



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

MÀSTER EN EDIFICACIÓ

TREBALL DE FI DE MÀSTER

SISTEMA DE PLATAFORMA CON ENTRAMADO LIGERO DE MADERA

PUESTA EN OBRA Y ACEPTACIÓN EN ESPAÑA

Estudiant/s: Santiago Inat Trigueros

Director/s: Emili Hormias Laperal

Convocatòria: Juny 2011

ÍNDICE

Prefacio

Introducción

1. Tipologías constructivas con madera

- 1.1. Estructuras macizas
- 1.2. Estructuras de paneles o placas
- 1.3. Estructuras esqueléticas o de entramado
 - 1.3.1. Sistema viga-pilar
 - 1.3.2. Entramado pesado
 - 1.3.3. Entramado ligero
- 1.4. Sistemas mixtos

2. El sistema de plataforma con entramado ligero de madera

- 2.1. Cimentación
 - 2.1.1. Caso de primer forjado en contacto directo con el terreno
 - 2.1.2. Caso de primer forjado sobre una cámara de aire
 - 2.1.3. Caso de existir sótano
- 2.2. Entramados verticales
- 2.3. Entramados horizontales
- 2.4. Cubierta

3. Comportamiento del sistema de plataforma con entramado ligero de madera

- 3.1. Comportamiento mecánico
 - 3.1.1. Propiedades físicas de la madera
 - 3.1.2. Comportamiento mecánico del sistema
 - 3.1.3. Cálculo y CTE
- 3.2. Aspectos medioambientales y de sostenibilidad
 - 3.2.1. Eficiencia en el consumo de materiales
 - 3.2.1.1. Dispendio de recursos
 - 3.2.1.2. Impacto de las explotaciones forestales
 - 3.2.1.3. Impacto por extracción y transformación de materiales
 - 3.2.2. Eficiencia en el consumo energético
 - 3.2.2.1. Consumo energético durante la ejecución
 - 3.2.2.2. Eficiencia energética del edificio
 - 3.2.2.3. Análisis de un caso

3.3. Conservación de la madera

3.3.1. Ataques a la madera

3.3.1.1. Ataques bióticos

3.3.1.2. Ataques abióticos

3.3.2. Protección de la madera

3.3.2.1. Protección de la humedad a través del diseño constructivo

3.3.2.2. Tratamientos de la madera

3.3.3. Control de calidad

3.4. Comportamiento frente al fuego

3.4.1. Comportamiento de la madera

3.4.2. Protección frente al fuego en el sistema de plataforma

3.4.2.1. Barrera física: la madera

3.4.2.2. Ignifugación de la madera

3.4.2.3. Otros materiales en el sistema de plataforma

3.4.2.4. Ejemplo teórico

3.5. Comportamiento frente al ruido

3.5.1. Entramados horizontales

3.5.2. Entramados verticales

3.6. Aspectos de diseño

3.6.1. Cubiertas planas

3.6.2. Formas curvas

3.6.3. Voladizos y grandes luces

3.6.4. Perfeccionamiento del sistema

3.7. Viabilidad económica y de tiempo

4. Aceptación del sistema de plataforma en España

4.1. Historia de su llegada

4.2. Ámbito de aplicación

4.3. Viabilidad normativa y técnica

4.4. Entrada en la conciencia española

4.5. Caso finlandés

5. Conclusiones

6. Referencias gráficas

7. Referencias bibliográficas

Anexos

Agradecimientos

PREFACIO

Este es un trabajo que he hecho con mucho cariño ya que el sistema constructivo del que se habla fue objeto de mi tesis de final de carrera. En aquel momento lo abordé desde otra perspectiva muy diferente. Yo estaba en Finlandia con una beca Erasmus, y lo que estudié fue la variante propia de aquel país y la aplicación a un caso práctico, donde desarrollé todo el diseño y cálculo estructural de una casa aislada, el comportamiento higrotérmico de la misma y todos los detalles constructivos. Aquel proyecto, que me valió un premio por parte del colegio de aparejadores y arquitectos técnicos de Valencia del que me siento muy orgulloso, me llevó a Noruega donde estuve un año trabajando con casas de este tipo con dos arquitectos de los que aprendí muchísimo: Todd Saunders, genial en el diseño, y Klaus Bo, experto a la hora de resolver perfectamente cualquier detalle constructivo. Durante todo ese tiempo en Finlandia y Noruega, estuve viviendo en casas de este tipo y me quedé maravillado con el confort que supone habitarlas. Así que no solo he estudiado el sistema, sino que he tenido el placer de poder “probármelo”. En este trabajo se habla, entre otros, del campo bioeléctrico natural, el comportamiento frente radiaciones ionizantes y otras cosas que supongo serán ciertas, pero que no he medido ni estudiado, aunque lo que si sé es que estas casas proporcionan una calidad de vida superior, la manera en que se calientan y cómo respiran es excelente.

INTRODUCCIÓN

Hasta hace unos pocos años, en España parecía que solo existieran los sistemas constructivos basados en el hormigón armado. Este llegó a finales del siglo XIX de la mano de Eugenio Ribera¹, y fue desplazando poco a poco al sistema constructivo predominante de aquella época, el cual se basaba en muros de fábrica con función resistente y forjados realizados con viguetas de madera. Actualmente existen muchas otras maneras de construir, entre las que encontramos el sistema de plataforma de entramado ligero de madera, que está ampliamente extendido, aceptado y normalizado en países como EEUU o Finlandia. Esta técnica constructiva no tiene nada de nuevo ni de complicado, ofreciendo además buenos resultados, el problema es que nunca ha conseguido aceptación en España, ni por parte de los profesionales de la construcción ni de la sociedad en general.

Es en la tipología de vivienda unifamiliares donde este sistema se muestra más competitivo y es por ello que este estudio se centra en ellas, en la vivienda unifamiliar aislada y adosada, aunque esto no quiere decir que quede restringido a este tipo de construcciones.

En este trabajo se pretende demostrar este buen comportamiento y el hecho de que España reúne las condiciones adecuadas para que este sistema alcance el reconocimiento adecuado. Cuando ha sido posible y se disponía de la información pertinente, se ha comparado con el sistema constructivo de referencia en España, basado en pórticos de hormigón y cerramientos de doble hoja de ladrillo.

Para la elaboración del trabajo, se ha consultado diversa bibliografía y documentación técnica. También ha sido valiosa la experiencia personal del autor y las diferentes entrevistas con profesionales del sector.

¹ Fundador de la empresa Hidrocivil en 1899. Consiguió la patente Hennebique y la introdujo en España

1. TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS CON MADERA

La forma geométrica de los elementos longitudinales, de los cerramientos o de toda la estructura de un edificio determinarán tres aspectos básicos de carácter específicamente estructural:

- Las formas en que las cargas se reparten a través de los mismos hasta los apoyos.
- Los momentos de resistencia generados en los materiales estructurales, como reacción a las cargas.
- Eficiencia de su comportamiento en cuanto a la economía de los materiales utilizados.

