

construir en madera

PEDRO LIZÁN NARRO

TUTOR ACADÉMICO : CARLOS SALAZAR FRAILE
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS
TRABAJO FIN DE GRADO 2015 - 2016



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

1. INTRODUCCIÓN	9
Motivaciones personales de la investigación	10
Objetivos y Metodología	11
2. CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS EN MADERA Y PROPIEDADES MATERIALES	12
Antecedentes	14
Ventajas y posibilidades en la construcción con madera	16
Madera y medio ambiente	34
3. TECNOLOGÍA DE LA MADERA	36
Introducción	38
Piezas lineales en construcción	39
Tableros y otros productos compuestos de madera	40
Sistemas constructivos innovadores	42
Sistemas constructivos tradicionales	47
Unión en madera	49
4. CONTEMPORANEIDAD Y NUEVA FORMA. CASOS DE ESTUDIO EN LA CONSTRUCCIÓN EN MADERA	50
Library and cultural center	52
Hotel slowhorse	54
Casa s-low	56
Timber Tower Research	58
Sala de tiro con arco y club de boxeo	60
5. CONCLUSIONES FINALES. EPÍLOGO	62
Bibliografía	68
Índice de imágenes	70

A mediados del siglo pasado, en España, la arquitectura en madera sufrió un abandono casi total debido a la llegada de nuevos materiales que disponían de más avances tecnológicos y que prometían ser materiales más resistentes y capaces de durar mucho más. Sin embargo, se ha demostrado en algunas obras la gran capacidad y durabilidad de las construcciones en madera (algunas incluso milenarias) que a lo largo de la historia ha protagonizado, junto con la piedra, la arquitectura en todo el mundo.

Actualmente la madera nos proporciona soluciones tecnológicamente avanzadas y de gran interés tanto para obra nueva como para restauración de edificios, además de aportar un plus importante en calidad, confort y sostenibilidad.

Gracias a la llegada del CTE se avanzó en la normalización de la situación de la madera en la construcción en España, pero cabría pedir a las escuelas de arquitectura que vayan incorporando poco a poco la madera como uno más de los principales materiales de construcción junto con el acero y el hormigón. De hecho, hay países que nunca han perdido la tradición de construir con madera y que siguen siendo líderes en arquitectura en madera y en las tecnologías más avanzadas de ésta. Países como Alemania, Austria, EEUU y los países nórdicos, entre otros.

Ahora parece haber aumentado el número de profesionales interesados en este fantástico material y el futuro parece ser positivo. Debemos derribar el mito de la madera como material poco durable y problemático y ahondar en técnicas y soluciones constructivas que permitan dar una larga vida útil a la madera.

Palabras clave: madera | construcción | material | sistema | resistencia | piezas

A mitjans del segle passat, a Espanya, l'arquitectura amb fusta va sofrir un abandonament quasi total degut a l'arribada de nous materials que disposaven de majors avanços tecnològics i que prometien ser materials més resistents i capaços de durar molt més. En canvi, ha quedat pal·lés en algunes obres mil·lenàries la gran capacitat i durabilitat de les construccions fetes amb fusta, que al llarg de la història han protagonitzat, junt amb la pedra, l'arquitectura arreu del món.

Actualment la fusta ens proporciona solucions tecnològicament avançades i de gran interès tant per a nova construcció com en restauració, a més d'aportar un plus important hui en dia en qualitat, confort i sostenibilitat.

Gràcies a l'arribada del CTE es va avançar en la normalització de la situació de la fusta en la construcció a Espanya, tot i que caldria demanar a les escoles d'arquitectura que vagen incorporant poc a poc la fusta com un més dels principals materials de construcció, junt amb l'acer i el formigó. De fet hi ha països que mai han perdut la tradició de construir amb fusta i que segueixen sent líders en arquitectura amb fusta i amb les seues tecnologies més avançades. Països com Alemanya, Àustria, Els Estats Units, i també els països escandinaus.

Ara pareix haver augmentat el nombre de professionals interessats en aquest fantàstic material, i el futur pareix ser positiu. Hem de desfer-nos del mite de la fusta com a material poc durable i problemàtic, i investigar tècniques que permeten donar una llarga vida útil a la fusta.

Paraules clau: fusta / construcció / materials / Sistema / resistència / peces

In Spain, at the middle of the last century, the wooden architecture suffered an almost complete abandonment due to the arrival of new materials which possessed more technological advances and promised to be more resistant materials and able to last much longer. However, the ability and durability of wooden constructions (some of them millenary) have been demonstrated in some works, and all of this with the stone, have had the leading role in the history of architecture around the world.

Currently, wood provides us technologically advanced solutions and interesting both for new construction and for building restoration, and it also provides an important extra point in quality, comfort and sustainability.

Thanks to the arrival of CTE, there was a progress in normalizing the situation of wood in construction in Spain, but it requires Architecture schools begin to incorporate wood little by little as a leading construction material as steel and concrete are. In fact, there are countries that have never lost the tradition of building with wood and remain leaders in wooden architecture and in the most advanced technology of it. Countries such as Germany, Austria, the US and the Nordic countries, among others.

Now, the number of professionals interested in this fantastic material seems to have increased and the future looks positive. We should demolish the myth of wood as a slightly durable and problematic material and we should research about technical procedures and constructive solutions to provide a useful long life to wood.

Keywords: wood / construction / materials / system / resistance / pieces

| . Introducción

. MOTIVACIONES PERSONALES SOBRE LA INVESTIGACIÓN

El interés de este trabajo académico reside en la curiosidad y el querer saber más sobre la madera, un material de construcción que a mediados del siglo pasado empezó a alejarse del sector.

Aunque en otros países con abundantes recursos de este material no se ha perdido la tradición de construir en madera, en nuestro país deberíamos recordar que no hace mucho todas las cubiertas y forjados de las viviendas estaban construidas en madera, recurso natural al que hoy día no damos tanta importancia por la intrusión de nuevos avances con otros materiales y la mala gestión de nuestros bosques.

Durante toda la carrera, asignaturas como estructuras de la edificación y construcción se han dedicado a la enseñanza, diseño y cálculo de estructuras solamente de hormigón armado y acero, dejando de lado a la madera.

En una sociedad en la que era imprescindible la construcción de viviendas rápidas, sencillas y económicas, la madera era el material esencial para llevarlas a cabo. Hablo de épocas de invasiones o repoblación como por ejemplo la de América a lo largo del siglo XVI.

Pero también en España se utilizaba el material más cercano al lugar, y no hay algo tan cercano como la propia naturaleza. Ahora parece que nos hemos olvidado de eso, por lo menos aquí, y hemos fomentado la utilización de materiales mucho más contaminantes y con costosos procedimientos de fabricación en vez de investigar en algo que tenemos tan cerca.

. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

En este trabajo se pretende recapacitar sobre el tema de la madera como nueva alternativa a otros materiales convencionales en la actualidad y que nosotros, los arquitectos, no descartemos posibilidades constructivas con este material y podamos aportar cada vez más soluciones alternativas en madera, ya sea de forma parcial o íntegra, ya que ésta supone muchas más ventajas en determinadas edificaciones que el resto de materiales convencionales y lo que no es menos importante, un menor impacto medioambiental.

Se estudiarán las cualidades más útiles en el sector de la construcción de la madera aportando datos que lo corroboren. El tema de la sostenibilidad y el impacto medioambiental serán también un tema importante a tratar.

Se describirán y aportará información sobre los diferentes productos madereros que hay en el mercado actual (fabricación, propiedades y usos principales de cada uno de ellos) y sobre algunos de los sistemas constructivos en madera recientemente llevados a cabo en edificación (materiales del sistema, economía, tiempo, ventajas respecto a otros sistemas...)

Finalmente se escogerán algunos modelos de arquitectura en madera actual en los que ésta sea tratada en cada proyecto de forma diferente, marcando en cada caso la cualidad que destaca y los productos de madera o derivados de ésta utilizados en él.



2. Características constructivas en madera y propiedades materiales

. ANTECEDENTES

La confortabilidad, la calidad de vida, el bienestar... son aspectos importantes hoy día y que debemos de tener en cuenta nosotros los arquitectos, responsables, en cierta medida, de cómo afectan estas cualidades en las personas que habitan la arquitectura que hacemos. Ecología, sostenibilidad y medio ambiente también son conceptos que actualmente preocupan a la mayoría de los ciudadanos. Entre todos los materiales de construcción disponibles, la madera es el único material natural y renovable. El proceso de transformación de la madera para ser utilizada en la construcción es muy sencillo y de bajo consumo energético, además de no ser nada contaminante si lo comparamos con los procedimientos de otros materiales.

Hay algunos que todavía creen que las construcciones de madera duran solo unas décadas, lo cual es totalmente incierto. Existen edificios todavía en pie de hace 1200 años construidos con madera.



Fig.1 El Temple Horyu-ji de Nara, en Japón, es el edificio de madera más antiguo del mundo. Un templo budista construido alrededor del año 711 y posiblemente antes porque una de las columnas de Hinoki (ciprés japonés) parece haber sido cortada en el año 594. Toda esta región de Japón ofrece, además, una extensa colección de edificios de la misma época que se siguen utilizando.

Las construcciones en madera son aislantes, tanto térmicos como acústicos, por si mismas; sus propiedades de bajo conductor térmico y la mayor posibilidad de incrementar el aislamiento que en el resto de sistemas constructivos hace que sea el material número uno en los países con temperaturas extremas. La madera absorbe las ondas acústicas y crea un espacio silencioso, reduciendo el estrés de sus habitantes. Además, tiene una relación resistencia-peso más favorable que el acero y mucho más que el hormigón.

. VENTAJAS Y POSIBILIDADES EN LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA

La madera presenta una serie de características y propiedades que la hacen muy adecuada para utilizarla en el sector de la construcción:



Es un material versátil y la **amplia gama de especies** de madera que nos ofrece la naturaleza abre un mundo de posibilidades para conseguir una mayor exclusividad en los proyectos.



Es un material **ligero**. En relación con su peso la madera tiene una muy elevada **resistencia** a flexión, lo cual permite construir estructuras más ligeras.



A pesar de ser un material que arde fácilmente, en caso de incendio la capa externa **actúa de protectora** consumiéndose lentamente resistiendo las deformaciones y el colapso.



La madera es un material **durable** y resistente a climas extremos. Previamente tratada y con un adecuado mantenimiento es prácticamente inmune a insectos y a la humedad.



Es uno de los materiales más **aislantes** que existen. Con el mismo grosor, un cerramiento de madera aísla térmicamente cuatro veces más que un cerramiento cerámico.



Los espacios interiores de madera tienen menor tiempo de reverberación y mayor **absorción del sonido**. Hay menos ruidos y ecos, por lo que se aconseja en aulas, auditorios y salas de reunión.



La ejecución de una construcción en madera es limpia, sencilla y **más rápida** que otros materiales. Cada vez existen más técnicas y procedimientos avanzados de ejecución en madera.



La madera es un material estético y cálido, por ser un elemento orgánico posee una apariencia única y es agradable al tacto. Un material natural al que acudimos en busca de **bienestar**.



Además, la madera es un material **sostenible**; es reciclable, reutilizable y biodegradable. En su ciclo de vida (producción, transporte, uso y reciclaje) almacena el carbono que ha tomado de la atmósfera.

Fig.2. Imágenes representativas de las características esenciales de la madera en el sector de la construcción.

Versatilidad y amplia gama de especies



Al ser un material “vivo” cada pieza de madera es una pieza única aun procediendo del mismo tronco: diferente tono de color, diferente aspecto, diferente tamaño de nudos y vetas...hacen que este material sea tan atractivo. Ahora bien, la madera actualmente se puede usar para diversos fines entre el que solo uno de ellos es el fin a la construcción. Desde su utilización como combustible, la producción de ebanistería, la fabricación de papel e incluso en el sector de la medicina.

Pero, además, dentro de la utilización de la madera en el sector de la construcción, ésta es capaz de servir como: estructura principal de un edificio, aislamiento térmico, carpinterías, revestimiento, cerramientos tanto interiores como exteriores... en definitiva, su gran versatilidad podría hacer posible la construcción de un edificio con el uso exclusivo de madera en un 85% de su totalidad.

Existen más de mil especies de madera diferentes en todo el mundo. Cada una de ellas con unas propiedades y cualidades diferentes indicadas para un uso específico, desde su uso en interiores, en piscinas, cubiertas, hasta el uso en el exterior de zonas con climas extremos.

Podemos clasificar de diversas formas la madera: según su uso, sus propiedades, su origen...pero dentro de todas las especies de madera podemos distinguir tres grandes grupos: por un lado las llamadas maderas frondosas, que son las más utilizadas para la fabricación de mobiliario, ebanistería..., por otro lado las maderas coníferas, que son abundantes en Europa desde el norte de la península ibérica hasta Escandinavia; el pino, el abeto, el alerce o el cedro rojo son algunos ejemplos de coníferas muy utilizados actualmente en el sector de la construcción, y por último un enorme grupo denominado maderas exóticas, crecidas en los bosques tropicales y ecuatoriales y que comprende numerosas especies de diferentes características: la caoba, la teca y el ébano son las maderas de esta categoría hoy más utilizadas en todo el mundo.

En construcción solemos también clasificar la madera en: “maderas duras” y “maderas blandas”. Las duras tienen una mayor resistencia con respecto a las blandas y por consecuencia el precio es mucho mayor. La gran ventaja de las maderas blandas es que proceden de árboles de corto periodo de crecimiento y su producción es mucho más rápida.

Fig.3 “Maderas duras” como son la madera de haya, de nogal o el roble, por ejemplo. El tratamiento es más complicado, resistencia notable y mayor durabilidad que el resto de maderas. El precio de este tipo de maderas es más elevado debido al prolongado crecimiento de la especie.



Fig.4 “Maderas blandas” como son la madera de pino, abeto o chopo. Proviene de árboles de poco tiempo de crecimiento y por lo tanto son más baratas. Aunque su nombre nos hace dudar de su fiabilidad como material de construcción son las más utilizadas en el sector alcanzando resistencias muy notables.



Es aconsejable la utilización de la madera como material de construcción ya que disponemos de recursos suficientes en distintas partes del mundo y sobretodo incentivar la explotación local de cada territorio de forma controlada.

La explotación incontrolada de los bosques genera numerosos problemas medioambientales, de conservación de recursos, de equilibrio natural y de respeto a los derechos de las poblaciones locales. Por ello, es importante no participar en el negocio, ya sea de forma directa o indirecta, de las maderas que carezcan del certificado correspondiente.

