

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON MADERA

La definición de sistemas constructivos es compleja ya que se puede enfocar por diferentes criterios en función de:

- Productos de madera empleados tanto de forma aislada o en combinación.
- Tipo o finalidad, ya sea edificación, obra civil o restauración con sus correspondientes variantes en función de las dimensiones finales y requisitos a cumplir.
- Método de construcción, por ejemplo: construcción in-situ, industrializada, productos prefabricados, etc.

Los productos de madera relacionados con la construcción se pueden clasificar de la siguiente forma:

- **Básicos**
La madera en rollo (MR) o aserrada (MAE) que se utilizan tanto en viviendas como en construcciones específicas como por ejemplo puentes, o de forma complementaria en cualquier tipo de edificación u obra civil ya sea como pilares o pilares compuestos.

En este apartado también se incluiría la madera empalmada con unión dentada por sus testas (ME) pero sus aplicaciones son más limitadas.

- **Con entidad propia**
La madera laminada encolada (MLE), la madera contralaminada (CLT) o la madera microlaminada (LVL), que se utilizan en gran variedad de tipos de edificios y construcciones.

En este apartado también se incluiría a la madera maciza encolada – dúos y tríos (MME) y los paneles sándwich estructurales (SIP) pero sus aplicaciones son más limitadas.

- **Entramados de MAE**
Tanto ligeros con piezas de MAE pequeña escuadría como pesados si son de gran escuadría, que se utilizan principalmente en viviendas y de forma específica en algunos tipos de edificios. Se utilizan tanto en muros, como forjados y cerchas.
- **Específicos**
Incluyen los tableros derivados de la madera estructurales (TDME), los paneles sándwich de cerramiento (PSW), o elementos prefabricados (EP), como cerchas, viguetas prefabricadas o viguetas compuestas, que se utilizan de forma complementaria en muchos tipos de edificaciones y construcciones.

Las edificaciones abarcan una gran cantidad de aplicaciones finales como por ejemplo viviendas unifamiliares, viviendas en altura, colegios, centros comerciales, centros de ocio, centros de deportes, almacenes, hangares, etc.

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON MADERA - Beneficios de construir con madera

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS - DEFINICIONES

Fecha actualización: 21 de Agosto de 2023

Página 1 de 9



Foto: Casas modulares prefabricados con tableros contrachapados de frondosas. Cortesía Garnica, <https://www.garnica.one/>



Foto: Fabricación casas prefabricadas de entramado ligero. Fuente Revista AITIM nº 162

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON MADERA - Beneficios de construir con madera

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS - DEFINICIONES
Fecha actualización: 21 de Agosto de 2023

Página 2 de 9

AITIM – Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera
www.aitim.es - informame@aitim.es



Foto: vivienda unifamiliar de madera maciza. Fuente Revista AITIM nº 162



Foto: Viviendas en altura - Edificio Cirerers - Barcelona. Cortesía KLH, www.klh.at

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON MADERA - Beneficios de construir con madera

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS - DEFINICIONES
Fecha actualización: 21 de Agosto de 2023

Página 3 de 9

AITIM – Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera
www.aitim.es - informame@aitim.es



Foto: Piscina. Cortesía Jesfer, Mecanizados y Montajes en Madera S.L, www.jesfer.com

En paralelo la obra civil abarca un número de aplicaciones finales más limitadas como puentes, pasarelas, torres con diferentes usos (observación, telecomunicaciones, etc.), sujeción y consolidación de terrenos, etc.



Fotos: Pasarela. Cortesía Protección y Tecnología de la Madera, S.L. Protec, www.protecmadera.com

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON MADERA - Beneficios de construir con madera

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS - DEFINICIONES
Fecha actualización: 21 de Agosto de 2023

Página 4 de 9

AITIM – Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la madera
www.aitim.es - informame@aitim.es

CLASIFICACIÓN

La clasificación de sistemas que se define a continuación toma como punto de partida el tipo de edificación y obra civil indicando el producto o los productos de madera que tienen más importancia en su construcción. La clasificación se complementa con diferentes tipos de elementos estructurales que se pueden utilizar a su vez en diferentes tipos de edificaciones y de obra civil.