Es evidente que existe una gran variedad de formas de elementos estructurales de madera, los cuales se han ido perfeccionando a lo largo de los tiempos, sobretodo en las ultimas décadas.

En el momento actual pueden distinguirse tres métodos estructurales de construcción con madera (Figura 1):

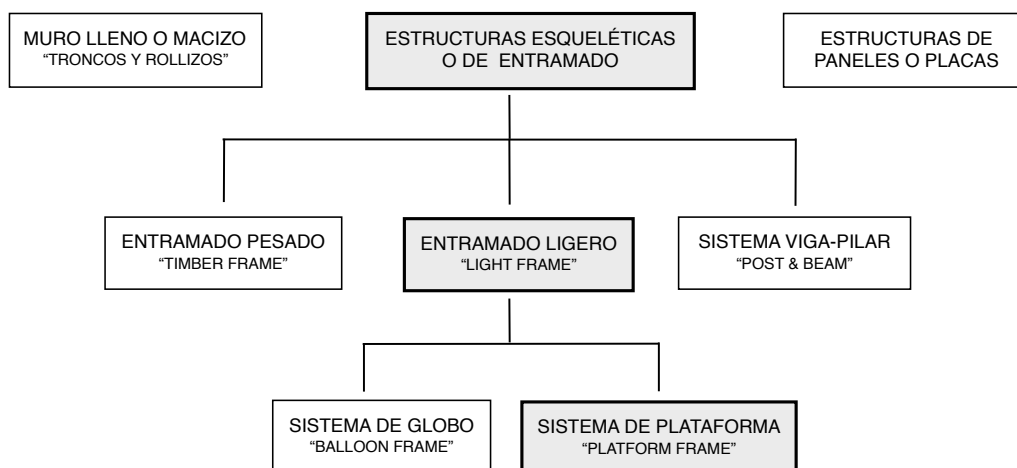


Figura 1. Esquema de las tipologías estructurales con madera.

1.1. ESTRUCTURAS MACIZAS

Es un sistema constructivo de centenaria tradición en el norte de Europa, en Rusia y en las regiones de alta montaña del centro de Europa.

Este tipo de estructuras basa su estabilidad y resistencia en los muros de carga. Estos se realizan apilando rollizos de madera más o menos escuadrados, de unos 20 centímetros de diámetro. Para conseguir cierto encaje se ejecutan mecanizados en los planos de apoyo a modo de machihembrado (Figura 3) y se traban en las esquinas (Figura 2 y 4).



Figura 2. Villa Horwood, Finlandia.

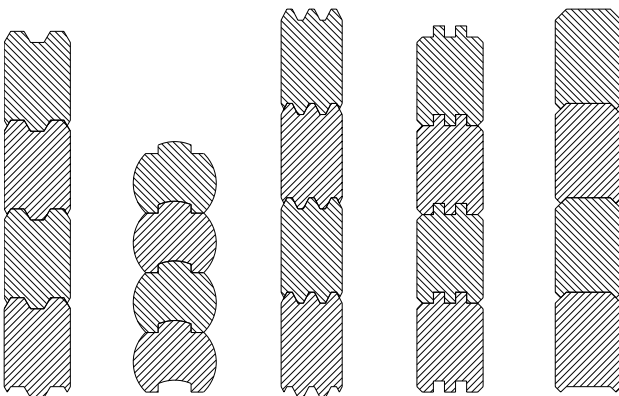


Figura 3. Secciones tipo del muro de carga en las estructuras macizas de madera.

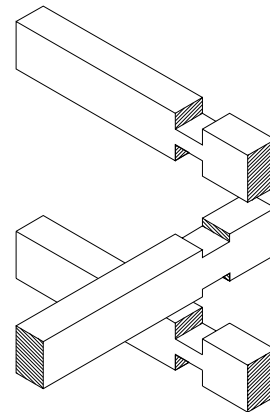


Figura 4. Solución más habitual para el encuentro en esquina.

Actualmente, gracias a la mecanización mediante maquinaria adecuada, las juntas se resuelven mediante múltiples encajes geométricos que aseguran su estanqueidad al agua y al aire. Esta sólida unión se refuerza con pernos (para la construcción de vigas, para salvar luces y formar dinteles) y tirantes metálicos que sirven para acelerar y controlar el necesario proceso de contracción por secado.

1.2. ESTRUCTURAS DE PANELES O PLACAS

Se trata de un sistema constructivo superficial que permite integrar estructura, acabado e instalaciones, partiendo de paneles macizos o compuestos.

Pueden ser fabricados en grandes formatos, simplemente limitados en sus dimensiones por las limitaciones propias del transporte en carretera. No implica modulación ninguna, por lo que la libertad que dota al proyectar es muy alta.

La idea básica del sistema es lograr una construcción altamente prefabricada (como el módulo de fachada que se observa en la Figura 5), introduciendo líneas de montaje totalmente automatizadas. Una construcción controlada totalmente en taller, proporcionando óptimas condiciones de trabajo y de control de los componentes y que facilita la introducción de la informática para la sistematización del proceso.

Se diferencian en el modo de construcción del panel, esto es, en el modo de dotarle cohesión y forma. Entre ellos:

- Paneles de madera laminada o alistonada
- Paneles de madera alistonada contraplacada
- Paneles de tablero aglomerado



Figura 5. Módulo de fachada durante el montaje de la escuela “Waldorf-Steiner El Til·ler”, Bellaterra, Barcelona.

1.3. ESTRUCTURAS ESQUELÉTICAS O DE ENTRAMADO

En este caso, las cargas son transmitidas longitudinalmente a lo largo de los elementos o cerramientos estructurales. Son las construcciones hechas con postes y vigas, cerchas de cubierta, porticados, etc.

Aunque pueda resultar menos económico que las placas y paneles, las de tipo esquelético o de entramado permiten alternar la madera con otros materiales, por lo que las posibilidades arquitectónicas son múltiples. Es, sin lugar a dudas, el sistema de madera estructural más utilizado en la actualidad, ya que permite variedades tradicionalmente tipificadas como otras híbridas en continua aparición en el mercado de la construcción.

El alto grado de prefabricación, mecanización y producción que presentan, su disponibilidad, la alternancia con materiales convencionales de la zona donde se actúe, una mano de obra relativamente especializada, la sencillez de entendimiento y montaje, o la incorporación parcial y adicional de otros tipos estructurales (como los planos o diafragmas), hacen de este tipo estructural el que mejor garantiza cuestiones como la seguridad o el comportamiento y, por ello, es el más demandado de los tres sistemas analizados.

Cabe destacar tres variantes dentro de este tipo de estructuras: el sistema viga-pilar, el entramado pesado y el entramado ligero. A continuación se detallan las características de cada uno de ellos.