Ligera y resistente

La madera es un material ligero si lo comparamos con sus dos grandes competencias: el hormigón y el acero. Tiene una relación peso/resistencia algo superior a la del acero y mucho mayor que la del hormigón.

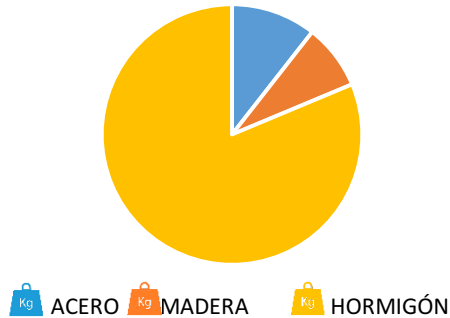


Fig.5 Kilos necesarios para alcanzar la misma resistencia. Por ejemplo, para resistir una estructura cualquiera en la que según los cálculos se necesitarían 100kg de madera, para el mismo diseño necesitaríamos 130 kg de acero y 1 tonelada en el caso de utilizar hormigón.

18

Gracias a esta cualidad de la madera podemos conseguir diseños de grandes luces y reducir los tamaños (y por lo tanto el precio) de los soportes. Además, también se trata de un material flexible y las técnicas actuales permiten “moldear” y diseñar infinitud de formas.

Según el DB-SE-M la resistencia característica a flexión de la madera varía dependiendo de la clase y tipo: para coníferas y chopo pueden resistir de 14 N/mm² a 50 N/mm² y para las frondosas pueden llegar alcanzar hasta los 70 N/mm². Dado que la resistencia a flexión del hormigón esta en valores entorno al 1,5 - 5 N/mm² podemos decir que la madera es un material idóneo para piezas como vigas, entramados o cualquiera otra pieza cuya solicitud principal sea la flexión. Si es cierto que el acero supera en gran medida esta característica ya que se trata de un material con grandes propiedades elásticas.

Si comparamos las resistencias que soportar estos materiales a compresión obtenemos que la madera varía entre valores 16-23 N/mm² y el hormigón armado entre 20-30 N/mm², lo cual nos hace saber que además de lo mencionado antes también sería factible la utilización de la madera como

soporte resistente a compresión estudiando siempre antes de forma detallada el elemento y la especie utilizada.

Actualmente los nuevos productos que se nos ofrecen como son las maderas laminadas, micro laminadas, OSB, tableros de alta densidad... suelen tener resistencias mayores y varían mucho dependiendo del tipo de producto, fabricante, proceso de fabricación, etc. En estos casos los fabricantes de los productos son los que deberían proporcionar los datos necesarios para los cálculos y el técnico el que ha de dedicar su tiempo a un estudio más profundo.



Fig.6 Centro de servicio en Balkendwarsweg, Holanda. Este es solo un ejemplo de arquitectura actual donde se ha logrado disponer una cubierta con luces de hasta 17 metros y sin excesiva sección de pilares. Todo gracias a la elección de la madera como material de construcción.

Buen comportamiento frente al fuego



Mucha gente sigue pensando que la madera es un material con un mal comportamiento frente al fuego, pero es totalmente falso. Si es cierto que la madera es un material inflamable, pero hemos de distinguir el concepto inflamable del de resistencia al fuego. En caso de incendio, en una pieza de madera se genera en la capa externa, en contacto con las llamas, una corteza carbonizada que ralentiza el progreso de la llama al interior de la pieza. La sección útil de la pieza se va reduciendo lentamente durante el progreso del incendio mientras se van manteniendo las propiedades estáticas de la pieza de madera. Es decir, el fallo de la estructura no se produce por agotamiento de las propiedades mecánicas del material sino porque llega un punto en el que la sección útil es tan reducida que no es capaz de soportar las cargas.

Además, la madera es un mal conductor del calor, evitando que éste se propague hacia el interior de la sección, limitando la continuación del quemado y el espesor de carbonizado.



Fig.7 Vigas parcialmente carbonizadas tras un incendio de una duración aproximada de cuatro horas. Aparentemente por fuera puede parecer que la viga este debilitada completamente, pero en la sección observamos que conserva alrededor de un 80% de su canto útil inicial.

En el caso del acero, al alcanzarse una temperatura elevada éste pierde sus propiedades mecánicas (a partir de los 400 °C ya empieza a perderlas), y no es necesario que se produzca ni siquiera combustión. Y si se alcanza una temperatura muy elevada la estructura metálica se plastifica ocasionando el colapso.

En el caso de la construcción en hormigón armado, la resistencia al fuego se determina por el espesor de recubrimiento de las armaduras de acero y dado que el hormigón es buen conductor térmico si se alcanzan altas temperaturas estaríamos en riesgo de agotamiento del material igual que el caso anterior.

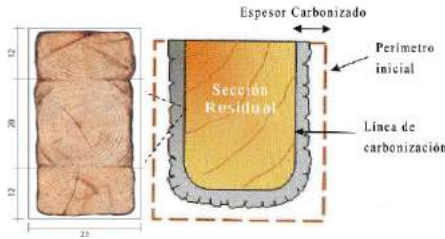


Fig.8. Esquema de cómo sería la reducción de una sección de madera tras un incendio.

Para que la madera comience a quemarse se ha de alcanzar una temperatura de al menos 300°C y desencadenarse el proceso químico donde comienza la combustión, lo cual lleva un periodo de tiempo, e incluso cuando comienza la carbonización, la combustión se ralentiza.

La sección de madera se quema lentamente aproximadamente 0,7 mm por minuto desde la corteza al núcleo creando una capa protectora que permite una vez comenzada la carbonización mantener las propiedades mecánicas y tras 30 minutos del comienzo del incendio esta capa dificulta el paso de oxígeno hacia el interior de la pieza ralentizando su combustión. Así tenemos la capacidad de evacuar de forma más segura el edificio.

A diferencia de lo que se cree, rara vez las estructuras de madera contribuyen alimentando un incendio, sino que sufren las consecuencias de ello y que incluso se comporta mucho mejor que las estructuras realizadas con otros materiales.

Hay que tener en cuenta que en las estructuras de madera las zonas o partes más débiles en caso de incendio son las uniones (mayormente metálicas) que quedan expuestas y deben de contener algún tipo de protección especial para soportar un posible incendio.

La resistencia al fuego de una estructura de madera va a depender de diversos factores, como la especie, el contenido de humedad, el canto útil... y podemos calcularlo de manera sencilla según la normativa específica del Eurocódigo por el método de la reducción de las propiedades mecánicas que consiste en la evaluación de la resistencia de una sección de la capa carbonizada y llevar a cabo los controles estructurales que reducen las propiedades mecánicas de la propia madera.



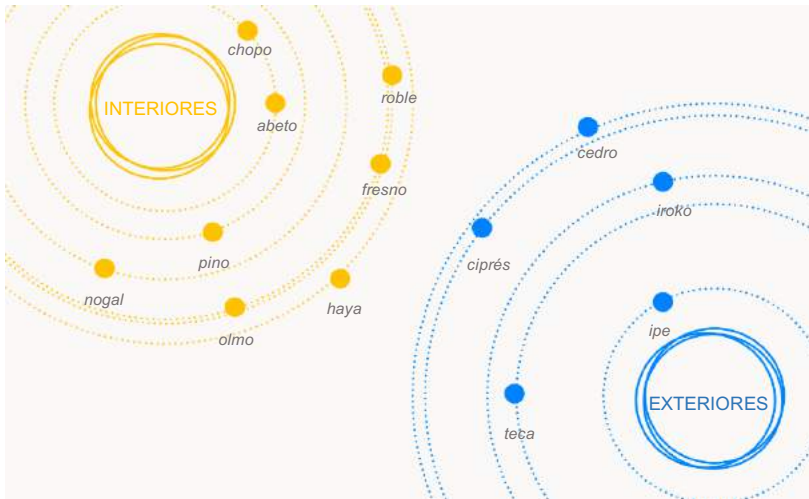
Fig.9 Edificio plurifamiliar en Lleida, España 2015. Hasta ahora el edificio en madera más alto de España. Alberga cinco plantas, 346 m² construidos y cumple con los 90 minutos de estabilidad frente al fuego exigidos por la normativa para edificios de más de 22 metros de altura.

Durable en el tiempo



Como bien se comenta en la introducción al inicio de este apartado existen construcciones de madera de hace más de 1200 años todavía en pie. Lo cual derriba el mito de la madera como material poco resistente al paso del tiempo.

No olvidemos que la madera es un material totalmente natural y que a lo largo de su vida útil va a manifestar cambios tanto en su aspecto como en sus propiedades. Por ello lo más importante es la correcta elección del tipo de madera que vamos a usar para cada fin. Existen uno o varios tipos de maderas adecuadas para cada fin específico.



22

Debido a que las especies más empleadas son las más económicas (como por ejemplo la madera de pino o de abeto en el caso de Europa), que a causa de su baja densidad son débiles frente a agentes meteorológicos (lluvia, humedad, sol, heladas...), existe la posibilidad de aplicar un tratamiento a las maderas llamado "impregnación en profundidad" que consiste en la impregnar la madera en un líquido que la hace más resistente a los cambios meteorológicos y a los ataques de hongos e insectos. Sin embargo, las maderas tropicales siguen siendo las líderes en madera para exteriores normalmente por su gran densidad y no necesitan ningún tipo de tratamiento o protección por lo que pueden ser utilizadas directamente.

Fig.10. Selección de algunas de las maderas más usadas en construcción clasificadas según su posible uso en interiores o exteriores. Esta clasificación está realizada mediante sus propiedades de resistencia a agentes externos y a su densidad. Se entiende el posible uso en interiores de los tipos de madera capaces de resistir a ambientes exteriores, lógicamente.

La norma establece 5 clases diferentes de uso: maderas para interiores con humedad < 20% (clase 1), para interiores con humedad > 20% (clase 2), para exteriores sin contacto con el suelo y protegidas de la intemperie (clase 3.1), para exteriores sin contacto con el suelo y no protegidas de la intemperie (clase 3.2), para exteriores en contacto con el suelo y humedad > 20% (clase 4) y para maderas constantemente en contacto con agua (clase 5).

Las clases de uso 3 y 4 son las más críticas y las más preocupantes a la hora de construir con cualquier tipo de madera, en las cuales tenemos que disponer de un tratamiento adicional para evitar la posible pudrición de la madera y el ataque de insectos xilófagos.



Fig.11. Madera expuesta al uso de clase 4 en dos ambientes opuestos. En la imagen de la izquierda se trata de un revestimiento exterior con madera de roble tratada por autoclave y en el caso de la imagen de la derecha se trata de un pavimento de madera de teca con un tratamiento solamente de barnizado.

Por otra parte, la madera es un material que resiste bastante bien a los compuestos químicos a diferencia de los aceros u otros materiales metálicos que reaccionan con productos ácidos y a sus soluciones de sales. Por este motivo hoy día ha aumentado la sustitución de otros materiales por la madera en lugares como piscinas, polideportivos cubiertos, recintos industriales (almacenes de sal y de otros productos químicos gaseosos) y recintos comerciales.

Aislamiento térmico



La madera y sus derivados son de los materiales más utilizados como aislamiento térmico en la edificación tanto en cerramientos como en cubiertas. Estos productos son malos conductores del calor debido a: por un lado, la escasez de electrones libres que son los principales conductores de este tipo de energía, y por otro, que son materiales porosos y su conductividad depende también del aire contenido en los poros.

En el resto de materiales convencionales en el sector de la construcción la conductividad térmica suele ser mucho mayor que en los productos de madera:

Conductividad térmica (Kcal / m h °C)

Acero	39
Aluminio	172
Ladrillo cerámico macizo	0,75
Vidrio	0,60
Yeso	0,45
Hormigón	1,00
Madera de coníferas	0,11
Madera de frondosas	0,15
Tablero de fibras	0,06
Tablero de partículas	0,08

Fig.12. Conductividad térmica de los materiales convencionales en la construcción actual.

La conductividad térmica nos indica la cantidad de calor que atraviesa un material en un tiempo determinado. Ésta depende de diversos factores que en el caso de la madera son: la humedad, temperatura, la densidad, la dirección de las fibras y las irregularidades que podemos encontrar en una pieza de madera como son las fendas y los nudos. La conductividad de la madera aumenta conforme lo hace la temperatura. Se ha demostrado también que la conductiva térmica en dirección paralela a las fibras es de 2 a 2,8 veces mayor que en la dirección perpendicular y por tanto se escoge éste, como valor más desfavorable para realizar cálculos.

En definitiva, la madera es un buen aislante térmico y de alto rendimiento ya sea en climas fríos, cálidos o de alta humedad. Su capacidad aislante es mejor para temperaturas bajas porque así se compensan las influencias de humedad y temperatura ya que su conductividad térmica disminuye más al descender la temperatura que al aumentar la humedad a causa de la bajada de temperatura.

La importancia actual del ahorro energético ha llevado al nacimiento de un nuevo concepto en el mundo de la arquitectura: la arquitectura pasiva (*passivhouse*). El ahorro energético entre el 70 y el 90% de las edificaciones convencionales y el mantenimiento de un espacio con unas condiciones atmosféricas ideales tanto de humedad como de temperatura son los aspectos más importantes de este tipo de arquitectura, donde la madera juega un papel fundamental no solo en cerramientos exteriores y cubiertas sino también en las carpinterías (ventanas y puertas).



Fig.13. Ampliación de vivienda unifamiliar en Lleida. 2014. Certificada como casa pasiva (*passivhouse*): estructura de abeto laminado certificado, aislantes naturales de fibra de madera y celulosa, carpinterías de madera, cámara ventilada... El consumo en climatización según cálculos realizados no sobrepasa los 15 Kw h /m² a tal y como marca el estándar *Passivhouse*.

Buenas propiedades acústicas



La madera es un material muy utilizado en recintos donde el sonido está presente de forma muy marcada, ya sea en una sala de conciertos, un auditorio, una sala de espera amplia, unas oficinas abiertas... La madera les aporta un plus de calidez, armonía y perfecta acústica.

Dependiendo del recinto que se trate, es más conveniente usar un tipo de panel fonoabsorbente u otro de todos los que actualmente existen en el mercado. No todos tienen la misma capacidad de absorción y de lo que se trata es de crear el mayor rendimiento acústico posible.