1.- VIVIENDAS UNIFAMILIARES

- 1.1.- Con MR
- 1.2.- Entramado ligero MAE (muros, forjados, cerchas)
- 1.3.- Entramado pesado MAE (muros, forjados, cerchas)
- 1.4.- Con CLT
- 1.5.- Con Viguetas Prefabricadas
- 1.6.- Con paneles SIP
- 1.7.- Con MLE
- 1.8.- Con LVL

2.- VIVIENDAS EN ALTURA Y OFICINAS

(*) Solamente se indica el producto principal utilizado que se puede complementar con los entramados y productos específicos mencionados anteriormente.

- 2.1.- Con MR (con limitaciones en altura hasta 5 metros)
- 2.2.- Entramado pesado MAE (con limitaciones en altura hasta 5 metros)
- 2.3.- Con CLT
- 2.4.- Con MLE
- 2.5.- Con LVL
- 2.6.- Con paneles SIP

3.- EDIFICIOS NO DESTINADOS A VIVIENDA U OFICINAS

(*) Solamente se indica el producto principal utilizado que se puede complementar con los entramados y productos específicos mencionados anteriormente.

- 3.1.- Con MLE
- 3.2.- Con CLT
- 3.3.- Con LVL
- 3.4.- Vigas y pilares compuestos de MAE
- 3.5.- Pórticos compuestos de MAE y TDM
- 3.6.- Mallas espaciales de MAE
- 3.7.- Superficies regladas de MAE

4.- PUENTES

- 4.1.- De caballete (MR, MAE y MLE)
- 4.2.- De arco (MLE)
- 4.3.- Colgantes (MAE y MLE)
- 4.4.- De losa (MAE interconectada)
- 4.5.- Triangulados (MAE, MLE, EP)

5.- TORRES

- 5.1.- Pilares simples (MR, MAE y MLE)
- 5.2.- Pilares compuestos (MAE)

ELEMENTOS ESTRUCTURALES INDIVIDUALES

Los principales elementos son pilares, vigas y elementos superficiales.

Los pilares se pueden realizar con una única pieza de MR, MAE, MLE, LVL, etc., o con varias piezas unidas entre sí para formar pilares compuestas.

Las vigas – jácenas normalmente se realizan con una única pieza de las mencionadas anteriormente; pero también se pueden realizar con la unión de diferentes materiales en función de la luz deseada dando lugar a diferentes tipos que se mencionan más adelante.

Entre los elementos superficiales se encontrarían:

- Los tableros derivados de la madera, cuyo espesor varía entre 3 y 60 mm y su longitud máxima, de forma orientativa, en 2.500 mm. Se utilizan normalmente colaborando con otros elementos en muros, forjados y cubiertas dando lugar a diferentes elementos.
- Productos con mayores espesores y longitudes, como el CLT y tableros de LVL para muros, forjados y cubiertas, tanto de forma individual como complementados con otros productos. Y en casos específicos también estarían los paneles SIP.

EE.1.- Pilares compuestos

Son elementos estructurales verticales cuya sección se obtiene a partir de varios elementos de madera aserrada de menor escuadría que se unen mediante conectores de distinto tipo.

Se emplean para alturas y cargas mayores que los entramados ligero y pesado. Son adecuadas para naves y espacios grandes con diversas utilidades. Su empleo consigue dos objetivos: a) aumentar el momento de inercia de la sección al separar sus componentes y b) disminuir los problemas de fendado y movimientos de la madera de elementos con grandes secciones.

EE.2.- Vigas compuestas

Son vigas - jácenas que aumentan su sección a partir de piezas menores de madera aserrada, ya sea por adosado (acoplamiento) o por separación mediante conectores.

Se aplican a de cierta importancia en cuanto a la luz que salvan y las cargas que soportan. Actualmente han quedado en desuso dejando paso a productos laminados pero han encontrado un interesante campo de aplicación en viguetas prefabricadas.

EE.3.- Vigas de celosía

Es una estructura formada por dos cordones horizontales paralelos y un alma triangulada a base de montantes y tornapuntas con distinta inclinación que dan lugar a entramados verticales. La carga se aplica en los nudos. Se utilizan fundamentalmente en grandes luces formando parte de pórticos, aunque su uso principal es en puentes y pasarelas peatonales. Están formadas por: Cordones horizontales, Barras, Montantes y Tornapuntas.