1.3.1. Sistema Viga-Pilar

El sistema viga-pilar, conocido en inglés como *post and beam*, es un porticado de miembros muy espaciados a base de pilares y vigas de madera. Puede utilizar grandes escuadrías con uniones de ensamble, siendo la estructura independiente del cerramiento exterior, como el sistema convencional de pilares y vigas de hormigón armado. Los pórticos pueden ser de pequeñas, medias o grandes luces. El desarrollo de la madera laminada, y las nuevas tecnologías han producido una renovación total de su concepto.

El actual desarrollo de las estructuras de vigas y pilares viene dado por la evolución de la investigación y de la industria de la madera. El sistema se basa en la prefabricación total de sus piezas, que se transportan a obra donde se montan. El control en taller, que permite la introducción de la informática tanto en controles como ejecución, así como los ensayos y mediciones en obra de las conexiones permite desarrollar proyectos de ambiciosas características. Como es natural, las limitaciones propias del transporte por carretera son de las pocas trabas con que cuenta el sistema.

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de construcción de madera que utiliza el sistema viga-pilar. En este caso, parte de la estructura se encuentra a la intemperie porque lo que deberá ser tratada adecuadamente para su conservación.



Figura 6. Villa Lángbo, Olavi Koponen. Fotografía: Jussi Tianen, Lángholmen, Kemiö, Finlandia.

1.3.2. Entramado pesado

En el entramado pesado o *timber frame* encontramos una estructura de elementos lineales, pies derechos, jácenas y riostras (barras diagonales), de secciones cuadradas de gran escuadría, con separaciones de reducida dimensión, que en determinados casos requiere de paredes rígidas para su estabilización. El entramado constituye un muro de carga. De manera tradicional, los vanos entre los elementos de madera se "rellenaban" de mampostería de piedra, material cerámico, tapial, o trenzados de madera o vegetales revocados con arcilla o yeso. Actualmente se utilizan aislamientos para reforzar las condiciones térmicas de los vanos, no desarrollando, por tanto, ningún papel estructural. También existen otras soluciones menos tradicionales como se observa en la figura 7, en la que la estructura portante se desarrolla por fuera del edificio envolviéndolo.

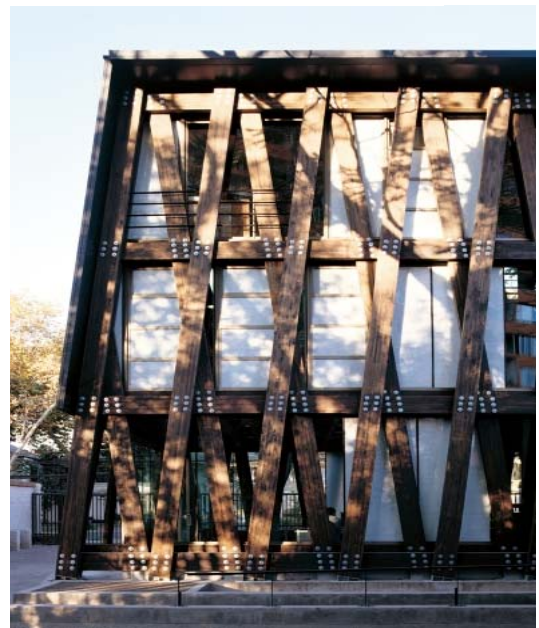


Figura 7. Edificio Bip Computers. Fotografía: Cristóbal Palma, Santiago de Chile.

Este tipo de construcciones constituyen una de las primeras tipologías constructivas. Tuvieron su apogeo durante la época medieval a partir de sistemas como el *post and truss* (pie derecho y armazón) originario de la Europa central y Gran Bretaña, pero extendido por todo el continente, así como en América del Norte.

Los nuevos sistemas constructivos industrializados, que han abierto nuevas posibilidades a las estructuras de madera de entramado pesado, han relegado este sistema, fundamentalmente por razones económicas y dado su alto consumo de madera, para obras y proyectos de rehabilitación y restauración.

1.3.3. Entramado ligero

Actualmente es el sistema más difundido, ya que es sencillo, permite altos grados de prefabricación y rapidez de montaje. El 70 - 80% de los edificios construidos en Canadá, Estados Unidos, Finlandia, Suecia y Noruega son de entramado de madera. Su reciente introducción a gran escala en países considerados emergentes (Rusia, Chile, Corea del Sur, China, Taiwán) es un hecho.

Este sistema fue posible a partir de la aparición de aserraderos muy especializados que podían elaborar piezas de pequeña escuadría, así como la existencia de fijaciones y herrajes fabricados industrialmente. El sistema apareció por primera vez en Estados Unidos a mediados del siglo XIX, forzado por la necesidad de disponer de construcciones sencillas y fiables para realizar la rápida y feroz colonización de la costa Oeste americana. Aunque el sistema primitivo permitía entramados de dos plantas (*ballon frame*), no tardó en imponerse el sistema de plataforma (*platform frame*) donde los entramados tienen una sola altura y apoyan sobre los diferentes suelos. A partir de ahí, el sistema ha ido evolucionando y se han ido añadiendo nuevos materiales (impermeabilizantes, retardadores de la difusión del vapor de agua, lanas minerales como aislamientos térmico –acústicos, protecciones de yeso laminado), productos estandarizados, métodos más sofisticados, pero los principios básicos continúan siendo idénticos si no muy similares.

Las estructuras de entramado ligero (*light frame*) se basan en una serie de elementos portantes a modo de muros, formados por montantes de madera de secciones reducidas, separadas a poca distancia (30 - 60 cm) atadas arriba y abajo por listones, correas horizontales o testeros. Por tanto, se trata de muros de carga ligeros. Por encima (sistema de plataforma) o empotrados a estos (sistema globo), sobre vigas o los muros de cimentación, se colocan viguetas de madera poco espaciadas para conformar los suelos y techos. La cubierta podrá ser plana (viguetas) o inclinada con previsión de aprovechar el bajo-cubierta.

Las piezas de madera y metálicas de fijación están muy estandarizadas, por lo que se manejan pocos tipos de dimensiones, aspecto que hace que el sistema se simplifique tanto en el proceso de diseño como durante la obra.

Como ya se ha mencionado dependiendo de si los montantes son continuos o se interrumpen cada planta se diferencia entre dos sistemas constructivos dentro del de entramado ligero de madera: el sistema de globo y el de plataforma.

➤ Sistema de globo

Sus características estructurales, que evidentemente proceden de los primigenios entramados pesados, se definen en una arquitectura de diafragma, donde todos los elementos adquieren importancia para el sistema, pero es en su multiplicidad de uniones donde adquiere su fuerza.

Se le puede considerar como la génesis de los sistemas de entramado ligero, aunque en la actualidad se encuentra en desuso por sus limitaciones frente al sistema de plataforma con entramado ligero de madera, sobretudo en cuanto a las restricciones del número de plantas y niveles de industrialización posibles.

La diferencia entre este sistema y el de plataforma es que los montantes de las paredes exteriores son continuos en toda su altura, que normalmente es de dos plantas (Figura 8). Esta característica diferenciadora obedece, probablemente, a la dificultad de conseguir la estabilidad necesaria del conjunto, al no contar con el arriostramiento que aporta el tablero en el sistema de plataforma.

