8 y 5 m y una anchura de 1100 mm. El peso varía entre 0,12 y 0,28 kN/m².

Figura 6.
Panel sándwich mixto de acero y tablero.



PROPIEDADES

Cada fabricante debe aportar la información correspondiente a las propiedades de su producto expresadas en un Documento de Idoneidad Técnico Europeo (DITE) o European Technical Approval (ETA), emitido por el correspondiente organismo notificado en base a los ensayos efectuados siguiendo una Guía ETAG. La Guía ETAG utilizada para la caracterización del comportamiento de estos paneles es la 016 "Composite Light Weight Panels". Esta guía tiene 4 partes: una general y tres para evaluar el comportamiento de estos productos para cubiertas, muros y revestimientos exteriores y paredes y revestimientos interiores. Es necesario apuntar que complementariamente a las exigencias establecidas en la Guía ETAG, los paneles deben cumplir las especificaciones definidas en el Código Técnico de la Edificación.

Comentarios:

Estos paneles se denominan en el documento ETAG 016 como paneles ligeros autoportantes. La denominación de autoportante en la ETAG quiere significar que se trata de un elemento constructivo que no forma parte de la estructura principal, ni tampoco cumple misiones de estabilización o arriostramiento del conjunto de la edificación. Se trata, pues, de un producto que sólo tiene que resistir las cargas que están aplicadas sobre él mismo (carga permanente, nieve, viento, tránsito de man-

tenimiento y temperatura) y que, por tanto, no recibe cargas de otros elementos constructivos. En caso contrario, si efectuasen funciones portantes la caracterización de su comportamiento y propiedades debería efectuarse según los contenidos de la Guía ETAG 019 "Pre-fabricated wood-based loadbearing stressed skin panels", y se denominan paneles sándwich portantes.

MARCADO CE

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. Al no existir norma armonizada de producto pero sí Guía ETAG, la implantación del Marcado CE es voluntaria por parte del fabricante pero en caso de ser efectuada ha de hacerse de acuerdo con los contenidos técnicos de la Guía ETAG (European Technical Approval Guidelines) nº 16, la cual define todos los aspectos relativos al marcado CE de estos productos. Desde 2004 el Marcado CE de estos productos es posible.

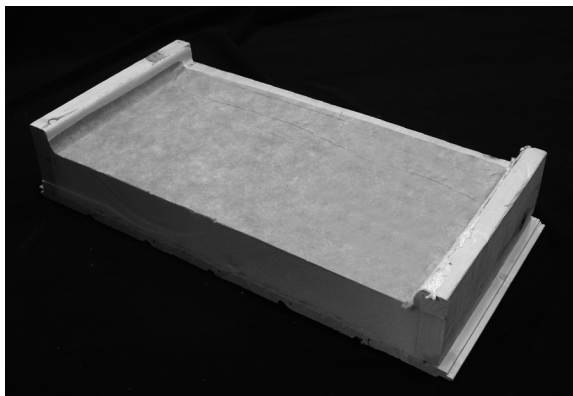
BIBLIOGRAFÍA

- APA (1986). *Design and fabrication of plywood sandwich panels*. American Plywood Association. USA. 9 págs.
- APA (1987). *Design and fabrication of plywood stressed-skin panels*. American Plywood Association. USA. 21 págs.
- Arriaga, F., González, M.A., Medina, G., Ortiz, J., Peraza, F., Peraza, J.E. y Touza, M. (1994) *Guía de la madera para la construcción, el diseño y la decoración*. Editorial Aitim, Madrid. 572 pp.
- Bregulla, J. and Enjily, V. (2004). *An introduction to building with structural Insulated Panels (SIPs)*. BRE IP 13/04, 8 páginas.
- ETAG 016 (2003). *Self-supporting composite lightweight panels - Part 1: General*. EOTA, 50 págs.
- ETAG 016 (2003). *Self-supporting composite lightweight panels - Part 2: Specific aspects relating to self-supporting composite lightweight panels for use in roofs*. EOTA, 30 págs.
- ETAG 016 (2005). *Self-supporting composite lightweight panels - Part 3: Specific aspects relating to self-supporting composite lightweight panels for use in external walls and claddings*. EOTA, 23 págs.
- ETAG 016 (2004). *Self-supporting composite lightweight panels - Part 4: Specific aspects relating to self-supporting composite lightweight panels for use in internal walls and ceilings*. EOTA, 20 págs.
- ETAG 019 (2007). *Pre-fabricated wood-based loadbearing stressed skin panels*. 56 págs.