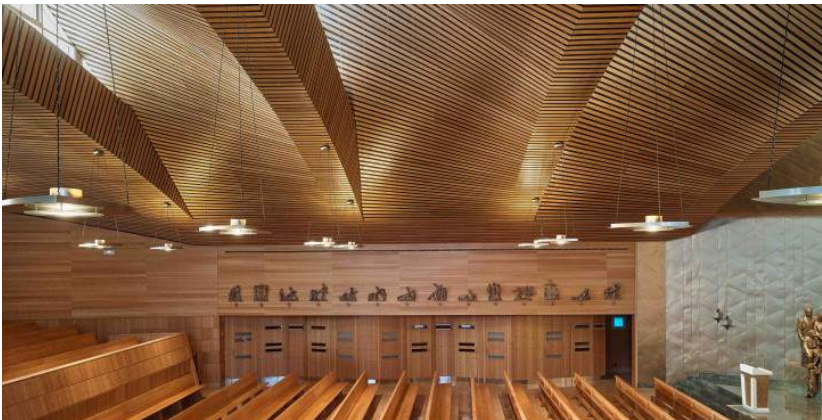


Fig.14. Oratorio y Salón de actos Retamar. Madrid 2014. Descripción de los arquitectos (Artytech2): "La madera, además de reforzar la continuidad espacial del conjunto, especialmente en el falso techo, lo dota de una calidez muy singular y nos permite que un espacio de tales características volumétricas se encuentre tratado proporcionando la superficie de absorción acústica entre sus lamas que permita el canto, la palabra y la

Debemos diferenciar muy bien dos conceptos muy diferentes en lo que respecta a las propiedades acústicas de la madera:

- Por un lado, está el aislamiento acústico, que es la diferencia entre el nivel de intensidad acústica incidente y el nivel de intensidad acústica transmitida. Los productos de madera no dejan de ser los más utilizados para la aplicación de este tipo de aislamiento, sobre todo para la reducción del ruido de impacto en forjados (10mm de corcho aportan una mejora de 10 dBA).
- Otra cosa es el acondicionamiento acústico, que consiste en mantener en un recinto determinado unos niveles de inteligibilidad y tiempos de

reverberación óptimos, y actualmente existen paneles de alta calidad en el mercado que lo hacen posible.

Este último concepto se basa en la absorción de los sonidos no deseados (reverberaciones) y que tiene gran importancia en lugares de amplio público

como los citados anteriormente. Existen materiales de alta calidad, normalmente de melamina hecha frente MDF y que pueden recibir un acabado colorido o en la última capa una lámina de madera natural. Deben colocarse con cierta separación de las paredes o techos rígidos ya que por lo contrario tendrían poca absorción a bajas frecuencias.

Los paneles deben de tener, o bien perforaciones o bien ranuras colocadas a una determinada distancia para ser materiales absorbentes acústicamente. Éstos funcionan como un resonador en el que el aire que ocupa las perforaciones o huecos entra en vibración cuando una onda sonora incide sobre el elemento.

El mercado actual ofrece diversas posibilidades entre las que se encuentran: a) los paneles de madera, con cavidades de absorción formadas por la superposición de las diferentes capas de las que se forma el material. Puede ser madera maciza o aglomerado con previo tratamiento ignífugo. b) paneles acústicos perforados de madera, utilizados normalmente como interposición en los falsos techos de escayola o yeso. Suelen tener buenos coeficientes de absorción. c) Listones de madera maciza, de canto notable colocados perpendicularmente a la superficie de agarre. d) Las llamadas celdas abiertas, técnica más versátil y que permite el libre diseño. Gran capacidad de diseño, fácil montaje y durabilidad. Este último producto permite la libre elección del tipo de madera, sistema de agarre, separación entre lamas, ancho...



Fig.15. Diferentes soluciones de revestimientos de madera con propiedades acústicas. De izquierda a derecha: a) falso techo de paneles de madera maciza bamizados, b) paredes revestidas con paneles acústicos perforados de madera, c) techo revestido con listones de madera perpendicular y d) diseño propio de un techo de madera que comprende las necesidades acústicas necesarias.

Práctica y rápida en obra



La construcción en madera es un proceso rápido si lo comparamos con el tiempo necesario para llevar a cabo una obra con otros materiales de construcción, como por ejemplo el hormigón. Se trata de una “construcción en seco”, es decir la no necesidad de componentes húmedos o agua en obra que tradicionalmente conforman una obra: hormigón, morteros, yesos...

Las estructuras de acero también se consideran construcciones en seco, lo cual acelerarían el proceso constructivo a diferencia del hormigón. Pero la ligereza de la madera, la facilidad de trabajar el material, cortar, atornillar, la no necesidad de soldado...etc., hacen que la construcción en madera sea más rápida todavía que el acero en la ejecución de una obra.

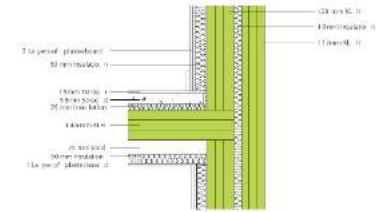


Fig.16. Stadthaus, Murray Grove, 2009. Hasta entonces considerado el edificio más alto de madera de todo el mundo: 8 plantas de estructura de paneles de madera contralaminada de abeto ejecutados en tan solo veintisiete días por cuatro operarios. El edificio se completó a las 49 semanas (11 meses y medio) y se estimó un ahorro de aproximadamente 5 meses de trabajo si hubieran realizado una estructura mixta de acero v

Normalmente los productos de madera usados en la construcción llegan a obra prefabricados de taller ahorrando así tiempo en el montaje y consiguiendo una mejor ejecución y disminuyendo el margen de error en las piezas. A veces la ejecución del proyecto en el lugar solo se basa en el encaje y ajuste de las uniones entre piezas que son mayoritariamente metálicas y sencillas de ejecutar. Una vez montada la estructura principal de madera y los

cerramientos de paneles, el trabajo se limita a la ejecución de los revestimientos y acabados.

La reducción del tiempo de ejecución en comparación con los materiales convencionales no solo supone un corto periodo en obra si no que reduce también los costes totales (mano de obra, material auxiliar como encofrados, grandes grúas, agua...).

El avance que se está llevando a cabo hoy día es fascinante y existen técnicas y herramientas suficientes que hacen de la madera un material adaptable a cualquier estilo arquitectónico. Su ligereza y flexibilidad nos permite salvar grandes luces y huecos, se integra de manera óptima en el entorno, ya sea en un entorno urbano o en un medio natural. La diversidad de texturas, tonos, colores, acabados y formas es también una gran variedad la que se nos ofrece.

Todas estas características hacen muy práctica la madera como material para un concepto muy utilizado actualmente: “la arquitectura temporal”. Estructuras repetitivas, fáciles de montar, rápidas, gran variedad de productos, adaptabilidad y sobretodo económica.



Fig.17. Domo. Kristoffer Tejlgær & Benny. Dinamarca. 2012. Lugar de encuentro temporal formado por un esqueleto de madera con uniones metálicas. Toda la madera utilizada es de pino local. El revestimiento se construyó en base a maderas viejas reutilizables.

Estética y comfortable



La madera es capaz de adaptarse a varios estilos arquitectónicos y la diversidad de productos y acabados actuales facilita esta práctica. Además, el uso de la madera, de alguna manera, da cierta calidez al proyecto. Considerada un material cálido y agradable al tacto.

Calidad de vida, salud y bienestar son algunos de los conceptos importantes en la sociedad actual y que la madera nos ayuda a proporcionar debido a: es un material higroscópico, es decir, absorbe o libera humedad del ambiente manteniendo así un equilibrio hidrostático más o menos constante y comfortable para los que habitan, es un material con propiedades acústicas disminuyendo las reverberaciones de las ondas sonoras y creando espacios de importante confort acústico, y como también sabemos es un material aislante térmicamente que reduce el consumo de energía en los edificios.

Un estudio realizado por la universidad de biomecánica de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), se basa en la búsqueda de una relación coherente entre la utilización de la madera y la salud para publicitar y crear conciencia de su uso en el ámbito nacional. Dicho estudio llevó a cabo diversas fases y metodologías dando como resultado una importante influencia de la madera en: el confort acústico, el confort térmico, el crecimiento saludable, la actividad física, la calidad del sueño, la salud laboral (productividad) y el bienestar.

Se distinguieron los conceptos que están asumidos por la sociedad (confort térmico, acústico y bienestar) y los poco asumidos a pesar de estar científicamente apoyados (crecimiento saludable, calidad del sueño, actividad física y productividad laboral). Estos últimos fueron elegidos para trabajar más detalladamente con ingeniería emocional, punto clave para fomentar los formatos de comunicación.

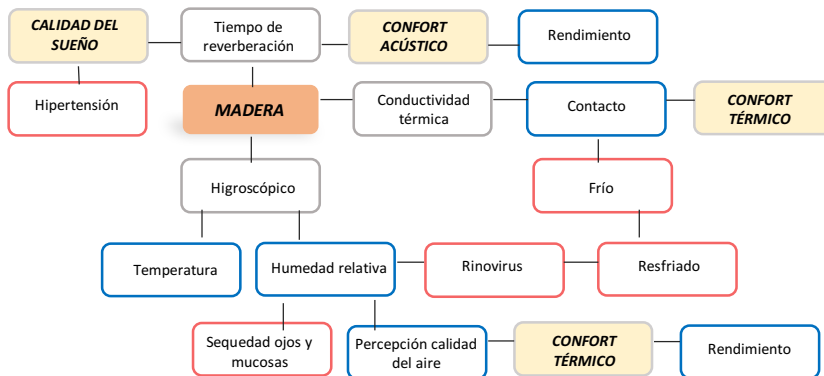


Fig.18. Esquema ejemplo de las relaciones entre el uso de la madera y la salud. "Vivir con madera" Universidad de biomecánica (UPV)



Fig.19. Vivienda unifamiliar en Santiago de Compostela. Ameneiros Rey Arquitectos. 2013. Ejemplo de la incorporación de madera en la vida cotidiana actual. Estructura de cubierta con vigas laminadas de madera de pino, tarima de pino y mobiliario interior también de este tipo de madera.

Sostenible



La madera es un producto 100% natural y está considerada el material más sostenible actualmente. Es ecológica y renovable. Haciendo un buen uso de nuestros bosques ayudamos al crecimiento de éstos aprovechando este recurso. Si aprovechamos nuestros bosques racionalmente fomentamos el aprovechamiento forestal sostenible. La madera, a lo largo de su vida, almacena CO₂ de la atmósfera durante su crecimiento, que es uno de los gases más perjudiciales para el crecimiento del efecto invernadero. Por ello, el aprovechamiento de los bosques maduros, que almacenan menos cantidad de este gas, y la regeneración de éstos con nuevas plantaciones fomenta el crecimiento de los bosques, tan esencial hoy día.

La transformación de la madera conlleva un mínimo consumo energético. Además, si la comparamos con la transformación de materiales como el acero y el hormigón la diferencia se dispara.



Fig.20. Ciclo de la vida útil de la madera. Desde la reforestación, al aserradero, incluyendo la transformación de las materias no útiles en nuevos productos.

Los desechos de la madera, al ser un material orgánico, son biodegradables, al contrario que el hormigón y el acero, sus máximos rivales.

Es un material reciclable. Las piezas de madera desechables y otros elementos que han agotado su uso se transforman en nuevos materiales muy útiles en construcción o en su caso como material para la producción de energía (pellets). Según ASEMA en un año se consiguen recuperar alrededor de un millón de toneladas de residuos de madera en España, de los cuales el 90% va

destinado a la fabricación de nuevos productos y el 10% a la producción de energía.

En Europa el 40% de la producción de energía la consumen los edificios. De ahí la importancia de su ahorro en el ámbito de la construcción. Las propiedades de la madera como aislante térmico favorece el ahorro energético de los edificios y su eficiencia energética.

Además, haciendo un buen uso del aprovechamiento de la madera como recurso en la construcción ésta es inagotable.

En el caso de España, importamos alrededor del doble de lo que realmente se consume. Este hecho no es a causa de que tengamos menos recursos que otros países, que también, sino a causa de la mala gestión existente actual en el buen aprovechamiento de nuestros montes.

Las importaciones son normalmente del resto de Europa en un 50% y de EEUU en un 15%. En España se rondan los 5 millones de hectáreas de terreno que puede producir madera, pero se pretende que en el 2050 sean siete millones de hectáreas, dos de ellas se tratarían de nuevas plantaciones y el resto de masas naturales. Así como generar alrededor de 50 millones de metros cúbicos de madera al año.

La sociedad está preparada para un futuro sostenible y ecológico, y no es menos la utilización de la madera en el sector de la construcción como sustituyente de otros materiales convencionales más perjudiciales para el medio ambiente. La sociedad de otros países está más acostumbrada al uso de este recurso y el futuro parece ir en ese camino.

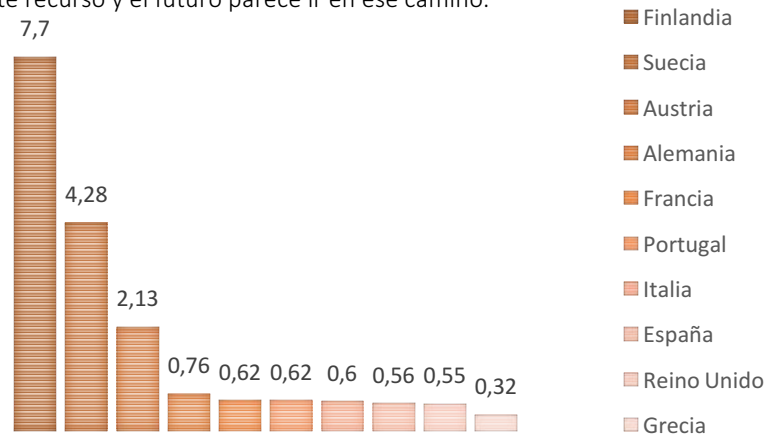


Fig.21. Gráfico donde se muestran las cantidades de metros cúbicos por habitante de madera al año usados en algunos de los países de Europa.

. MADERA Y MEDIO AMBIENTE

La madera, durante su crecimiento, almacena CO₂ de la atmósfera, manteniéndolo hasta su degradación natural o su combustión. Una vez talada, transportada y/o transformada la madera sigue conservando el CO₂ absorbido durante su crecimiento y, como se ha comentado anteriormente, la madera absorbe más CO₂ cuanto más rápido es su crecimiento. Este proceso no genera carbono adicional por lo que la madera no aumenta el CO₂ ambiental.