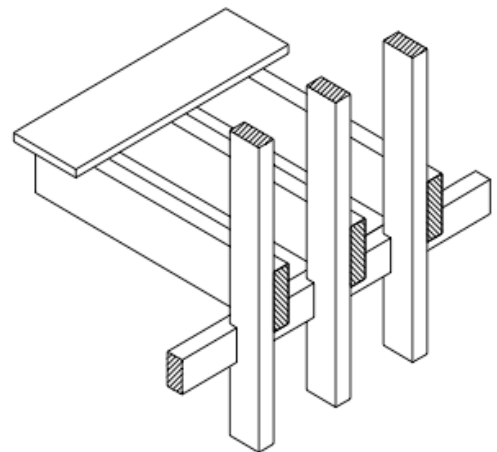


Figura 8. Detalle del encuentro del muro con el forjado en el sistema globo.

➤ Sistema de plataforma

Este es el sistema en el que se centra el presente estudio y que mas adelante se analiza en todos sus aspectos. Como ya hemos dicho, la diferencia con el anterior es que los montantes quedan interrumpidos cada planta (Figura 9), lo que supone una serie de beneficios que le hacen más competitivo y que casi han hecho desaparecer al sistema de globo. Estos beneficios son:

- Presenta un mejor diseño frente al fuego (en lo relativo a la propagación del incendio) por existir menor continuidad entre las plantas.
- Es un sistema de más fácil ejecución y se presta más a la prefabricación.
- No se encuentra limitado a dos alturas.

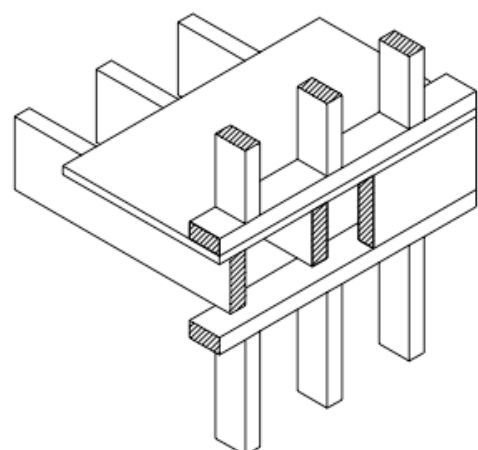


Figura 9. Detalle del encuentro del muro con el forjado en el sistema de plataforma.

1.4. SISTEMAS MIXTOS

A partir de aquí, la industria ofrece variaciones de los sistemas anteriores. De hecho, existen numerosas firmas comerciales que ofertan viviendas con el sistema de troncos o de entramado pesado con forjados y tabiquería interior perteneciente a los sistemas ligeros. También es normal encontrarnos combinaciones entre las estructuras o sistemas descritos pero utilizando elemento prefabricados que simplifican el montaje.

Finalmente, también comienzan a incorporarse elementos prefabricados que incluyen materiales diferentes a la madera, como los forjados mixtos madera-hormigón, vigas de madera meta o simplemente introducir vigas de metal, chapas deck o vigas de madera laminada.

2. SISTEMA DE PLATAFORMA CON ENTRAMADO LIGERO DE MADERA

En el sistema de plataforma la estructura es levantada planta por planta, de manera que los niveles horizontales de los diferentes pisos actúan como plataformas (de ahí su nombre) para montar los muros del piso siguiente.

La construcción empieza con el montaje del suelo de planta baja sobre la cimentación, que es usado como plataforma de trabajo para la colocación de los muros de esta planta. La direccionalidad del trabajo de flexión exige la disposición ortogonal de muros portantes que da lugar a la arquitectura diafragmada: son elementos portantes que se traban entre sí, de forma que lo que es arriostrado para unos, es soporte para otros. A continuación se colocan las vigas sobre la estructura de los muros de planta baja y, con el fin de arriostrarlas y formar el siguiente plano de trabajo, se procede a la colocación de los tableros, normalmente al tresbolillo, que darán lugar a la plataforma de planta primera. El proceso se repite hasta que se llega al forjado de la última planta, sobre el que se colocarán los correspondientes muros exteriores y, sobre estos, se colocarán las cerchas que, a su vez, serán arriostradas por tableros, como sucedía con las vigas de los pisos intermedios.

Después de la fase de estructura, la construcción continúa con la instalación de los elementos de cubrición exteriores como son tejado, fachada y ventanas. La colocación de las instalaciones y servicios se hace paralelamente al progreso de la estructura y, una vez se ha acabado con estas, se rellena de material aislante los huecos entre los montantes de la estructura para proceder finalmente con la colocación de las placas de acabado interior (Figura 10).

A continuación, a fin de conocer constructivamente un poco más el sistema de plataforma, se estudian las partes que lo componen.

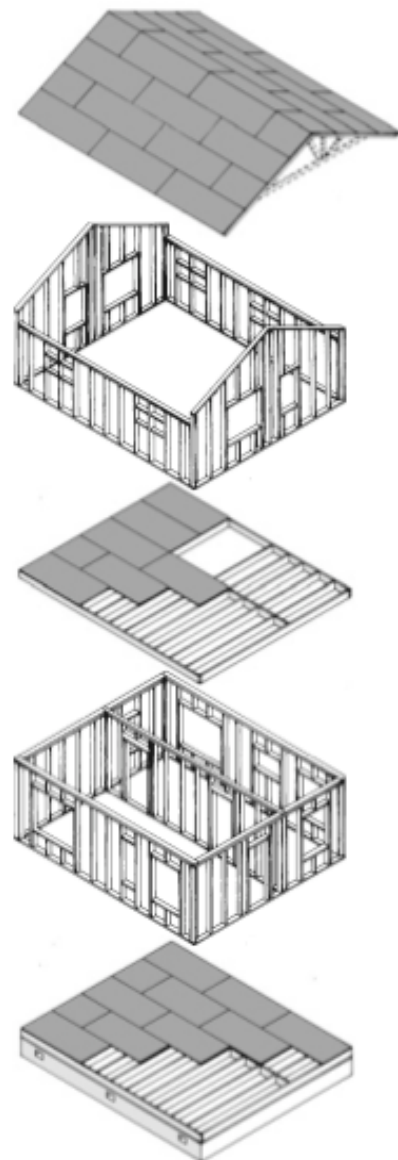


Figura 10. Secuencia constructiva.

2.2. CIMENTACIÓN

Una ventaja que se nos presenta en el caso de las casas de entramado ligero es el bajo peso propio de la estructura, lo que repercutirá positivamente a la hora de dimensionar las cimentaciones o considerar si se supera o no la tensión admisible del terreno.

En el sistema de plataforma los elementos estructurales y de transmisión de esfuerzos al terreno son los muros de carga. Este es un elemento lineal, por lo que, para recoger las cargas que queremos transmitir, se tendrá que pensar en una cimentación lineal o superficial, salvo en casos excepcionales como podría ser la introducción de un pilar de madera o metálico para partir la luz excesiva de una viga. En tal caso, el pilar necesitaría otro tipo de cimentación como una zapata aislada.