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON MADERA - Beneficios de construir con madera

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS - DEFINICIONES

Fecha actualización: 21 de Agosto de 2023

Página 6 de 9

En la mayoría de los casos las uniones se realizan con pernos. También se emplean espigas o pasadores (lisos o roscados), que quedan ocultos. Para reforzar la unión se pueden introducir placas metálicas que son atravesadas por pernos que pueden colocarse en las caras o insertos en ranuras practicadas en la madera. Ha de procurarse que haya un solo tipo y tamaño de conector para toda la armadura.

Los tipos más importantes son los siguientes: Viga Vierendel, Viga Warren, De arco y celosía tipo Burr, De celosías tipo Howe y Long y Viga Pratt.

EE.4.- Entramado ligero

Estructura formada por piezas de madera de pequeñas escuadrías separadas a escasa distancia y fijadas a un marco cerrado. Sus componentes (muros, forjados, faldones) son auto - estables, pero necesitan el resto de entramados transversales para alcanzar la estabilidad general de la estructura.

- Los muros están constituidos por montantes de madera aserrada (generalmente con una sección de 38 x 89 / 140 mm), separados entre ejes a 400 mm y rigidizados con un tablero derivado de la madera (contrachapado o de virutas orientadas) clavado a los montantes en una de las caras del muro que sirve además como arriostramiento.
- Los forjados se forman con viguetas de madera maciza (con secciones de 38 x 200-300 mm) separados entre ejes a una distancia de 30 o 40 cm, en función de las luces y cargas. En algunos casos se sustituyen por viguetas prefabricadas. Sobre las viguetas se dispone un tablero (normalmente contrachapado o de virutas orientadas) clavado y a veces también encolado a las viguetas.
- La cubierta está formada por cerchas ligeras prefabricadas, con una separación entre ejes de 40 o 60 cm. También en este caso un tablero clavado a los pares de las cerchas sirve de material de soporte de la cubierta y de arriostramiento. Aunque es menos frecuente, la cubierta también puede ser plana.

Su principal característica es su ligereza y sencillez de construcción. Admite un elevado grado de prefabricación e industrialización. Se utiliza tanto para viviendas unifamiliares como edificios en altura. Todos los elementos constructivos que incorporan, estructura - cerramiento - cubierta, funcionan estructuralmente como un conjunto y son dependientes entre sí. En inglés se denominan "light framing" distinguiéndose 2 variantes:

- Entramado tipo globo (Balloon frame) o de pilares pasantes
Los montantes de las paredes exteriores son continuos en toda su altura, normalmente de dos plantas. Las viguetas de los forjados se unen directamente a los montantes que se calzan con carreras transversales. La erección del edificio es compleja al tenerse que armar todos los entramados simultáneamente.
- Sistema plataforma (Platform system)
La altura de los montantes coincide con la altura del piso. Se obtienen plataformas formadas por montantes - viguetas, traveseros y cerramientos que constituyen los muros y los forjados. La erección del edificio es muy fácil ya que se van levantando plataformas de muros y forjados que se van arriostrando unos con otras.

EE.5.- Entramado pesado

Se utilizan productos de madera de grandes escuadrías unidas entre sí mediante ensambles basados exclusivamente en la geometría tanto para viviendas unifamiliares como edificios en altura, normalmente hasta 6 plantas. En este sistema la estructura es independiente del cerramiento. En inglés se denominan "Heavy Timber" distinguiéndose 3 variantes:

- Sistema adintelado a base de pórticos de madera
Está formado por un sistema de pórticos que forman un conjunto rígido, autoportante e independiente de los cerramientos y revestimientos. La rigidez de los pórticos se consigue con elementos diagonales (jabalcones) y un atado transversal (estribos). Una serie de clavijas y cuñas contribuyen a dotar de cierta rigidez a los ensambles. El cerramiento suele quedar en madera vista al exterior en forma de entablado, aunque admite cualquier otro revestimiento. Algunas veces este sistema incluye elementos prefabricados como paneles de fachada, forjados de viguetas o cerchas ligeras industrializadas.
- Sistemas de entramados / Sistemas mixtos de madera y fábrica
Están formados por elementos portantes verticales, horizontales y diagonales, que crean una armadura estable en su plano. Los entramados trabajan como muros a diferencia de los sistemas adintelados en que trabajan como pórticos. Dentro de este grupo se incluye a las construcciones tradicionales con estructura de madera en los forjados, en la cubierta y en los muros de carga que también incorporan fábrica de ladrillo o mampostería.
- Sistema espacial
Está formado por piezas provenientes desde cualquier dirección que se unen en los nudos y que se convierte en los elementos fundamentales de la estructura. Se usa para todo tipo de edificios y alturas, pero es especialmente apto para estructuras complejas como mallas. Los principales tipos son las mallas de doble capa tanto rectas como a base de tetraedros.