No solo existe esta ventaja de que la madera en sí misma absorbe el CO₂ de la atmósfera si no que su utilización en la construcción disminuye, lógicamente, el consumo de otros materiales convencionales como son el acero y hormigón que contaminan en mayor escala al medio ambiente.

La utilización de la madera genera además beneficios socioeconómicos, revaloriza la materia prima local de las zonas ricas en madera, puede producir empleo en las zonas rurales y favorece el asentamiento de las poblaciones, además de generar un avance y desarrollo económico en el sector que se dedica a la transformación de productos madereros y a nuevos avances tecnológicos para su uso.

Como bien hemos dicho anteriormente existen dos formas de disminuir el CO₂ de la atmósfera a través de la utilización de la madera:

A_ Almacenando el CO₂ que es absorbido por el árbol.

B_ Reduciendo las emisiones de CO₂ a la atmósfera, sustituyendo otros materiales que contaminan más por la madera.

Por ejemplo, un árbol que tarda 30 años en “generar” una tonelada de madera (1000 kg) y suponiendo (según estudios comprobados) que un árbol absorbe (dependiendo de diversas condiciones) alrededor de 30kg de CO₂ al año, esa madera habría absorbido de la atmósfera alrededor de 1 tonelada de CO₂ de la atmósfera. Además, hemos ahorrado una posible emisión de CO₂ a la atmósfera no consumiendo materiales más contaminantes como el acero, por ejemplo. Para producir una tonelada de acero se emiten cerca de dos toneladas de CO₂.

Por lo tanto, simplificando, obtenemos que utilizando una tonelada de madera almacenamos 1 tonelada de CO₂ absorbida de la atmósfera más aproximadamente otra tonelada de CO₂ de un ahorro en la producción de acero y hormigón. En total serían 2 toneladas de CO₂ fuera de la atmósfera. Supongamos ahora un ejemplo de una vivienda, de 85 metros cuadrados en la que la utilización de la madera se hace de tres formas diferentes. Partimos de la simplificación de la utilización de una madera con una densidad media de 600 kg por metro cúbico.



Opción A_ Si el pavimento del suelo de toda la vivienda (85m²) y puertas interiores se solucionasen con un acabado de madera:

Aportación aproximada= 750 kg de madera:

750 kg aprox. de CO2 absorbido durante la vida del árbol

+

750 kg aprox. de CO2 ahorrado por el no consumo de otros materiales

suman un total de casi 1,50 toneladas de CO2 fuera de la atmósfera, lo que compensaría la emisión de CO2 que emite un coche en medio año.



Opción B_ Si además del suelo y las puertas, el mobiliario y las ventanas también fuesen soluciones en madera:

Aportación aproximada = 750 + 1940 = 2690 kg de madera:

2690 kg aprox. de CO2 absorbido durante la vida de los árboles

+

2690 kg aprox. de CO2 ahorrado por el no consumo de otros materiales

suman un total de 5,4 toneladas de CO2 fuera de la atmósfera, lo que compensaría la emisión de CO2 de un coche en casi dos años.



Opción C_ Si además de todo lo anterior las particiones interiores se hubiera construido en madera:

Aportación = 2690 + 1143 = 3833 kg de madera:

3833 kg aprox. de CO2 absorbido durante la vida de los árboles

+

3833 kg aprox. de CO2 ahorrado por el no consumo de otros materiales

suman un total de 7,6 toneladas de CO2 fuera de la atmósfera, lo cual compensaría el consumo de CO2 de un coche en dos años y medio.

Además, el uso de la biomasa forestal como combustible de calefacción reduce a cero las emisiones de CO2 a la atmósfera, a diferencia de otros combustibles como el gas natural o el gasóleo, muy perjudiciales.

Fig.22. Casa unifamiliar de 85 m². Se estudian tres casos de cómo afectaría al medio ambiente la utilización de madera. De arriba a abajo: a) pavimento y puertas de madera, b) pavimento, puertas, ventanas y mobiliario y c) pavimento, puertas, ventanas, mobiliario y partición interior en madera.

3. Tecnología de la madera

. INTRODUCCIÓN

Los procedimientos industriales y la mecanización de las herramientas de trabajo que han surgido en los últimos años en el sector maderero han sido claves para hacer de la madera un material de construcción más cómodo, rápido y eficaz. Además, los avances relacionados con el control de la madera nos permiten identificar la calidad de ésta mediante control informático: sensores que sirven para la clasificación estructural e incluso la detección de irregularidades en la madera. Los acabados superficiales del material son también más rápidos y de mayor calidad.

El secado de la madera se genera mediante controles de temperatura y ventilación forzada consiguiendo así productos con mayor rapidez. Las técnicas de control de humedad durante el proceso de secado, tan importantes para obtener un buen producto, se basan en procedimientos más fiables de ultrasonidos y alta frecuencia.

También las técnicas de tratamiento final y conservación de la madera han evolucionado notablemente estos últimos años. Se han dejado de utilizar biocidas y otros productos similares que perjudican al medio ambiente a cambio de estudiar y encontrar soluciones alternativas como el correcto uso de los tipos de madera para cada ambiente, sustancias naturales repelentes para insectos, tratamientos a alta temperatura por aire o fluido seguido de un baño de tratamiento, procedimientos químicos como acetilación para convertir la madera hidrófoba, impregnaciones de resinas seguidos de una polimerización acelerada...etc.

No solo han avanzado las herramientas para trabajar el material y los procedimientos de control de calidad de la misma, si no que se ha incrementado el número de productos derivados de la madera; nuevos productos útiles para la construcción, innovadores y con una amplia gama en el mercado actual.

En cuanto a piezas lineales, la utilización de colas altamente resistentes permite formar productos de grandes dimensiones, es decir, la madera en sí, a pesar de tener limitaciones dimensionales, se han desarrollado nuevas técnicas de fabricación que carecen ahora de estas limitaciones.

Los contrachapados fueron la primera respuesta a la necesidad de tableros de gran formato, pero debido a la alta calidad de la madera que se requiere (troncos rectos, cilíndricos...), fueron remplazados por tableros de partículas y de fibra que no requieren dichas cualidades. Éstos últimos, dependiendo de la cola utilizada en su fabricación, el tamaño, la forma y la orientación de las partículas permiten fabricar tableros con diversas propiedades que responden a las exigencias económicas y técnicas de cualquier aplicación. Tableros de fibras (MDF), de virutas (OSB) y de chapas de madera (LVL) son los compuestos más utilizados actualmente en construcción.

. PIEZAS LINEALES EN CONSTRUCCIÓN



- Las piezas lineales de **madera maciza** cada vez son menos utilizadas. La madera maciza de uso estructural tiene limitaciones dimensionales a lo que el canto de la pieza se refiere, si bien longitudinalmente cabría la opción de empalmar varias piezas con fuertes adhesivos. Preocupa la cantidad de humedad en el interior de la pieza, la estabilidad dimensional y el tipo de aserrado. El precio es mayor que el resto de soluciones. Su uso actualmente se limita a edificaciones aisladas. Si bien las podemos encontrar en numerosos edificios antiguos.



- Las piezas de **madera laminada encolada** están formadas por piezas de madera de sección reducida (generalmente no superan los 40 x 250 mm) unidas entre sí por adhesivos sintéticos de alto rendimiento que pueden llegar a formar piezas de dimensiones importantes. Ofrece ampliar y uniformar las características de resistencia mecánica gracias a la selección y descarte de las partes con nudos e imperfecciones. Presentan elevadas características mecánicas en relación al peso propio y son fáciles de trabajar a la hora de trabajar las uniones a través de tornillos o pernos. Al tratarse de cantos reducidos existe un mayor control en el secado de las piezas y por tanto en el control de humedad. Su fabricación permite un mayor campo de diseño en la forma de las piezas. Se pueden llegar a conseguir luces de más de 100 metros de longitud y también se utilizan como arcos, pilares y elementos estructurales planos. Las maderas más utilizadas para este tipo de material son el pino, el abeto rojo, el roble y el alerce, en Europa.



- Las piezas de **madera laminada armada** consisten en la disposición de placas metálicas, placas de materiales compuestos, fibras plásticas, fibras de vidrio o barras de acero entre las piezas de madera antes de ser encolada. Este tipo de piezas mejoran las propiedades mecánicas entre un 10-20%, sobretodo aumenta la resistencia a flexión. Mejora la resistencia y sobretodo el módulo elástico. Se utilizan mayormente en zonas sísmicas, vigas de grandes cantos y ambientes donde la humedad es elevada o presenta fuertes variaciones. Armar las piezas supone la reducción de hasta un 40% de la sección de piezas de madera laminada encolada.



- **Madera laminada fibroreforzada.** Entre las láminas de madera se dispone una o varias capas de materiales plásticos de refuerzo (aramida, carbono, vidrio o polietileno). El objetivo es mejorar la eficacia del encolado, que supone transformar la pieza en un elemento de importante resistencia y moderadamente rígido. Se utiliza para salvar grandes luces sin renunciar a la ligereza y el carácter estético de la madera, además de cuando se deba limitar el peso de los elementos.

. TABLEROS Y COMPUESTOS DE MADERA EN CONSTRUCCIÓN

- **Tableros de 3 o 5 capas.** Estos tableros están constituidos por capas de madera maciza (3 o 5) unidas mediante resinas fenólicas y melanina superpuestas tal que los sentidos de las fibras de las capas consecutivas forman 90°. Las capas exteriores suelen tener un espesor comprendido entre los 4 y 9 mm mientras que las capas intermedias suelen ser de 4 a 50mm. El uso común de estos paneles es el de revestimiento portante, construcción de particiones, forjados y cubiertas. También se pueden realizar fachadas ventiladas protegiendo los bordes del tablero.



- **Tableros de alma alistonada.** A diferencia del anterior, en este la capa intermedia no es de madera maciza si no que está constituida por listones de madera encolados. Ésta está cubierta o bien por una chapa de madera (cobertura simple) o bien por dos chapas consecutivas (una de aislamiento y otra de cobertura). Puede utilizarse o no el mismo tipo de madera para las diferentes capas. Su uso es más para casos específicos como la construcción de escaleras o mobiliario.



- **Tableros contrachapados.** Disposición de chapas de madera de pocos mm encoladas con la orientación de las fibras formando 90° mediante diferentes tipos de resinas (formaldehído, fenólicas, resorcinol...). Se utilizan mucho para el paneado y refuerzo de muros, forjados y cubiertas.



- **Tablero de partículas.** Formados por materiales derivados de la madera alineados en paralelo a la superficie del tablero, mediante ligazón y prensado de partículas de madera. El acabado exterior (la cobertura) pueden ser láminas de madera natural. Dependiendo el proceso de encolado y de la utilización de conservadores para la madera, ésta puede utilizarse en zonas con baja humedad (si se usan amino-plásticos) o bien zonas de ambientes muy húmedos (si se usan resinas fenólicas de endurecimiento alcalino). Son paneles resistentes y de refuerzo para particiones, forjados y cubiertas.



- **Tableros de fibras.** Comprenden una amplísima gama en el mercado. Desde productos rígidos para el paneado de muros, forjados y cubiertas hasta productos rígidos y/o flexibles como aislamiento térmico y acústico. Se trata de partículas fibrosas principalmente de madera sometidas a presión (o no) y con o sin adiciones de colas y aditivos. Se fabrican generalmente mediante los desechos de maderas que no han sido tratadas químicamente. Dependiendo de las características de fabricación, calidad, adiciones... obtendremos un producto para una determinada función u otra. Por ejemplo, los paneles de fibra rígidos como aislamiento térmico pueden tratarse con betún en sus dos caras para mejorar la resistencia a la humedad, la resistencia a hongos e insectos y hacerlo imputrescible.





- **Tableros de corcho.** Se elabora a partir de la corteza del alcornoque. Puede fabricarse en forma de tablero (expandido) o en forma de gránulos naturales (aglutinado). Es resistente a la acción de hongos y a la pudrición. Los usos más comunes del corcho en construcción son paneles de aislamiento acústico (sobre todo al ruido de impacto) o gránulos de relleno.



- **Laminated Veneer Lumber (LVL).** Está formado por varias láminas de madera que a diferencia de los contrachapados las fibras de las diferentes capas estas colocadas paralelas entre sí encoladas entre ellas con resinas de formaldehidos fenólicos resistentes al agua. Para dimensiones importantes sí que se suele disponer en sentido ortogonal las capas sucesivas. Los usos son los mismos que los de las maderas laminadas. Se utilizan básicamente para refuerzos de correas, de apoyos, placas con función portante... Además, se usan también como revestimiento exterior, ya que las láminas se pueden impregnar fácilmente con sustancias protectoras a base de agua, por lo que la hacen una madera resistente a condiciones climáticas desfavorables.



- **Parallel Strand Lumber (PSL).** Se trata de fibras de alrededor de 16mm de ancho y 3-4 mm de espesor alineadas en paralelo al eje longitudinal de la pieza y se encolan entre ellas mediante resina de formaldehído fenólica impermeable. Se forman tableros que posteriormente se cortan para formar, generalmente, vigas. Este material no es muy usado en Europa, pero sí en EEUU. Sus propiedades son similares a las de la madera encolada, aunque ligeramente más resistentes. La unión encolada es impermeable, pero a la intemperie se transforma en un color grisáceo.



- **Tablero de madera estabilizada (PLS).** Es un compuesto de madera molida (partículas de 3-3,5 mm) con polvos minerales. Reciclable, no se deforma en presencia de agua o hielo y cubre gran variedad de usos: particiones interiores, paredes cortafuegos, cerramientos exteriores, aislamiento acústico... También se dispone del material en forma de "polvos" para fabricarlo a pie de obra (pavimentos de campos deportivos) o fabricar elementos monobloques.



- **Tablero de fibras orientadas (OSB).** Normalmente de abeto y/o pino. Este tablero está formado por fibras finas de aproximadamente 0,65mm de espesor y largas (unos 95mm) orientadas en las capas exteriores longitudinalmente a la cara del tablero y transversalmente el resto de capas. Están unidas por resinas resistentes a la humedad. Gracias a su ligereza, rigidez, resistencia y el ser bastante económicas hace posible su uso en diversos casos: funciones de apoyo en obra, revestimientos tanto en paredes, techos y suelos, mobiliario, embalaje industrial...etc.