Hay que tener en cuenta que en el caso de las estructuras de madera, la cimentación tiene una doble función. Además de transmitir las cargas al terreno, ha de evitar que la humedad llegue a la madera, lo cual se consigue través de un adecuado diseño constructivo.

Se plantean diferentes maneras de resolver constructivamente la cimentación dependiendo si el primer forjado se encuentra en contacto directo con el terreno o no. En caso de no estarlo, este puede quedar separado del terreno por medio de una cámara de aire o un sótano.

La cimentación responde a técnicas constructivas convencionales, es decir, se ejecuta con hormigón armado y también quizá aparece el uso de estructura de fábrica para los muretes que conectan la zapata con el entramado vertical. La construcción de estos elementos se realizará de acuerdo con la normativa que los regula, en el caso del hormigón, el CTE en su Documento Básico de "Seguridad estructural" y la instrucción EHE y normas particulares para los muros resistentes de fábrica.

2.2.1. CASO DE PRIMER FORJADO EN CONTACTO DIRECTO CON EL TERRENO

En este caso la solución más utilizada para el primer forjado es la creación de una solera de hormigón sobre una capa gruesa de grava para evitar el ascenso de agua por capilaridad. Entre estas se dispone de una lámina impermeable.

Por lo que respecta a la cimentación propiamente dicha, se realiza una zapata corrida de hormigón armado siguiendo la geometría de los muros de carga, con murete del mismo material o fábrica resistente, sobre el que arranca la estructura de la casa.

El aislamiento frente a la humedad de la estructura de madera, del que se hablaba en la introducción, se consigue a través de levantar el murete de cimentación un mínimo de 20 cm (CTE) sobre el nivel del terreno, colocando una lámina impermeable entre este murete y el durmiente de arranque del muro (que además se trata) y colocando elementos tipo vierteaguas (como se observa en las Figuras 11 y 12).

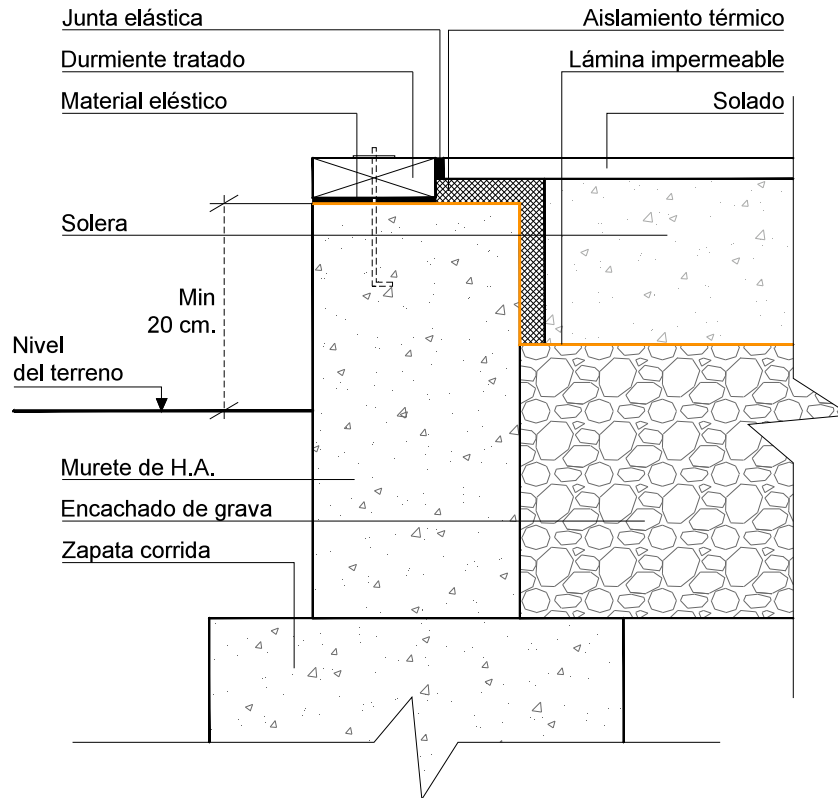


Figura 11. Sección constructiva de primer forjado en contacto en el terreno en el sistema de plataforma.

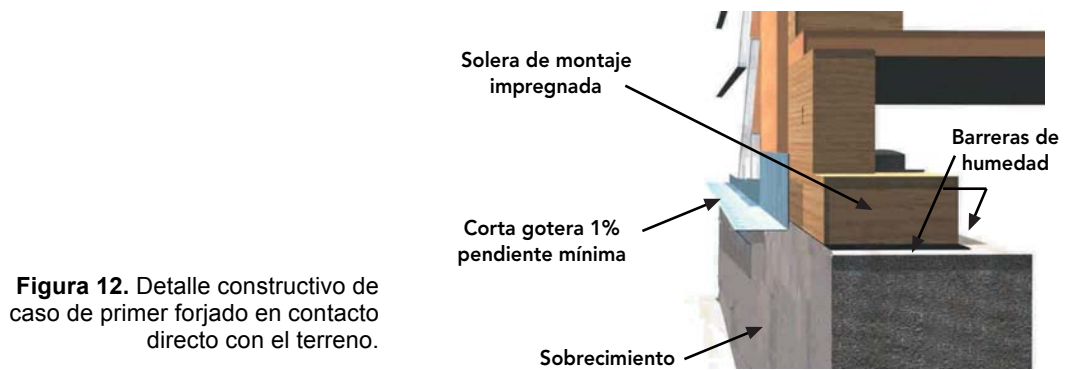


Figura 12. Detalle constructivo de caso de primer forjado en contacto directo con el terreno.

2.2.2. CASO DE PRIMER FORJADO SOBRE UNA CÁMARA DE AIRE

En este caso, se construye un primer forjado que queda sobreelevado respecto del nivel del terreno, dejando una cámara de aire ventilada que evita condensaciones y acumulación de humedad. Para que esta cámara de aire funciones correctamente necesitará tener una altura mínima de 30 cm. Un punto importante a tener en cuenta es la necesidad de colocar y proteger adecuadamente las rejillas de ventilación de la cámara de aire para evitar la entrada de agua. El primer forjado no tiene porqué ser de hormigón, al quedar perfectamente protegido de la humedad puede ser de madera (Figura 13).