EE.6.- Cerchas ligeras prefabricadas

Las cerchas están formadas por barras de pequeña escuadría situadas en el mismo plano cuyos nudos se resuelven mediante placas-clavo o cartelas de madera (solución antigua), que dan lugar a entramados ligeros. Las cerchas se completan con otras piezas transversales que realizan el arriostramiento y están compuestas por los siguientes elementos: Barras superiores o pares (piezas que forman la pendiente), Barra inferior o tirante y Alma triangulada.

Las cerchas ligeras reducen los trabajos in situ y pueden alcanzar mayores luces por lo que es el sistema estructural más difundido para la formación de cubiertas, además de las ventajas que proporciona su prefabricación y el conocimiento de su comportamiento mecánico el espacio interior puede quedar completamente diáfano. Se utilizan en cubiertas de viviendas y para otros usos siempre que las luces a salvar no superen los 12-14 m., como por ejemplo en la formación de graderíos, pistas de ciclismo cubiertas, etc.

Los principales tipos de cerchas son: Arcos triangulados, Cerchas laminadas, Cerchas estándar y Cerchas a medida

EE.7.- Cerchas verticales

Es una estructura triangular formada por dos pares inclinados, un tirante horizontal que cierra éstos formando un triángulo y un alma de barras trianguladas que dan lugar a entramados pesados. Se utilizan piezas con escuadrías medias / altas (las más utilizadas son de 50 x 100 y 50 x 150 mm para las piezas principales y 50 x 100 mm para las barras de la celosía interior). Están compuestas por los siguientes elementos: dos cordones superiores (o pares), un cordón inferior (o tirante) y un alma o estructura intermedia de celosía formada por piezas (ya sea con piezas verticales, en las que se distinguen el pendolón y las péndolas o montantes; o por piezas inclinadas o tornapuntas).

Las uniones entre las distintas barras deben ser por un lado rígidas de modo que la estructura sea estable, y por otro permitir una completa libertad de giro para que las piezas puedan trabajar efectivamente a solicitaciones normales a la barra minimizando los posibles momentos flectores. Se materializan a través de ensambles tradicionales o uniones mecánicas. Entre estas últimas se pueden mencionar: las pletinas, los pernos y el estribo o abrazadera.

Se utilizan para salvar luces medias o grandes, entre 5 y 20 metros, en edificios de todo tipo por razones histórico-artísticas, económicas, de peso de la estructura, etc., aunque actualmente ha disminuido su uso debido a la aparición de la madera laminada encolada que soluciona los problemas que dieron origen a su obsolescencia. En la práctica se usa sobre todo en edificios antiguos de viviendas, restaurantes, hoteles, iglesias, museos, etc. Un campo importante es la rehabilitación de edificios construidos hasta el siglo XIX.

Los tipos son muy variados, los principales son los siguientes: Cercha de pares y tirante (o de cuchillo), Cercha de pares y pendolón, Cercha de pares, pendolón y dos tornapuntas, Cercha con pendolón y péndolas, Cercha con tornapuntas, Cercha a un agua, Cercha Polonceau, Cercha en tijera, Cerchas de varios tirantes y Cerchas de barras compuestas o dobladas.

EE.8.- Pórticos compuestos

Son pórticos o arcos de canto variable formados por un perfil compuesto de alas y alma. En algunos casos se siguen utilizando al ser un sistema eficaz para conseguir elementos de gran luz con cantos elevados pero ligeros. Como en el caso anterior su uso ha decaído ante el auge de la madera laminada por su mayor fiabilidad y sencillez presenta una estética atractiva.