Fig.01. Cada vez son más los derivados y compuestos de madera que podemos encontrar en el mercado de la construcción. Los avances tecnológicos son fundamentales para ahorrar tiempo, dinero y producto (reciclaje). Existe gran variedad, como los tableros de partículas extruidas, tableros reforzados con fibrocemento e incluso un producto líquido a base de compuestos de madera (Arboform), que promete ser en un futuro el sustituto de las sustancias plásticas. No obstante, los citados en este apartado son los más utilizados hoy día en construcción.

. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS INNOVADORES

Sistema *Press-Lam*

Este sistema surgió en torno a dos necesidades en la construcción: la necesidad de cubrir grandes luces y ampliar la utilización de la madera en edificaciones que no fuesen residenciales. Se trata de piezas (ya bien sean vigas, pilares o muros) micro laminadas armadas con barras de acero que actúan de conectores.

La incorporación del acero compensa las cargas extremas (sobre todo la del peso propio y la sobrecarga de uso). Reduce notablemente la sección de las piezas, los nudos son más simples, el ensamblado es bastante rápido en obra y tiene muy buen comportamiento frente a fenómenos como terremotos y/o huracanes.



Fig.02. Oficinas en Christchurch, Nueva Zelanda, 2014. Edificio construido mediante el sistema Press-Lam. Formado por nueve muros de LVL armados con seis barras de 50 mm de diámetro cada uno y vigas también de LVL armadas cada una con seis tensores de acero de 15,2mm. Además, este edificio cuenta con la peculiaridad de tener incorporado un sistema de disipación de energía con acero de menor calidad que es fácilmente reemplazable en caso

La madera LVL, es generalmente de pino y durante su fabricación se dejan los huecos necesarios para la posterior colocación de las barras (y su posterior tensionado) que actúan como conectores y generan pos-tensión al sistema. La pérdida del tensionado es como máximo de un 25% aunque esta puede ser todavía menor si se realizan una serie de re-tensionados a los dos años de aplicar la tensión inicial.

Las uniones entre elementos pueden ser de todo tipo: madera-hormigón, madera-acero o madera-madera. Además, se debe disponer de una placa metálica en la base de la pieza y otra en la cabeza para aumentar la superficie de contacto entre elemento de acero y la madera y así reducir el aplastamiento paralelo a las fibras de madera.

Con este sistema se puede alcanzar una luz de hasta 15 metros de distancia y edificios de 20 plantas (unos 60 metros de altura). Es un sistema no muy económico pero que comparado con estructuras de hormigón y acero solo se diferencia en un 2% del coste total.

Sistema CLT (Cross Laminated Timber) o MCL (Madera contra-laminada)

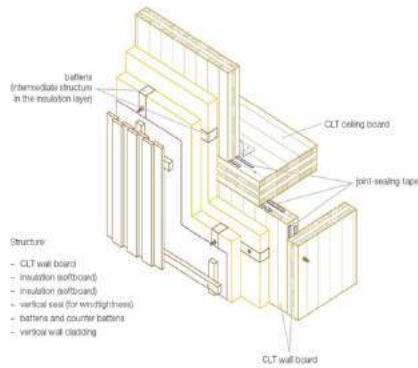


Fig.03. Detalle constructivo del sistema de paneles contra-laminados. Encuentro entre varios paneles MCL de diferentes usos en la construcción: forjado, partición interior y cerramiento exterior (de carga) con la combinación de otros materiales de acabado exterior.

Se trata de la disposición al menos tres tableros de madera laminada encolados entrecruzados con adhesivos ecológicos y sin formaldehído que forman un panel. El tamaño máximo de fabricación de estos paneles es de 3 x 16 metros y su uso es muy amplio; tabiques, cerramientos exteriores, cubiertas y forjados. Podríamos decir que se trata de un sistema “murario”, (aunque no sería un término muy acertado ya que cumplen también las funciones de forjados y cubiertas) de paneles de madera que dependiendo las necesidades podemos aumentar más o menos el grosor del panel añadiendo tableros de madera laminada (3,5,7 o hasta 8 capas). Normalmente se utilizan las maderas de pino y abeto para la fabricación de éstos.

Permiten una gran flexibilidad y es compatible con numerosos materiales de construcción convencionales. Además, tienen una buena distribución de cargas en ambas direcciones.

Ya sabemos que la madera es un muy buen material aislante y debido a que se trata de un sistema de muros, se descarta la necesidad de pilares. Esto supone un ahorro de espacio si lo comparamos con los cerramientos cerámicos convencionales, por ejemplo.



Fig.04. Montaje de los paneles elaborados en taller. Fácil y rápido a pie de obra.

Los tableros, fabricados en taller, son transportados a pie de obra ya con los huecos necesarios destinados a el alojamiento de ventanas, puertas e instalaciones, y allí se comienza el montaje y unión de los diferentes paneles (rápido y cómodo de montar). Los acabados pueden ser varios; madera lijada, pintada, e incluso poner en la capa externa un tipo de madera diferente al gusto del consumidor.

Este sistema está actualmente en pleno auge. De hecho, se están construyendo desde viviendas unifamiliares, hasta edificios de varias plantas, edificios comerciales e industriales (ver ejemplo: figura 16, pág. 24).

Sistemas modulares o *block*

Se trata de piezas de dimensiones suficientes como para ser manejables y colocadas por los operarios con sus propias manos, como si de bloques de hormigón se tratara. Estas piezas, generalmente, están fabricadas a su vez por otras piezas de madera maciza que cada marca comercial elabora su propio diseño. Las piezas están aligeradas en su interior con huecos que sirven a la vez para un posible alojamiento de paso de instalaciones o de materiales aislantes. La unión entre bloques suele ser por machihembrado macizo tanto en la parte superior-inferior, como en los laterales.

Es un sistema de prefabricación-almacenaje-transporte y montaje. Todo muy rápido y eficaz. Se controla a través de programas informáticos de CAD que se basan en un sistema de red modular lo que hace que en la obra el margen de error sea casi nulo.



Fig.05. Vivienda unifamiliar en Lucatín, Eslovaquia por Jaro Krobot, 2016. Montaje de los muros y particiones mediante el sistema de piezas modulares o bloques. Se decide dejar vista la cara interior de los muros de cerramiento y particiones interiores.

Las caras interiores de los muros pueden dejarse vistas o bien ser revestidas por otros materiales convencionales, como por ejemplo yeso. Sin embargo, las caras exteriores del muro expuestas a la intemperie deben de ser resueltas, bien como fachada ventilada o bien revestida con los materiales apropiados que la protejan de los agentes atmosféricos.

Hay que destacar que, a pesar de ser un sistema innovador y muy utilizado en algunos países donde la madera es el material principal de construcción, su uso se limita a viviendas unifamiliares de pocas plantas, construcciones rurales o edificaciones temporales.

Si bien, cada vez son más las marcas comerciales que desarrollan este sistema, cada una con su diseño propio; diferentes tamaños, diferentes tipos de uniones, bloques que ya vienen con el aislante incorporado...etc.

Sistema de panel SIP (*Structural Insulated Panel*)

Este sistema surge en los países donde la madera es el principal material de construcción y se tiene la necesidad de construir viviendas más eficientes energéticamente y por lo tanto con más aislamiento térmico, y que a la vez sean económicas y rápidas de construir.

El panel se forma por un núcleo rígido de material aislante (normalmente poliuretano o poliestireno) y por dos capas exteriores de tableros contrachapados o más generalmente tableros OSB.

Es un sistema fácil y sencillo de montar. Las uniones entre paneles se basan en unas espigas de madera contrachapada atornilladas a los paneles que para asegurar la estanqueidad son selladas con espuma de poliuretano inyectado.

Los paneles estándar tienen unas dimensiones aproximadas de 1,30 x 2,60 de largo pudiendo llegar hasta los 4,90 metros. Al igual que el sistema modular o de bloques, éste también se pre-diseña mediante programas informáticos, consiguiendo un mejor diseño pudiendo trabajar los paneles en planta para abrir huecos, preparar uniones, abrir conductos en el núcleo del panel para las instalaciones...etc.

Su capacidad resistente permite usarlo como elemento soporte, aunque no se construyen mediante este sistema edificaciones de más de dos plantas. Sin embargo, es ideal para soluciones de cubierta y coberturas ya que su capacidad portante permite eliminar las particiones interiores secundarias.

Una de las ventajas es que podemos incrementar el aislamiento térmico de nuestro cerramiento aumentando simplemente el grueso de los paneles. También existen diferentes tipos de paneles dependiendo de los tipos de tableros exteriores, que normalmente son de OSB y contrachapados, pero pueden ser paneles de cemento reforzado o de láminas fenólicas reforzadas con fibra de vidrio.

Fig.06. Construcción de vivienda unifamiliar mediante el sistema constructivo de paneles SIP. Cortados y trabajados a pie de obra.



Sistema de conectores para forjados mixtos de Madera-Hormigón

En ocasiones, los sistemas constructivos de forjados se componen de un sistema mixto madera-hormigón. El forjado está formado por viguetas de madera, ya sea maciza o laminada, con unos elementos metálicos en la cara superior de ésta y posteriormente una loseta de hormigón con su correspondiente armadura (malla metálica electro-soldada). La malla electro-soldada se puede colocar sobre los elementos conectores metálicos, eliminando la necesidad de la colocación de elementos separadores. Los conectores aportan un fuerte agarre del hormigón a la madera formando así una pieza "única" y resistente.

Este sistema se utiliza en forjados de nueva construcción, pero sobretodo, y aquí en España, en edificios de rehabilitación donde se quiere mantener el forjado original y existe la necesidad de reforzarlo o restaurarlo.

El material de entrevigado puede ser cerámico, de madera, con capas aislantes o de cualquier otro material que resista el peso propio del hormigón durante su vertido.

Existen numerosos tipos de conectores, desde los conectores tipo T, que se colocan mediante clavos o tornillos a la viga a pie de obra, sistemas de enrejado metálicos con menos problemas de elasticidad excesiva, hasta las celosías de barras fabricadas y colocadas en taller. Las vigas de madera, al tratarse de un material poroso, suelen llevar protección plástica que se retira una vez ha madurado el hormigón, quedando la parte de protección plástica de la cara superior de la viga como material perdido.

En este sistema existe la no necesidad de operarios especializados y disminuye el peso propio los elementos estructurales a comparación de los sistemas de viguetas de hormigón. El hormigón con el que se realiza la loseta (normalmente de 5 cm de espesor) debe tener una granulometría adecuada para un buen encaje en todo el contorno de la viga. Además, pueden utilizarse hormigones aligerados.

Una alternativa a los conectores metálicos consiste en la perforación de cavidades en la cara superior de la viga que se rellenan en la fase del vertido de hormigón, eliminando la necesidad de conectores metálicos. Los propios elementos de hormigón formados en las cavidades cumplen esa función. Disponiendo la malla electro-soldada de la loseta garantizamos la resistencia de la estructura, si bien, la sección de la viga ha de ser mayor.

Este sistema ha llevado también a la elaboración de un pre-panel prefabricado formado por viguetas de madera, malla metálica electro-soldada y hormigón íntegramente en taller.



Fig.07. A_Sistema constructivo mediante conectores en forma de T. Se recomienda durante este sistema crear una contraflecha en el centro del vano de al menos 1/300 mediante el apuntalamiento y ser mantenida hasta que el hormigón alcance una resistencia madura. B_Conector lineal, fijado a la viga mediante tirafondos, que queda incrustado en el hormigón.

. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CONVENCIONALES

Sistema Platform Frame y sistema Balloon Frame

Sistemas mayormente utilizados en Norteamérica. Económicos, seguros y rápidos para vivienda de mediana altura. Se trata de muros formados por entramados de madera que se revisten por tableros estructurales de contrachapado o tableros OSB. *Platform Frame* y *Balloon Frame* son sistemas constructivos muy similares, pero con la diferencia de que en el sistema de *Platform Frame* los forjados de madera interrumpen la continuidad de los cerramientos exteriores (entramados de madera) mientras que en el sistema *Balloon Frame* éstos constituyen todo el edificio de suelo a techo. El primero, permite más cómodamente trabajar y armar los tableros en el propio suelo y luego levantarse y ser colados en su posición, mientras que el *Balloon Frame* requiere piezas de mayor longitud, tiene mayor dificultad para trabajarse y colocarse en obra y más facilidad de propagación de fuego en caso de incendio, por lo que se ha reducido su popularidad.

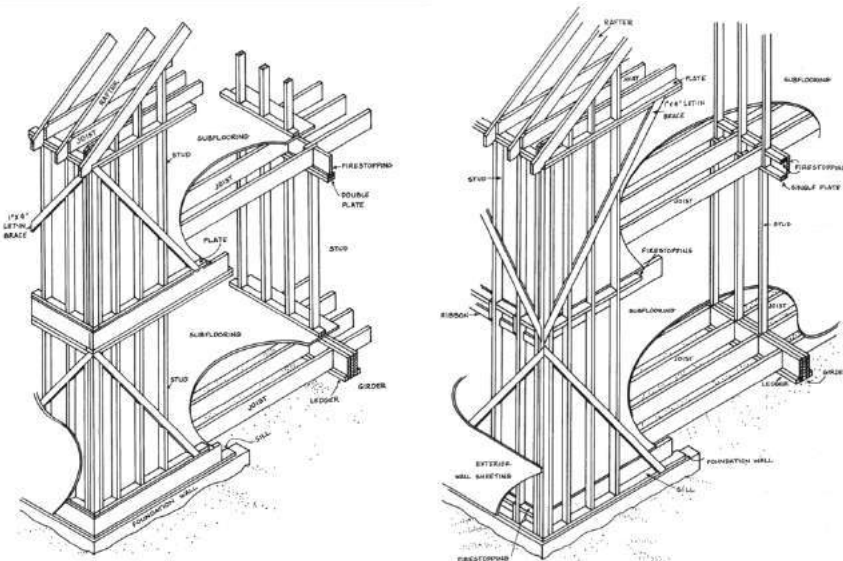


Fig.08. Detalle constructivo de entramado ligero de madera comúnmente utilizados en Norteamérica y Japón. A_ Sistema constructivo Platform Frame. B_ Sistema Balloon Frame.

Sistema viga-soporte

Sistema convencional que se basa en la formación de vanos formados por piezas lineales, simples o complejas, rectas o curvadas, macizas o laminadas. Los soportes se encargan de recibir los esfuerzos del resto de la estructura a través de las vigas sobre las que descansan los forjados o cubierta. Las uniones entre elementos se resuelven mediante piezas metálicas prediseñadas especialmente para cada encuentro.