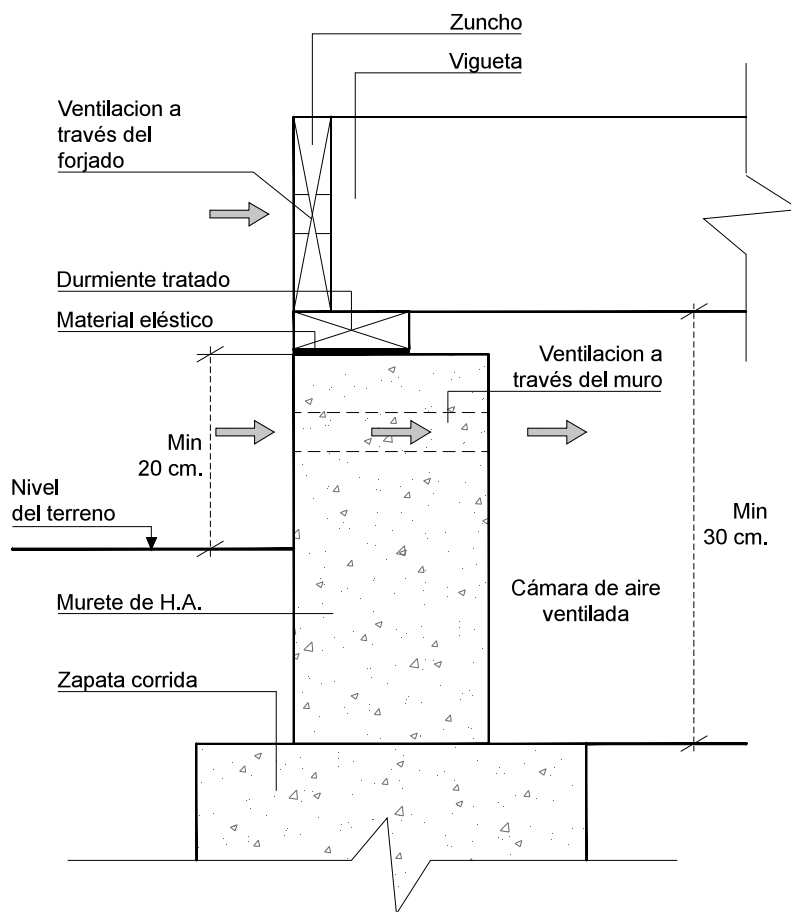


Figura 13. Detalle constructivo de primer forjado sobre una cámara de aire.

2.2.3. CASO DE EXISTIR SÓTANO

Si se quiere crear un sótano, solo habrá que prolongar el murete hasta la profundidad deseada, quedando excluida la opción de murete (en este caso muro) con fábrica resistente, al pasar a trabajar a flexo tracción. En este caso, el forjado de planta sótano lo más normal es que se resuelva con solera de hormigón y el de planta baja con entramado de madera o estructura de hormigón, según el criterio del proyectista (Figura 14).

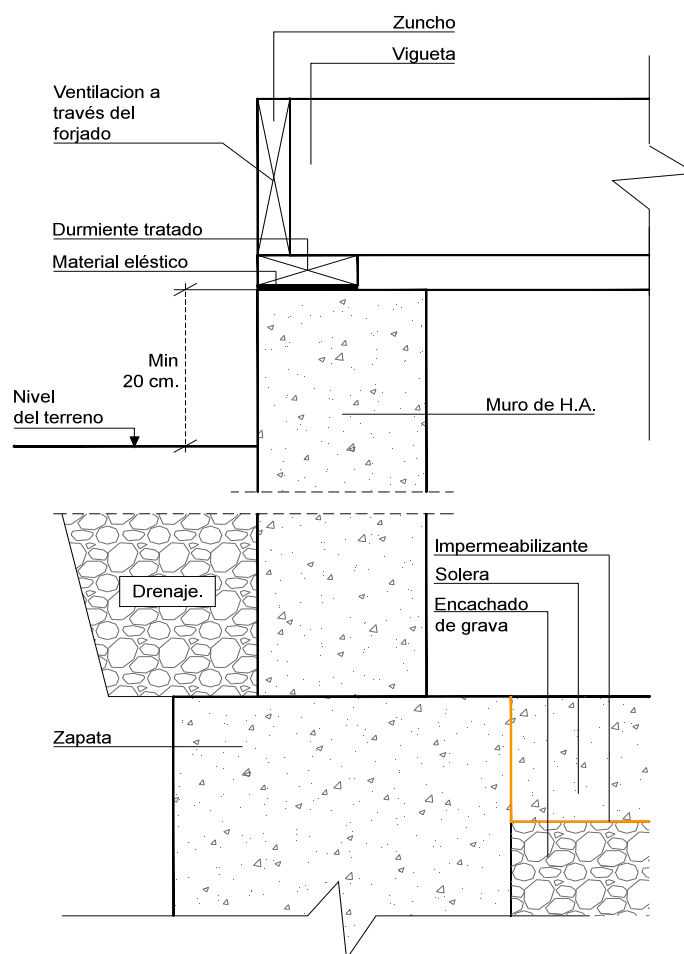


Figura14. Encuentro entre el primer forjado y la cimentación en caso de existir sótano.

2.3. ENTRAMADOS VERTICALES

Los entramados verticales o muros pueden tener función estructural o no, siendo soportantes o autosoportantes respectivamente.

En este sistema, todo el cerramiento exterior es de carácter portante. Adicionalmente, podrán existir otros interiores que, además, responderían a tabiques de sectorización del interior. La función de los soportantes es la misma que cualquier muro de carga, es decir, recibir y transmitir a la cimentación las cargas estáticas y dinámicas a las que se ve sometido. En la siguiente figura (Figura 15) se muestra la estructura típica de un entramado vertical soportante.