EE.9.- Mallas espaciales

Estructura de barras de madera (laminada, aserrada o en rollo) verticales, horizontales e inclinadas interconectadas mediante nudos. El calificativo espacial se refiere a que es una estructura difusa, es decir, que en vez de situarse en un mismo plano (o asimilable) se dispersa en muchos elementos ligeros orientados en las tres dimensiones del espacio. En general las mallas espaciales (no solo las de madera) se considera que son competitivas a partir de los 25 metros de luz. Es una estructura especialmente válida para grandes superficies diáfanas cuyos elementos trabajen solo a compresión, como superficies antifuniculares, bóvedas o cúpulas regulares o superficies geodésicas.

Se utilizan para la cubrición de todo tipo de naves y edificios donde se quiere eliminar al máximo el número de apoyos interiores, llevándose todas las cargas a elementos puntuales. Destacan los siguientes usos: fábricas, almacenes, hangares, estaciones de tren y aparcamiento, gasolineras, supermercados y grandes superficies de ventas, techos de estadios y estructuras base de puentes.

EE.10.- Superficies regladas

Son membranas delgadas y rígidas, de doble curvatura, constituidas por tablas de madera rectas, que se forman al desplazarse sobre directrices rectas o curvas. Las superficies regladas tanto las de curvatura simple (cilíndrica, cónica), como las superficies alabeadas (con forma cilíndrica y de conoide) están formadas por rectas. Las más usadas en arquitectura son el hiperboloide de

CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE CON MADERA - Beneficios de construir con madera

SISTEMAS CONSTRUCTIVOS - DEFINICIONES

Fecha actualización: 21 de Agosto de 2023

Página 8 de 9

revolución y el paraboloides hiperbólico (ambas superficies doblemente regladas, es decir, reproducibles con rectas en las dos direcciones). A diferencia de las membranas de doble curvatura, las superficies regladas tienen una geometría y una manera de construir totalmente establecida, lo que implica una cierta carencia de libertad de forma. A partir de determinadas luces, estas superficies regladas de madera aserrada requieren un canto tal que no puede mantenerse en toda la superficie porque su peso propio sería excesivo, por lo que la cáscara se transforma en una malla doblemente nervada o en una cáscara aligerada con casetones.

Debido a su peculiar forma se utilizan exclusivamente en la formación de cubiertas de edificios, destacando los usos siguientes:

- Cubiertas de naves y edificios de todo tipo donde la estructura se identifica con el cerramiento. Existen muy pocos ejemplos prácticos. Estas estructuras son particularmente elegantes en comparación con otras soluciones estructurales en madera, como voladizos para cubrición de estadios deportivos.
- Encofrados de superficies regladas de hormigón armado o rasilla cerámica armada.
- Naves industriales con curvas en diente de sierra que se resuelven con conoides reglados porque el 'diente' permite colocar la iluminación de la nave.

MÁS INFORMACIÓN

Publicaciones de AITIM - www.aitim.es

[Guía de la madera II Construcción y estructuras](#). VVAA. 2014

[Diseño estructural en madera AGOTADO](#). Miguel Nevado (pedir al Autor). 1999

[Estructuras de Madera. Bases de Cálculo](#). Ramón Agüelles y F. Arriaga. 2018

[Estructuras de madera. Uniones](#). Ramón Argüelles, Francisco Arriaga, Miguel Esteban, Guillermo Íñiguez y Ramón Argüelles Jr. 2015

[ESTRUMAD - programa de cálculo – software](#). VV.AA. 2006

[Uniones Metálicas en Estructuras de madera. Manual técnico](#) T y T Aginco. 2004

[Casas de madera \(versión pdf\)](#). J. Enrique Peraza. Francisco Arriaga y Carmen Arriaga. 1995

[Las estructuras de madera en los Tratados de Arquitectura \(1500-1810\)](#). Gómez Sánchez, M^a Isabel. 2006

[Puentes de madera](#). vv.aa. 2004

[Rehabilitación. Madera en la edificación](#). Enrique Nuere y Paco Cabeza. 2021

[Valle Salado de Añana. Manual de preservación arquitectónica](#). Mikel Landa y Alazne Ochandiano. 2014

[Intervención en estructuras de madera](#). F. Arriaga, F. Peraza, M. Esteban, I. Bobadilla, F. García. 2002

Monográficos Revista AITIM

[Monográfico Uniones II Revista nº 329](#). Varios. 2021

[Uniones para madera Revista nº 318](#). VVAA. 2019

Pliego condiciones – www.aitim.es