Generalmente, en la mayoría de las uniones estructurales dependiendo de la relación de esfuerzos ente las diferentes piezas, se deberá elegir un sistema más adecuado cuidando que las dimensiones de las piezas de transmisión metálicas estén en relación con la sección de los elementos de madera.

Se trata de un sistema constructivo más pesado que el anterior, pero con la ventaja de no necesitar una estricta modulación en el proyecto.



Fig.09. Esqueleto de una estructura pesada de madera formada por soportes y vigas para una vivienda unifamiliar de dos plantas. El sistema se asimila a una estructura porticada formada por elementos de hormigón armado cuya envolvente no cumple ninguna función de transmisión de cargas.

. UNIONES EN MADERA

Los diferentes sistemas constructivos son un abanico muy amplio en el sector de la construcción en madera actualmente. Cada sistema resuelve los encuentros entre paneles y/o piezas de forma diferente. Ahora bien, hay gran número de estructuras de madera que se basan en piezas lineales diseñadas especialmente para cada proyecto, donde las uniones entre éstas juegan un papel importante en la resistencia de la estructura ya que son las zonas más vulnerables de las estructuras de madera y han de ser estudiadas y analizadas al detalle.

Las uniones se pueden clasificar de diferentes formas, como, por ejemplo, la forma del encuentro o por el medio de unión empleado. En ellas se debe considerar la resistencia, la transmisión de cargas, el aspecto, los procedimientos de ejecución del nudo y otras consideraciones que materialicen la unión.

Las consideraciones y consejos que se han de tener en cuenta a la hora de diseñar una unión resistente y estable son:

- Tener siempre en cuenta la geometría de los elementos estructurales.
- Analizar y comprobar las interacciones entre los elementos estructurales de madera y entre estos y otras partes de la estructura.
- En su caso, disponer elementos de arriostramiento en la/s direcciones oportunas.
- Respetar el espacio mínimo entre fijaciones mecánicas a los bordes de la pieza o entre fijaciones respectivamente.
- Las fijaciones mecánicas se deben colocar simétricamente con respecto al eje del elemento solicitante y es aconsejable que los ejes de las piezas sean concéntricos.

Como ya se ha dicho, las uniones más utilizadas hoy día son las uniones metálicas, ya sea a través de fijaciones mecánicas sencillas o mediante un elemento auxiliar. Pero también existen otras posibilidades como las uniones de contacto (simplemente para fijaciones de piezas comprimidas) o uniones encoladas, menos aconsejables.

Las uniones mecánicas, (clavos, tornillos, pernos, pasadores, tirafondos, conectores y placas dentadas) nos permiten realizar uniones semi-rígidas, dúctiles, de alta resistencia y con poca exigencia de máquinas industrializadas o mano de obra cualificada. Son rápidas, sencillas, se pierde poco material y son seguras. Están sometidas a esfuerzos de cizalladura, admitiendo desplazamientos relativos entre las piezas que dependen de la rigidez, la fuerza sometida y la disposición de la unión.

La densidad del tipo de madera, humedad y las cargas afectan a la durabilidad y resistencia de la unión.



Fig.10. Detalles constructivos reales de diferentes tipos de uniones mecánicas entre viga-pilar y viga-viga de madera. Obsérvese que, en el primer detalle, el diseño de la unión hace se elimina la necesidad de una pieza auxiliar metálica a diferencia de los otros dos detalles siguientes. Las uniones metálicas son los puntos más peligrosos de la estructura en caso de incendio y por lo tanto se han de tomar precauciones.



4. Contemporaneidad y nueva forma.
Casos de construcción en madera

Library & cultural center

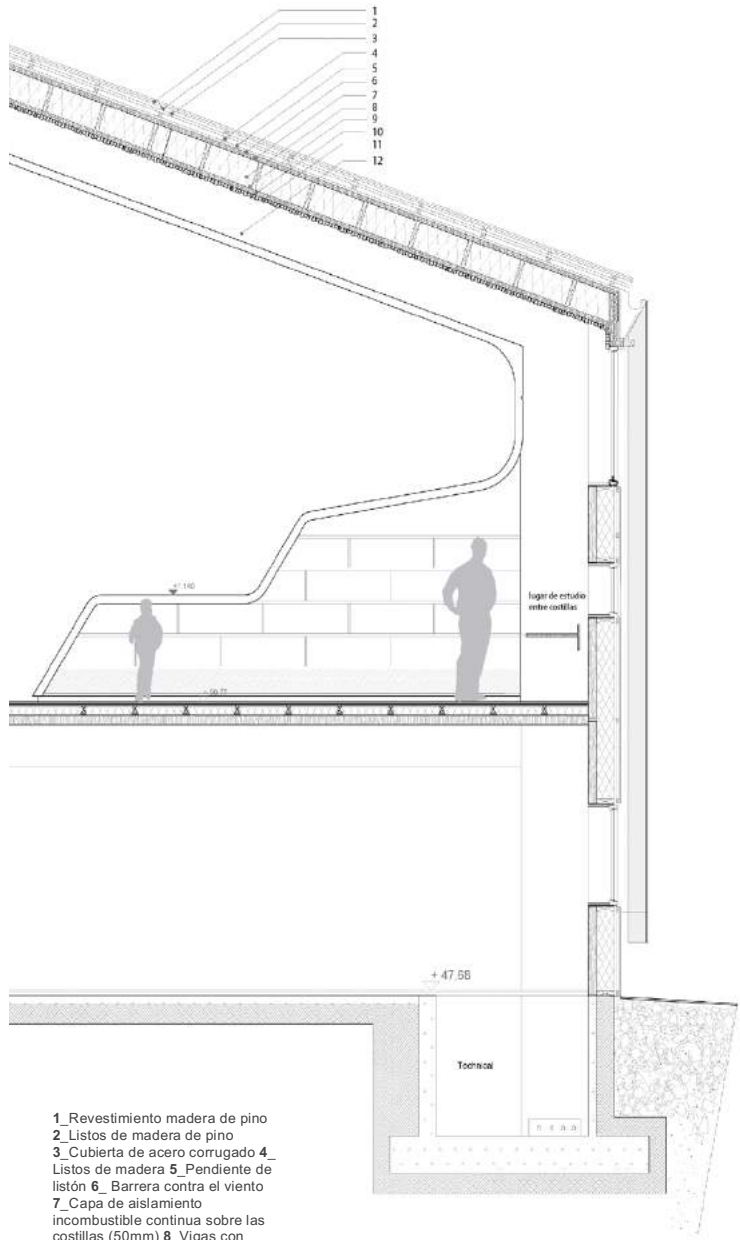
Helen & Hard Architects

Vennesla, Noruega

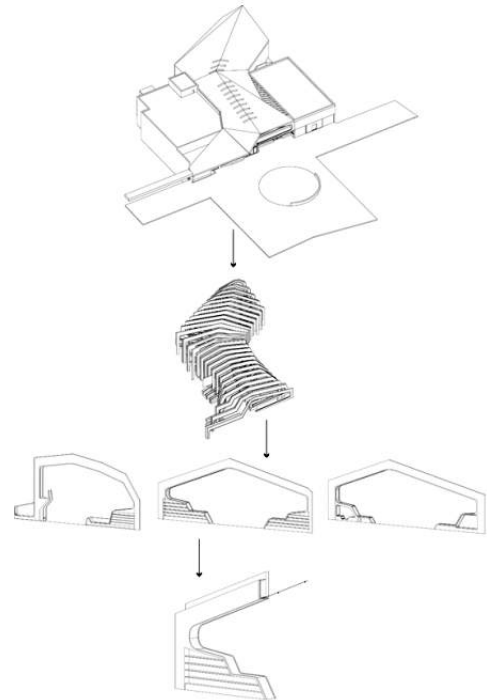
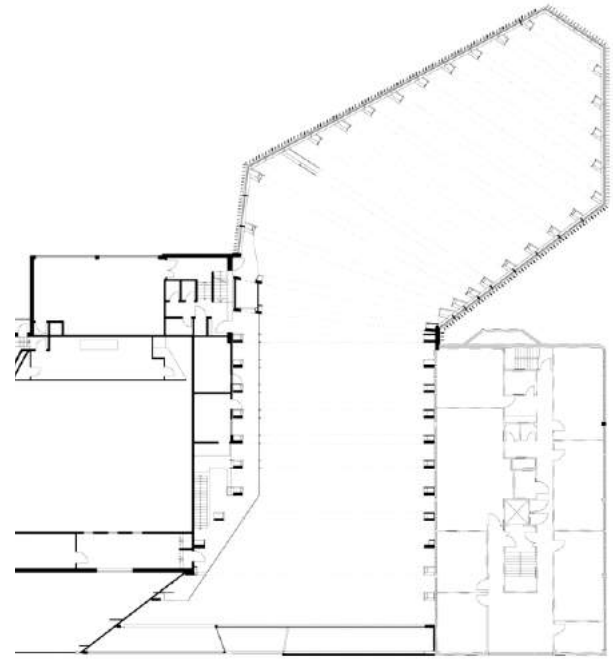
2011

El proyecto de librería, café y espacios de reunión se genera mediante un mismo espacio bastante generoso gracias al diseño de una estructura combinada con el mobiliario. Un pasaje integrado que da vida a la ciudad a través del paso por el edificio. Se desarrolla el concepto de la “costilla” para crear una estructura híbrida utilizable que combina una construcción de madera con todos los dispositivos técnicos y con el espacio interior. Se trata de 27 costillas con madera laminada encolada de pino prefabricadas en taller y tablas de madera contrachapada de corte CNC. Estos nervios dan forma a la geometría de la cubierta, así como a la orientación ondulante del generoso espacio abierto, con zonas de estudio personal situado a lo largo de todo el perímetro. Cada nervio consiste en un soporte-viga continuo, absorbentes acústicos, por los que además se conducen algunas instalaciones, vidrio curvado que sirve como tapa de iluminación y señalización, y nichos de lectura integrada y estantes. Además, se trata de un edificio de bajo consumo energético (clase A). En total se estima un consumo aproximado de 450 metros cúbicos de madera laminada.





- 1_ Revestimiento madera de pino
- 2_ Listos de madera de pino
- 3_ Cubierta de acero corrugado
- 4_ Listos de madera
- 5_ Pendiente de listón
- 6_ Barrera contra el viento
- 7_ Capa de aislamiento incombustible continua sobre las costillas (50mm)
- 8_ Vigas con aislamiento (30mm)
- 9_ Barrera de vapor
- 10_ 50mm de aislamiento
- 11_ Revestimiento de techo acústico (dimensión variada)
- 12_ Piezas de madera laminada



Hotel Slowhorse

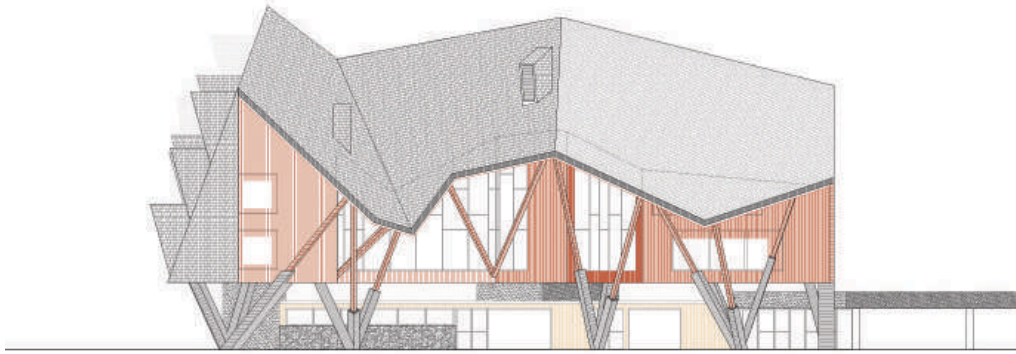
Elasticospa + 3 Architects

Piancavallo, Italia

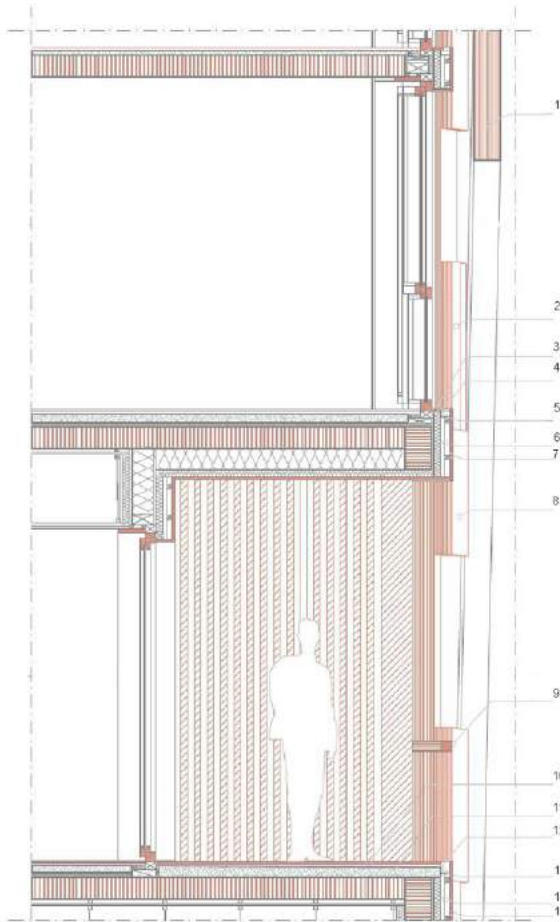
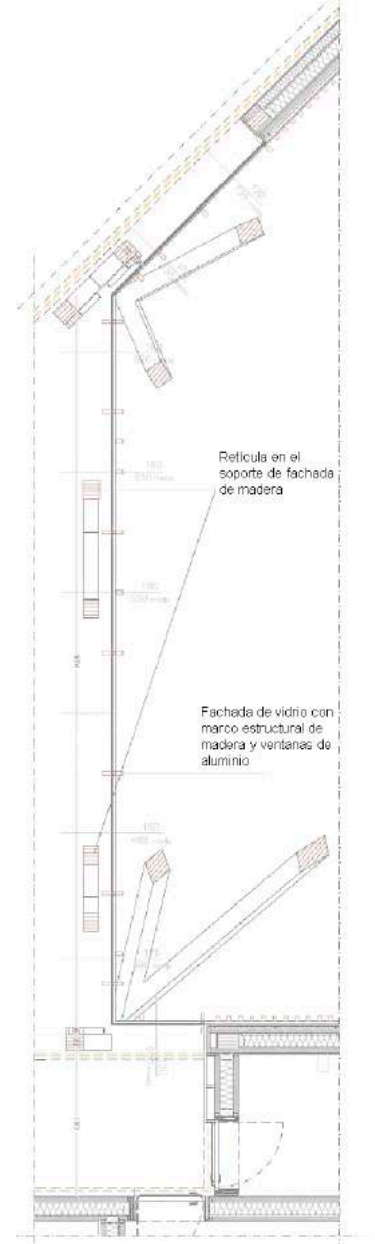
2012

Se trata de un proyecto de renovación y ampliación de una casa de huéspedes en un entorno natural de alta montaña. Las bases del nuevo edificio se construyen sobre una plataforma de hormigón de 5 metros a nivel del suelo de la que nace la estructura principal del edificio, formada por un núcleo de comunicación vertical y varios trípodos. Éstos últimos están contruidos en hormigón armado en su arranque y a partir de ahí en madera de alerce maciza. Esta decisión proyectual hace que se proteja a la madera de la humedad del terreno por capilaridad. Además, los cerramientos exteriores y forjados también están solucionados con paneleos de madera. Incluso algunos acabados, tanto interiores como exteriores son de madera; algunas zonas de las fachadas están cubiertas con madera de alerce, revestido con una talla especial de pentagramas en diferentes tamaños que sirven de brise-soleil en las habitaciones de la parte sur del edificio. La parte noroeste, más afectada por las tormentas, se ha cubierto con pizarra para combatir las fuertes nevadas. La elección de la madera de alerce para este proyecto da al edificio un aspecto de hogar de montaña, principal intención de sus diseñadores.