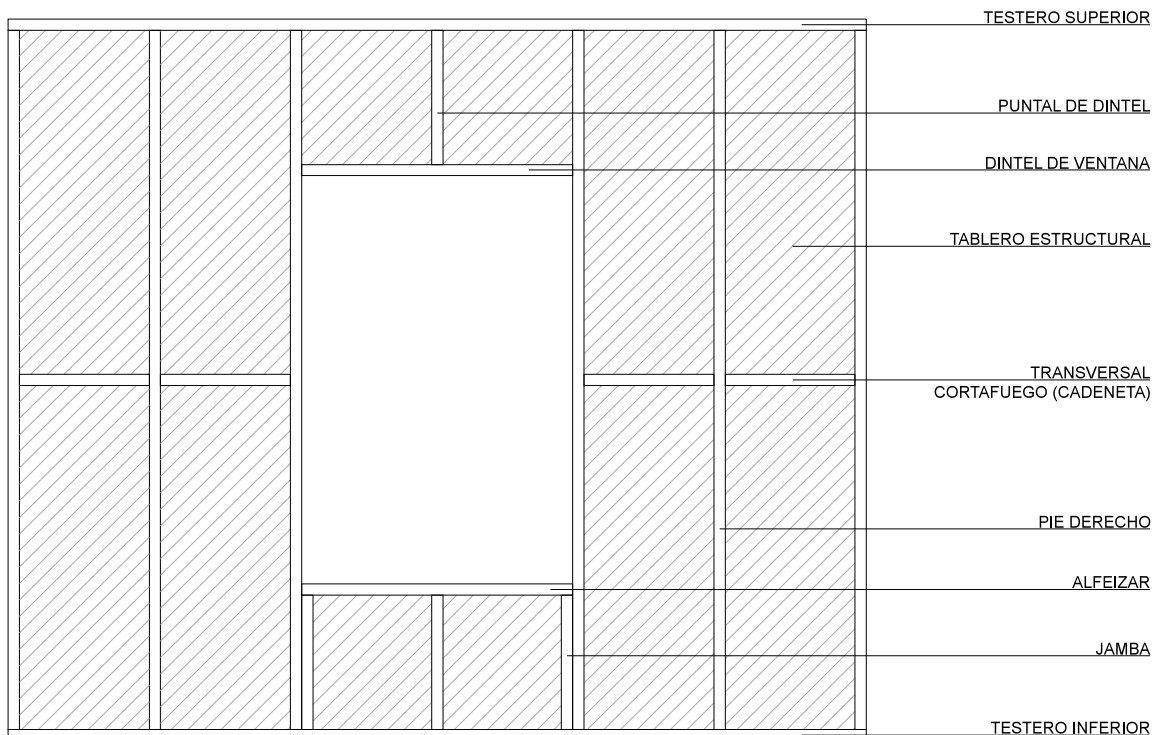


Figura 15. Estructura del entramado vertical de un muro de carga del sistema de plataforma. Ver texto para detalles de cada uno de los componentes.

Testero inferior. Pieza horizontal inferior que fija, por medio de uniones clavadas, todas las piezas verticales tales como pies derechos, jambas y zoquetes a los testeros superior e inferior. Su principal función es distribuir las cargas verticales hacia la plataforma. Como se vio en el apartado de cimentación, en el caso que el testero inferior del tabique vaya anclado sobre una plataforma de hormigón, dicha pieza debe de estar separada del hormigón mediante una lámina impermeabilizante y, a la vez, debe de estar tratada contra ataques bióticos y abióticos.

Pie derecho. Pieza vertical unida por medio de fijaciones clavadas entre los testeros superior e inferior. Su principal función es transmitir axialmente las cargas provenientes de

niveles superiores de la estructura. Se colocan con una separación entre ejes de 30 a 60 cm.

Testero superior. Pieza horizontal superior que une, por medio de uniones clavadas, todos los elementos verticales tales como pies derechos, jambas y puntales de dintel. Transmite y distribuye a los componentes verticales las cargas provenientes de niveles superiores de la vivienda.

Transversal cortafuego. Pieza componente que separa el espacio entre dos pies derechos en compartimentos estancos independientes. También es llamada “cadeneta”. Su función consiste en bloquear la ascensión de los gases de combustión y retardar la propagación de las llamas por el interior del tabique en un eventual incendio. Permite, además, el clavado o atornillado de revestimientos verticales y ayuda a evitar el pandeo lateral de los pies derechos en el plano del tabique.

Dintel. Corresponde al conjunto de una o más piezas horizontales que soluciona la luz en un vano de puerta o ventana. Su estructuración dependerá de la luz y de la carga superior que recibe, pudiendo ser desde un listón colocado plano a dos colocados planos o de canto o, incluso, una viga de madera laminada si fuera necesario.

Alféizar. Pieza horizontal soportante en elementos de ventana. Por lo general es utilizado sólo en tabiques soportantes perimetrales. Su estructuración dependerá de la longitud o ancho del vano, tipo y materialidad de la ventana que se especifica.

Jamba. Pieza vertical soportante que complementa la estructuración de vanos en puertas y ventanas. Su función principal es apoyar la estructuración del dintel. Además, mejora la resistencia al fuego del vano como conjunto.

Puntal de dintel. En aquellos dinteles de luz no mayores de 80 cm, y siempre que no actúen cargas puntuales provenientes de niveles superiores, la unión entre estos, el testero superior y el dintel en un vano de puerta o ventana puede ser resuelta por medio de piezas verticales de longitud menor denominadas “puntales de dintel”, que permitirán mantener, para efectos de modulación, la fijación de revestimientos por ambas caras del entramado.

Zoquete. Componente vertical que une el alféizar de un vano de ventana con el testero inferior, cumpliendo la misma función que un puntal de dintel.

Tablero estructural. Durante la última década, la utilización de diagonales estructurales y tensores metálicos ha sido cada vez menor, a raíz de la incorporación de tableros contrachapados (terciados) y tableros de hebras orientadas (OSB, *Oriented Strand Board*), como principal componente arriostrante de tabiques soportantes en estructuras de madera.

Estos muros de carga o soportantes pueden ser interiores o exteriores. En caso de ser exteriores, además de su función estructural, tienen la misión de cerrar la obra y aislarla del exterior térmica y acústicamente. En la figura 7 se pueden ver las capas por las que está

formado un típico muro exterior de cerramiento, que, desde dentro hacia fuera, son las siguientes:

- Placa de yeso
- Barrera corta vapor
- Estructura del muro portante, entre el cual se coloca el aislamiento
- Tablero estructural, contrachapado u OSB
- Barrera corta-viento (normalmente incorporada al tablero)
- Rastreles en una o dos direcciones (espacio ventilado)
- Acabado de fachada

Normalmente las paredes se arman antes de su erección para evitar descuadres. En algunos casos, la estructura portante junto con los tableros viene montada de fábrica.

Además de las capas que conforman un típico entramado vertical soportante exterior, la Figura 16 muestra el encuentro de este con el forjado.

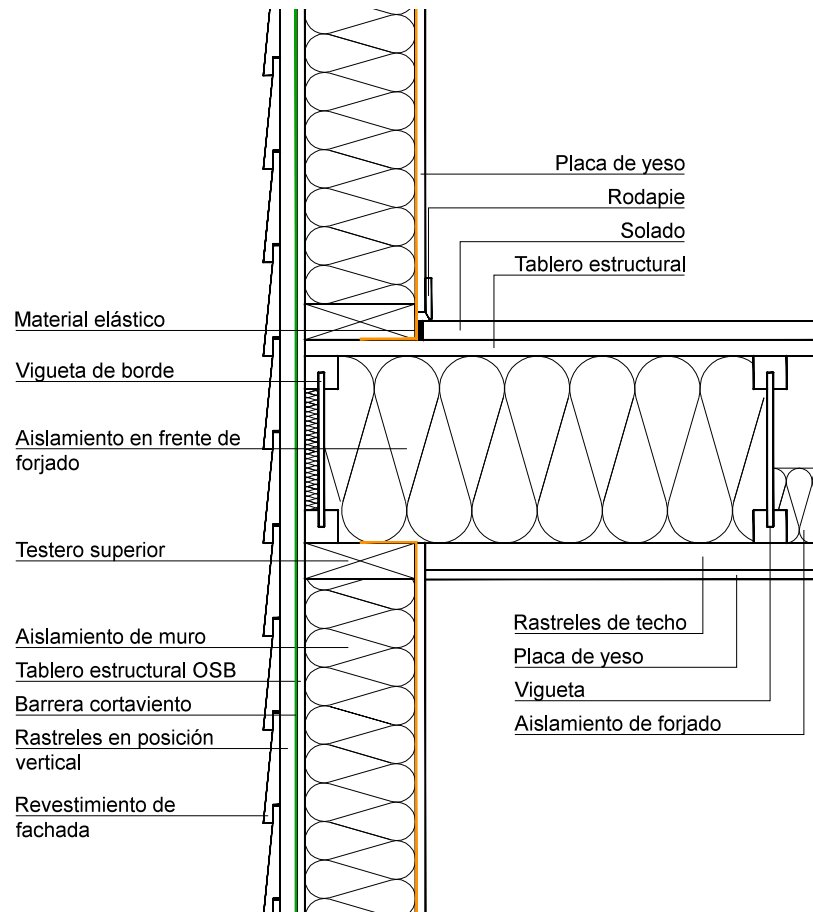


Figura 16. Detalle tipo del encuentro entre el forjado y un muro de fachada en el sistema de plataforma.