PANELES SÁNDWICH PORTANTES

DEFINICIÓN

Son elementos prefabricados compuestos por uno o dos paramentos de tableros derivados de la madera (al menos uno de los paramentos) con o sin nervios interiores de refuerzo con o sin alma de aislante rígido y con o sin barrera de vapor o membrana respirante. Son elementos constructivos que constituyen partes relevantes de la estructura principal destinados a la construcción de cubiertas, muros de carga y forjados de piso.



Comentarios:

Este tipo de paneles pueden tener una constitución similar a la de los paneles sándwich de cerramiento (normalmente dos paramentos y un alma aislante) lo que puede llevar a que tengan la misma denominación en el mercado de paneles sándwich. Sin embargo, los paneles portantes se diferencian claramente en que su función resistente no se limita únicamente a las cargas aplicadas directamente sobre el panel de cerramiento, sino que reciben cargas de otros elementos estructurales y suelen tener responsabilidad en la estructura principal y en la estabilidad del conjunto. La denominación propuesta de estos paneles es la de paneles portantes o también, por su denominación en inglés, paneles con caras en tensión.

APLICACIONES

Se utilizan para la construcción de cubiertas (generalmente sin necesidad de correas), muros de carga interiores o exteriores y forjados de piso. Son ligeros, pueden incorporar la función de aislamiento térmico y acústico, presentan gran rapidez de montaje y son especialmente indicados en la prefabricación. También pueden cumplir la función de arriostramiento y estabilizar el conjunto de la estructura mediante su capacidad de diafragma.

Se utilizan tanto en viviendas como en construcciones industriales de hasta tres plantas. En Europa se utilizan tanto en muros de carga interiores o exteriores como en cubiertas, mientras que en Estados Unidos, de donde procede este producto, se emplea principalmente en suelos y en forjados. Aunque habitualmente se utilizan en edificios de hasta dos o tres plantas, su capacidad de soportar cargas verticales y sus altas prestaciones térmicas le comunican un gran potencial para construcciones de mayores alturas.

Los sistemas constructivos con paneles estructurales son muy flexibles y permiten insertar, sin dificultad, puertas y ventanas, durante y después de que la fabricación haya finalizado. Los fabricantes suministran sus correspondientes manuales de instalación que detallan los procedimientos de colocación y de sujeción.

MATERIALES

Están compuestos por una cara y contracara de materiales generalmente derivados de la madera y un alma de un material que tiene una baja densidad. La correcta unión entre el alma y las caras es esencial para que pueda soportar cargas y transmitir las a otros elementos estructurales secundarios, como correas, o principales, como vigas.

Los materiales que pueden intervenir en la formación del panel son:

- Tableros derivados de la madera: Se emplean en las caras del panel. Los más empleados son los siguientes:

- Tablero de madera maciza estructural.
- Tablero contrachapado estructural.
- Tablero de virutas orientadas OSB 3 y OSB 4.
- Tablero de partículas P5 y P7.
- Tablero de fibras de densidad media MDF.HLS.

- Tableros de madera-cemento o de cartón-yeso: A veces se utilizan en la cara interior para reforzar o mejorar la reacción al fuego.

- Materiales utilizados en el alma:

- Poliestireno extruido (XPS) o expandido (EPS)
- Poliuretano (PUR), y sus derivados de poliisocianatos (PIR)
- Fibras inorgánicas minerales
- Aglomerados de corcho natural
- Lana mineral o animal
- Madera aserrada o madera laminada encolada: Normalmente se utilizan como largueros o nervios internos que aportan rigidez y conectan ambas caras.

- Adhesivos: Específicos para el encolado entre tableros y paneles de espuma. Generalmente son del tipo urea-formol o de poliuretano.

DIMENSIONES

Las dimensiones de estos paneles son muy variables. La anchura suele depender de la anchura del tablero utilizado en su fabricación (normalmente 600 o 1200 mm). La longitud varía desde 2400 m hasta 4990 mm, pudiendo llegar aproximadamente a 10 m para casetones de cubierta. El grueso puede variar entre 50 y 250 mm, aproximadamente.