DETALLE EN PLANTA DE LA FACHADA



- 1_Puntal en madera laminada encolada de alerce 28x20 cm
- 2_Listones verticales en madera de alerce 5x6 cm, unido a la distancia entre ejes del tablón. Funcionamiento de revestimiento, brise-soleil y parapeto
- 3_Larguero de madera con divisiones
- 4_Membrana impermeable
- 5_Canaleta de aluminio de recogida de aguas pluviales
- 6_Tira doble de madera 4x4 cm
- 7_Revestimiento de panel de alerce de espesor 2cm
- 8_Listones verticales de madera
- 9_Barandilla hecha de piezas de madera de alerce
- 10_Refuerzo de suelo de alerce para el exterior
- 11_Reglón ligero dependiente mínima 2%
- 12_Membrana impermeable
- 13_Canaleta de recogida de aguas pluviales
- 14_Tira doble de madera
- 15_Revestimiento de paneles de alerce de 2cm de espesor.



Casa S-LOW

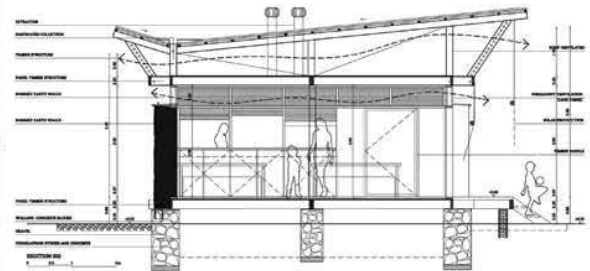
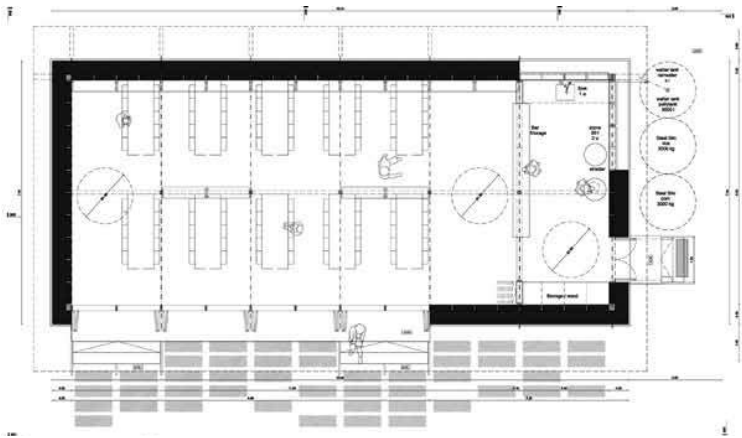
Sandra Martín-Lara & Ángel Estévez

Arkaria, Tanzania

2014

Bajo el lema: low cost, low tech, low energy, slow life, los arquitectos, tras más de un año de investigación en colaboración con la Escuela de Arquitectura de la Politécnica de Cataluña UPC, han diseñado un sistema constructivo que aúna las ventajas de la utilización de la madera con otros materiales 100% naturales, como la tierra. Se trata de un sistema saludable, de bajo coste, rápido de ejecutar y de bajo consumo energético, además de no emitir gases contaminantes para el medio ambiente. Está basado en tres principios fundamentales; salud, medio ambiente y economía de los medios. El precio de este sistema está alrededor de los 700€/ m². Se basa en el sistema americano Platform Frame: muros portantes y forjados de madera, formados por entramados de montantes y travesaños arriostrados con paneles estructurales de madera. Cerramientos exteriores de tapial encofrados con la misma madera. El sistema permite montar una estructura de 150 m² en 4 días lo que supone una gran ventaja económica y cumplimiento plazos. Este sistema ya se ha aplicado a viviendas unifamiliares en España y a edificios colaborativos en los países más subdesarrollados, como es el ejemplo que se muestra.





FICHA TÉCNICA

Proyecto / obra: Eretere, comedor, cocina, aula y biblioteca para una escuela.

Ubicación: Arkaria, Monduli, Arusha, Tanzania

Superficie construida: 108,00 m²

Promotores: Fundación Carpio-Perez. / Asociación local Eretere.

Fondos: Junta de Castilla y León. (Microacciones en el exterior)

Presupuesto: 14.319,84 € / 30.850,06 Tzs

Ejecución: 5 meses (diciembre 2013- abril 2014)

Sistema constructivo: SBM Casa S-Low. Entramado de madera y tapial.

Equipo técnico: Casa S_Low. info@casaslow.com www.casaslow.com.

Constructores: Robert, Ema, Luis. Comunidad masai de Arkaria

Proveedores: Tembo Chipboard. Sartaj Hans, Watoto foundation.

Materiales locales: 50% km0 / 30% 40 km / 20% 300 km.

Energía consumida: 50.00 MJ.

Emisiones de CO₂: No emisiones: 4177 Kg (cemento, grava, transporte, gasolina, acero) -18770 KG CO₂ eq (madera).



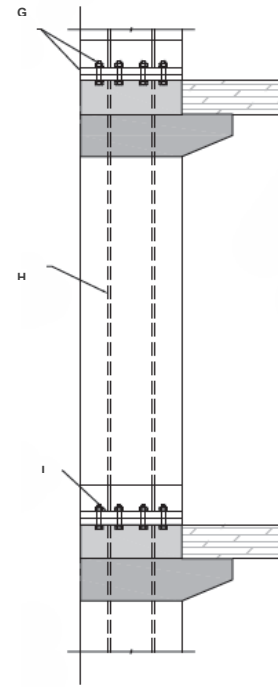
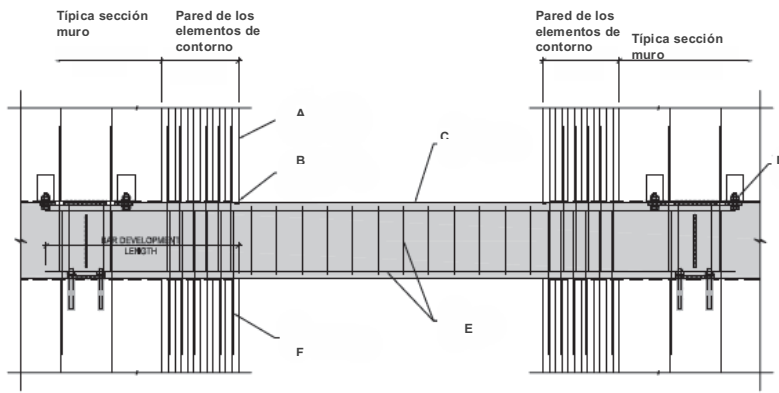


Timber Tower Research

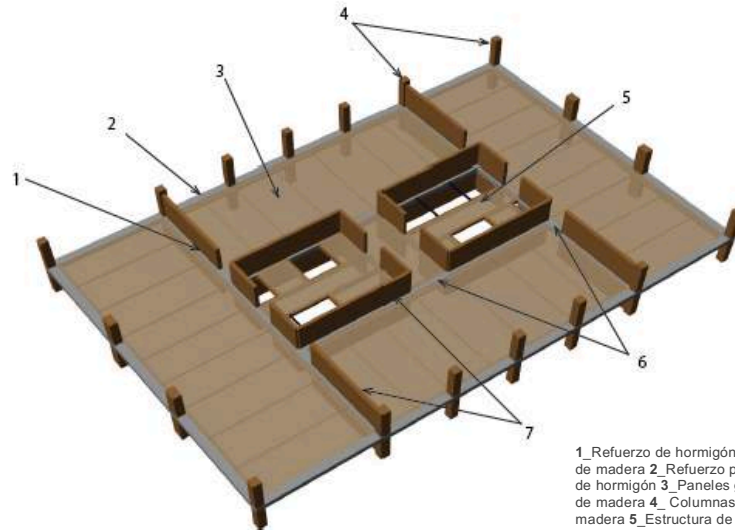
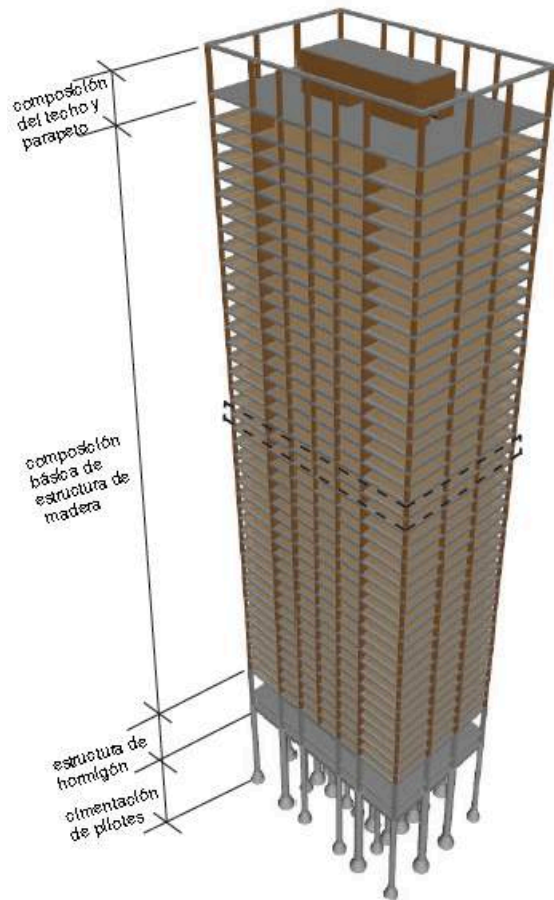
Skidmore, Owings and Merrill, (SOM)

Chicago, EEUU

2015
 El proyecto abarca un nuevo sistema para poner en marcha la construcción de edificios de grandes alturas más eficientes y con menor impacto medioambiental a base de la madera como material estructural principal. Este estudio revolucionario muestra la alternativa a la construcción de los rascacielos conocidos hasta ahora, de hormigón y acero principalmente. El estudio se basa en un prototipo de rascacielos existente, de 42 plantas, 120 metros de altura, y construido en hormigón en el año 1966, aplicando una estructura de madera y comparando ambos modelos. El sistema que se propone se centra en la madera masiva de los principales elementos estructurales y de hormigón armado complementario sólo en los lugares sometidos a grandes esfuerzos: las uniones. Elementos estructurales como paneles de forjado, columnas y muros de corte son de madera y están conectados con el hormigón a través de las armaduras de refuerzo de acero. Los sistemas murarios de madera sólida se acoplan a las vigas de hormigón armado de enlace diseñadas para resistir eficazmente la elevación neta debido al vuelco del viento. Este nuevo sistema podría competir con estructuras de acero y hormigón reduciendo la huella de carbono en un 75%. Será viable no dentro de mucho, aunque todavía hacen falta investigaciones relacionadas con la seguridad en caso de incendio.



A_ Tableros estructurales B_ Pletinas metálicas C_ Refuerzo común D_ Elemento constructivo de acero E_ Enlace. Refuerzo F_ Límites verticales. Refuerzo G_ Placas terminales de acero y pernos de alta resistencia pretensados H_ acero tensionado soldado sobre placas I_ Placas de levantamiento de tensión verticales continuas en columnas.



1_ Refuerzo de hormigón en muro de madera 2_ Refuerzo perimetral de hormigón 3_ Paneles gruesos de madera 4_ Columnas de madera dentro del núcleo 5_ Estructura de madera dentro del núcleo 6_ Vigas de refuerzo de hormigón 7_ Muros de corte sólidos de madera





Sala boxeo y tiro arco

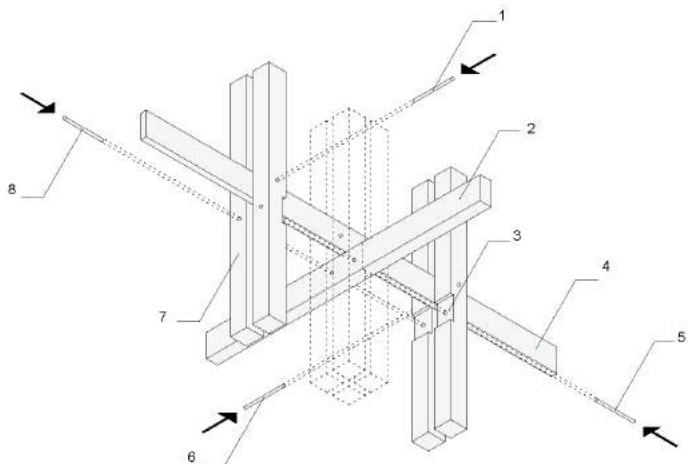
FT Architects

Universidad Tokio, Japón

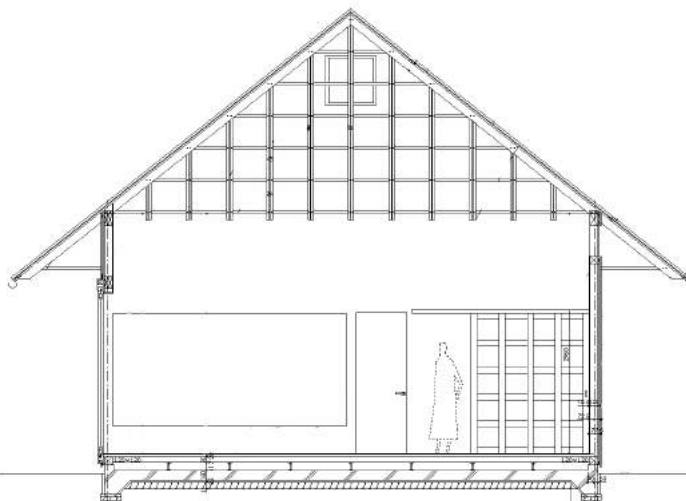
2013

Este proyecto se plantea con el compromiso de generar dos espacios de 7,2 x 10,8 metros sin pilares intermedios, uno para una sala de tiro con arco y otro para boxeo. En la universidad de Kogakuin. Para su construcción se decidió diseñar una estructura de bajo coste de madera local y proporcionar espacios de confort y estimulantes para los usuarios. Se estudió la madera como material estructural y se genera una estructura diferente para cada sala. La investigación, colaboración y participación con expertos de la madera, desde investigadores, fabricantes, técnicos hasta proveedores sirvió para la elección de elementos de madera de pequeña sección que normalmente se usan en el sector de la fabricación de muebles y no en la construcción. Se ha recuperado la pureza de la composición de madera tradicional japonesa simplemente formada por elementos verticales y horizontales. Ambas estructuras se resuelven mediante un método sencillo lo-tech de montaje de perno y tuerca. La estructura de madera compuesta de finas vigas y soportes unidos se ha utilizado en la sala de tiro mientras que en la sala de boxeo se emplea una estructura más dura, escalonada. La madera, un material histórico, ha sido reanalizado y transformado en un nuevo material de construcción.