TIPOS

Los paneles portantes pueden clasificarse en los tipos siguientes:

Paneles con dos paramentos (paneles cerrados o en cajón)

El primer tipo está formado por dos caras con un alma de espuma rígida (poliestireno extruido o expandido o poliuretano) que se encuentra encolada a las caras y contribuye a la resistencia y rigidez del panel. Si no tiene refuerzos internos se puede denominar panel sándwich, figura 1a, y si dispone de largueros internos se denomina panel de caras en tensión, figura 1b. Este último permite luces mayores.

En el segundo tipo la espuma que constituye el alma es flexible (lana de roca, fibra natural) o queda sin encolar (poliuretano) y por tanto no contribuye a la resistencia y rigidez del panel, figura 1c. Generalmente incorporan largueros de madera de refuerzo

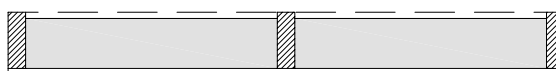
Figura 1.
Paneles con dos paramentos.



Paneles con un paramento (paneles abiertos)

Estos paneles incorporan un alma aislante que puede ser rígida y quedar encolada al paramento, contribuyendo a la resistencia y rigidez del panel, o puede ser una espuma flexible o no encolada sin aportar capacidad portante al panel. Incorporan largueros de refuerzo y a veces una membrana respirante.

Figura 2.
Paneles abiertos (un paramento).



PROPIEDADES

Cada fabricante debe aportar la información correspondiente a las propiedades de su producto en base a un Documento de Idoneidad Técnico Europeo (DITE) o European Technical Approval (ETA), emitido por el correspondiente organismo notificado. Complementariamente, los paneles deben cumplir las especificaciones definidas en los respectivos códigos de edificación nacionales. El contenido de este Documento se establecerá de acuerdo con la Guía ETAG (European Technical Approval Guidelines) nº 19.

MARCADO CE

Estos productos están afectados por la Directiva Europea de Productos de la Construcción. Al no existir norma armonizada de producto pero sí Guía ETAG, la implantación del Marcado CE es voluntaria por parte del fabricante pero en caso de ser efectuada ha de hacerse de acuerdo con los contenidos técnicos de la Guía ETAG (European Technical Approval Guidelines) nº 19, la cual define todos los aspectos relativos al marcado CE de estos productos. Desde 2007 el Marcado CE de estos productos es posible.

BIBLIOGRAFÍA

APA (1986). *Design and fabrication of plywood sandwich panels*. American Plywood Association. USA. 9 págs.

APA (1987). *Design and fabrication of plywood stressed-skin panels*. American Plywood Association. USA. 21 págs.

Bregulla, J. and Enjily, V. (2004). *An introduction to building with structural Insulated Panels (SIPs)*. BRE IP 13/04, 8 páginas.

ETAG 019 (2004). *Prefabricated wood-based loadbearing stressed skin panels*. EOTA, 56 págs.

PATROCINADORES



Gobierno Vasco - Mesa Intersectorial de la Madera

Junta de Castilla y León - Mesa Intersectorial de la Madera

Xunta de Galicia - CIS Madeira

Generalitat Valenciana - FEVAMA

CONFEMADERA - Confederación Española de Empresarios de la Madera

ANFTA - Asociación Nacional de Fabricantes de Tableros

AFCCM - Asociación de Fabricantes y Constructores de Casas de Madera

Construmat - Salón Internacional de la Construcción

Feria de Valencia - Maderalia

Vivir con Madera

Colaboradores

BRAURON S.A. Molduras

CETEBAL. Centre Tecnològic Balear de la Fusta

NUTECMA S.L.

IPEMA. Innovaciones, Proyectos y Estructuras en Madera

PROHOLZ

ELABORADOS Y FABRICADOS GÁMIZ, S.A.

HOLTZA Grupo. Construcción en Madera

ANEPROMA. Asociación Nacional de Empresas de Protección de la Madera

INCAFUST. Institut Català de la Fusta

AITIM. Asociación de Investigación Técnica de Industrias de la Madera

ZURTEK. Ingeniería, fabricación y construcción en madera

PROTEVI, SL. Construcciones en madera

GARCIA VARONA. Fabricación de tarimas y madera estructural

THERMOCHIP, División Prefabricados Cupa Group

FINNFOREST IBÉRICA, S.L.

ROTHOBLAAS. Sistemas de fijación para estructuras y construcción en madera

BIOHAUS GOIERRI S.L. Hacia una construcción sostenible

WOODARQ. Art in Wood Construction

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

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

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

MADERAS POLANCO, S.A.

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

MADERAS MENUR S.L. Proyectos en Madera

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

Con la financiación del