SALA TIRO CON ARCO

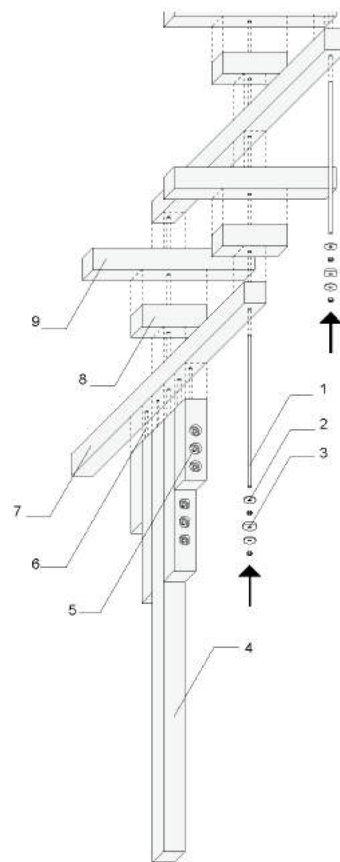
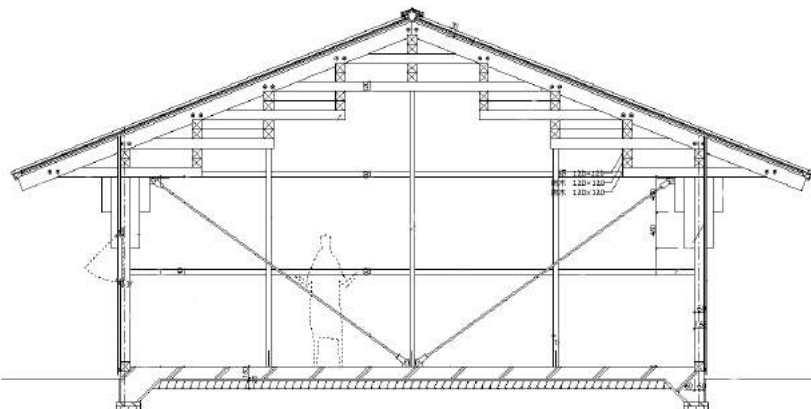


1_Taco de madera M4 2_Tirante penetrado de ciprés japonés 24x50 cm 3_Separador 4_Tirante penetrado de ciprés japonés 5_Taco de madera M6 6_Taco de madera M4 7_Columna de ciprés japonés 8_Tornillo de madera M6



SALA DE BOXEO

1_Tornillo M16 2_Arandela 68mm y tuerca 100Nm 3_Muelle de potencia para absorber esfuerzos de la tuerca 4_Columna de ciprés japonés 120x120 5_Tornillo M12 6_Pisador 20kN 7_Viga de ciprés japonés 120x120x1940 8_Viga de ciprés japonés 120x120x360





5. Conclusiones finales

CONCLUSIONES

Tras hacer un análisis de las ventajas sobre la madera en construcción, podemos llegar a la conclusión de que la madera es algo más que un mero material de revestimiento. Casi todo son ventajas. Sus propiedades mecánicas y físicas lo hacen un material útil en construcción. Su naturaleza es acorde con las necesidades requeridas en el sector, aunque como todo, tiene sus pros y sus contras, lo cual ha llevado al ser humano a indagar sobre las propiedades materiales de la madera y llevar a cabo técnicas de transformación para mejorar sus cualidades.

Tal y como se comenta, la madera es un material de alta resistencia a flexión, campo en el cual se está investigando en profundidad para alcanzar piezas que soporten mayores esfuerzos, ya sea mediante resinas altamente potentes o mediante armado en las piezas laminadas.

Lo más sorprendente es el amplísimo aprovechamiento que tiene la madera: un tronco cortado se lleva al aserradero en el cual se extraen piezas macizas de diferentes tamaños, se eliminan imperfecciones y los restos sobrantes se aprovechan para la fabricación de tableros de todo tipo, incluso la corteza, que en el caso del alcornoco es la base fundamental para la fabricación de corcho. Un material donde su aprovechamiento inicial es casi del 100% y que además es reciclable. Casi todos los productos de madera pueden volver a ser reutilizables en forma de nuevos tableros o como material combustible.

En construcción, sorprende la cantidad de alternativas constructivas que existen en madera, pero siguen siendo los sistemas tradicionales (sistema viga-soporte y *Platform Frame*) los más utilizadas hoy día.

Se analizan cinco formas diferentes de la utilización de la madera en proyectos contemporáneos en los que en cada ejemplo el uso principal de la madera potencia una o varias de sus cualidades: estructura de madera tipo “costilla”, la madera como material muy económico, los futuros rascacielos mixtos de madera-hormigón, la madera en espacios cálidos y de confort y la versatilidad de posibles estructuras.

Podemos decir que cada proyecto en madera es un mundo sin una regla constructiva estricta a seguir. Cada mente creativa puede utilizar la madera de forma muy diferente potenciando lo mejor de ella.

Está comprobado, en este trabajo y otros muchos, las capacidades que tiene la madera para competir con otros materiales como el acero y el hormigón. Sólo es necesario querer hacerlo e implicarse en ello.

Los sistemas constructivos de madera están surgiendo en la actualidad con diseños cada vez más avanzados y ventajosos. Pero más allá de eso, la madera es un material que permite a la mente humana, mente del diseñador, crear diseños innovadores próximos a la perfección de habitar.

BIBLIOGRAFÍA

- Virginia McLeod. *“El detalle en la arquitectura contemporánea en madera”*. Blume.2010
- American Forest & Paper Association, *“Details for conventional wood frame construction”*. Washington D.C. EEUU, 2001
- American Forest & Paper Association, *“Manual for Engineered wood construction”*. Washington D.C. EEUU, 2001
- American Ply Wood Association, *“Wood reference handbook”*. Canadian Wood Council, Canadá, 1986
- Revista *“Arquitectura y Madera”*. Número AM01. Publiditec. 2014
- Revista *“Arquitectura y Madera”*. Número AM02. Publiditec. 2014
- Revista *“Arquitectura y Madera”*. Número AM03. Publiditec. 2014
- Revista *“Arquitectura y Madera”*. Número AM06. Publiditec. 2015
- Revista *“Arquitectura y Madera”*. Número AM08. Publiditec. 2015
- Revista *“Arquitectura y Madera”*. Número AM12. Publiditec. 2015
- Código Técnico de la Edificación (CTE) DB-SE-MADERA. 2009 (versión actual)
- Arauco *“Ingeniería y Construcción en Madera”*. Santiago de Chile, 2002
- Heene, A; Schmitt, H *“Tratado de construcción” 7ª Edición Ampliada*. Gustavo Gili S.A, Barcelona. 1998
- Catálogo Finsa. *“Soluciones en madera”*. 2015
- Fermin Olabe Velasco *“Construir con madera” Otero y Ollo*. 2011
- Revista *“Ecohabitar” nº45*. Primavera 2015
- Villasuso, B, *“La madera en la Arquitectura”*, El Ateneo. Pedro Garcia S.A, Buenos Aires, 1997
- Revista Tectónica nº33 *“Rehabilitación: arquitectura moderna”*
- Revista Tectónica nº11 *“Madera. Revestimientos”*
- Stungo, N; *“Arquitectura en madera”*, Naturart S.A, Blume, Barcelona, 1999
- SOM. *“Initial Research Report”*. 2014
- SOM. *“System report”*. 2015
- Jimenez, F; Vignote, S, *“Tecnología de la madera” 2ª Edición*, Ministerio de Agricultura, PESCA Y ALIMENTACIÓN. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones, Madrid.

www.casaslow.com

www.finsa.com

www.plataformaarquitectura.com

www.helenhard.no

ecosistemaurbano.org

farhaus.com

www.baupassivhaus.com

som.com

tectonicablog.com

ovacen.com

ÍNDICE DE IMÁGENES

[2] Características constructivas en madera y propiedades materiales

Fig. 01. (p. 10). Fotografía del edificio construido con madera más antiguo del mundo. Templo Horyu-ji. "Antiguas construcciones en Madera" 100x100Madera

Fig. 02. (p. 11). Iconos representativos de las características de la madera en construcción. Elaboración propia del autor

Fig. 03. (p. 13). Imagen de textura de algunas maderas de clase "duras". Arquigráfico.com

Fig. 04. (p. 13). Imagen de textura de algunas maderas de clase "blandas". Arquigráfico.com

Fig. 05. (p. 14). Gráfico comparativo de diferentes materiales respecto la madera. Elaboración propia

Fig. 06. (p. 15). Imagen de cubierta de madera ligera. Plataforma arquitectura.com

Fig. 07. (p. 16). Imagen de elementos de madera afectados por el fuego. Arquitectura y Madera. AM04

Fig. 08. (p. 17). Esquema de sección de madera afectada por el fuego. Arquitectura y Madera. AM04

Fig. 09. (p.17). Imágenes del Edificio más alto hasta la actualidad en España. Infomadera.com

Fig. 10. (p. 18). Esquema orientativo de la elección del tipo de madera para su uso en interior o exterior. Elaboración propia del autor.

Fig. 11. (p. 19). Imágenes de exposición de la madera en ambientes opuestos. Img izq_ Plataformaarquitectura.com. Img drcha_ Arquitectura y Madera AM05

Fig. 12. (p. 20). Tabla de comparación de la conductividad térmica de diferentes materiales de construcción. Elaboración propia.

Fig. 13. (p. 21). Imágenes de vivienda Pasiva. Farhaus. Passivehouse construction.

Fig. 14. (p. 22). Fotografía de madera como material acústico. Artitech2.

Fig. 15. (p. 23). Imagen de diferentes soluciones de la utilización de la madera como material acústico. Arquitectura y Madera. AM06

Fig. 16. (p. 24). Imagen y detalle del edificio más alto hasta la fecha construido en madera. Arquitectura y Madera. AM08

Fig. 17. (p. 25). Imagen de proyecto de Arquitectura temporal. Plataformaarquitectura.com

Fig. 18. (p. 26). Esquema de relaciones entre madera y salud. Universidad de biomecánica. UPV.

Fig. 19. (p. 27). Fotografía de la incorporación de la madera en el espacio doméstico. Finsa soluciones 2015.

Fig. 20. (p. 28). Esquema del ciclo de la vida útil de la madera. Finsa soluciones 2015.

Fig. 21. (p. 29). Gráfico de la utilización de la madera en diferentes países de Europa. Elaboración propia.

Fig. 22. (p. 30). Imágenes que representan tres opciones de utilización de la madera. "Construir con madera" 2011

[3] Tecnología de la madera

Fig. 01. (p. 35,36,37). Iconos representativos de los diferentes tipos de productos de madera y sus derivados. Elaboración propia.

Fig. 02. (p. 38). Imagen del sistema constructivo Press-Lam. Arquitectura y Madera. AM06.

Fig. 03. (p. 39). Detalle de la unión entre paneles mediante sistema CTL. CTLinfo.com

Fig. 04. (p. 39). Fotografía de montaje de paneles de madera mediante el sistema CLT. Arquitectura y madera. AM09.

Fig. 05. (p. 40). Foto del montaje y acabado de vivienda en madera mediante el sistema de bloques modulares. Arq.Clarin.com

Fig. 06. (p. 41). Fotografía montaje de vivienda mediante sistema de paneles SIP. Arquitectura y madera. AM06.

Fig. 07. (p. 42). Imágenes del sistema de conectores para soluciones mixtas de madera-hormigón. Img. Iza_ MAAB Arquitectura. Img. Drcha_ Arquitectura y madera. AM05

Fig. 08. (p. 43). Imágenes de los sistemas tradicionales Ballown Frame y Platform Frame. American Forest.

Fig. 09. (p. 44). Fotografía de estructura desnuda de madera mediante el sistema tradicional de unión viga-soporte. Arquitecturasostenible.com

Fig. 10. (p. 45). Fotografía de diferentes uniones entre elementos de madera. Pinterest.com

71

[4] Contemporaneidad y nueva forma. Casos de estudio en la construcción en madera

Proyecto 1_ "Library and cultural center". Img_ Helenhard.co. Detalles_ Arquitectura y madera AM02 (modificados por el autor)

Proyecto 2_ "Hotel Slowhorse". Img_ Plataformaarquitectura.com. Detalles_ Tectónica.blog (modificados por el autor)

Proyecto 3_ "Casa Slow". Img_ Ecohabitar nº 45. Detalles_ Arquitectura y madera. AM06

Proyecto 4_ "Timber Tower Research" Imágenes y detalles_ SOM Architects. (modificados por el autor)

Proyecto 5_ "Sala de tiro con arco y sala de boxeo" Img_ Plataformaarquitectura.com Detalles_ Tectónica.blog mayo, 2015 (modificados por el autor)