2.4. ENTRAMADOS HORIZONTALES

Según su posicionamiento en la construcción, el entramado horizontal tiene diferente función y las cargas que debe de soportar y transmitir no son las mismas.

- **Entramado de piso o primer forjado.** Absorbe las cargas del peso propio y de uso transmitiéndolas a la fundación. Va apoyado directamente sobre un durmiente de base (generalmente tratado con algún protector contra ataques bióticos y/o abióticos), y este sobre la cabeza de muro o murete de arranque de la cimentación.
- **Entramado de entrepiso o forjado intermedio.** Absorbe los cargas del peso propio y de uso, transmitiéndolas a los tabiques de paredes soportantes. Va apoyado en el entramado (muro de carga) que le queda debajo a través de un durmiente.
- **Entramado de cielo o techo.** Absorbe las cargas de su peso propio y de la solución del cielo, transmitiéndolas a los tabiques soportantes. Como en el caso anterior, este también va apoyado en el entramado (muro de carga) que les queda debajo a través de un durmiente.

Además, los entramados horizontales se pueden dividir en flexibles y rígidos dependiendo de su capacidad de transmisión de los empujes laterales.

- **Entramados horizontales flexibles.** Tienen la característica de adaptarse a la estructura soportante, pero no colabora en la transmisión de las acciones horizontales. En el caso de zonas de vientos y/o sismos, la estructura soportante vertical debe estar diseñada para resistir todas las sollicitaciones estáticas y esfuerzos dinámicos, incluyendo los que aporten los entramados horizontales con sus sobrecargas.
El hecho de que sean los entramados verticales los únicos responsables de resistir las acciones horizontales, hace que necesitemos mayor número de muros de carga y sobretodo los mete dentro de la vivienda.
- **Entramados horizontales rígidos.** El entramado está diseñado para colaborar con las demás estructuras, y conformado por una placa rígida que transmite los esfuerzos horizontales a los tabiques soportantes. Esta placa rígida puede conseguirse con tablero estructural adecuadamente clavado, con una celosía de arriostamiento o con una capa de hormigón armado.

En la Figura 17 se muestra la estructura típica de un entramado horizontal y se da nombre a cada una de sus partes.

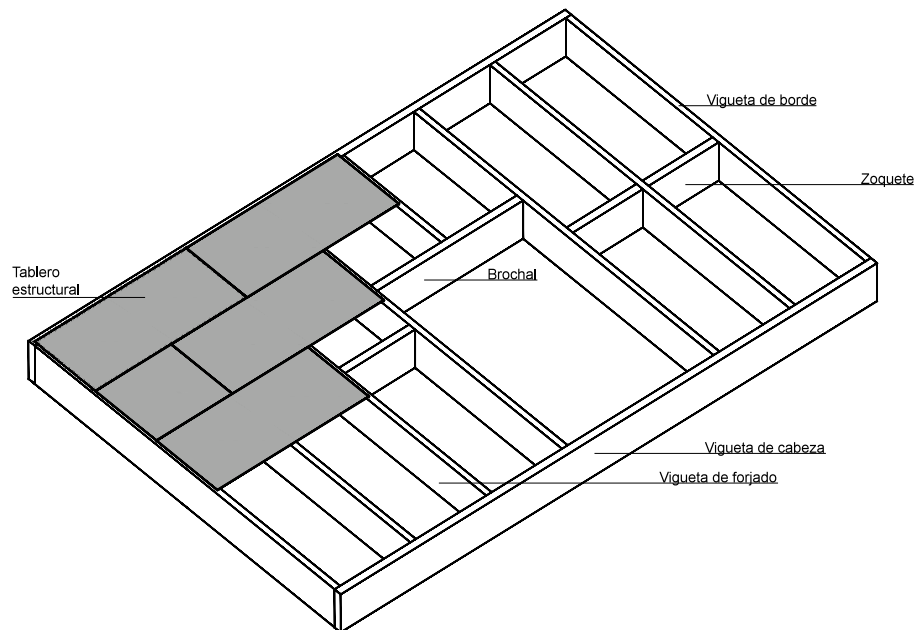


Figura 17. Estructura del entramado horizontal de un muro de carga del sistema de plataforma. Ver texto para detalles de los componentes.

Vigueta. Pieza de madera aserrada o de productos derivados de la madera que, junto con las otras, forman el entramado del piso. En el hueco que queda entre estas se coloca el aislamiento termo-acústico.

Vigueta de cabeza. Vigueta que remata perpendicularmente las cabezas de las viguetas del forjado en su apoyo sobre muros. Tiene la misma escuadría que estas.

Vigueta de borde. Vigueta que remata lateralmente el forjado en el sentido de la crujía. Tiene las mismas dimensiones que una vigueta normal y sirve como pieza de apoyo a los muros superiores o a la estructura de cubierta.

Viga cargadera. Estas pueden sustituir a un muro interior y se utilizan cuando se quiere dejar más diáfana la planta.

Cadeneta. Elementos que se ubican entre las vigas, permitiendo repartir las cargas y sobrecargas. Evitan las deformaciones laterales, volcamientos y posibles alabeos de las mismas. Permiten, además, materializar un apoyo sólido para los tableros orientados ortogonalmente a la dirección de las vigas.

Brochal. Pieza de madera aserrada de dimensiones similares a las viguetas que reciben transversalmente las cabezas de las vigas cortadas para dejar huecos.

Tablero estructural. Lo más habitual es utilizar este tablero estructural para conseguir el arriostramiento del entramado. Esto es debido a que ofrece ventajas comparativas con otros sistemas de arriostramiento, fundamentalmente por la facilidad y rapidez de ejecución. Normalmente se utilizan tableros estructurales de contrachapado fenólico o de hebras orientadas (OSB).

2.5. CUBIERTA

El sistema tradicional solo contempla cubiertas inclinadas pero, como se verá en el apartado de *Aspectos de Diseño*, sin ningún problema se pueden proyectar y ejecutar planas, simplemente habrá que tener en cuenta las posibles sobrecargas en un caso u otro y preveer si han de ser transitables (por las consiguientes sobrecargas).

Las formas de resolver esta cubierta inclinada son las siguientes:

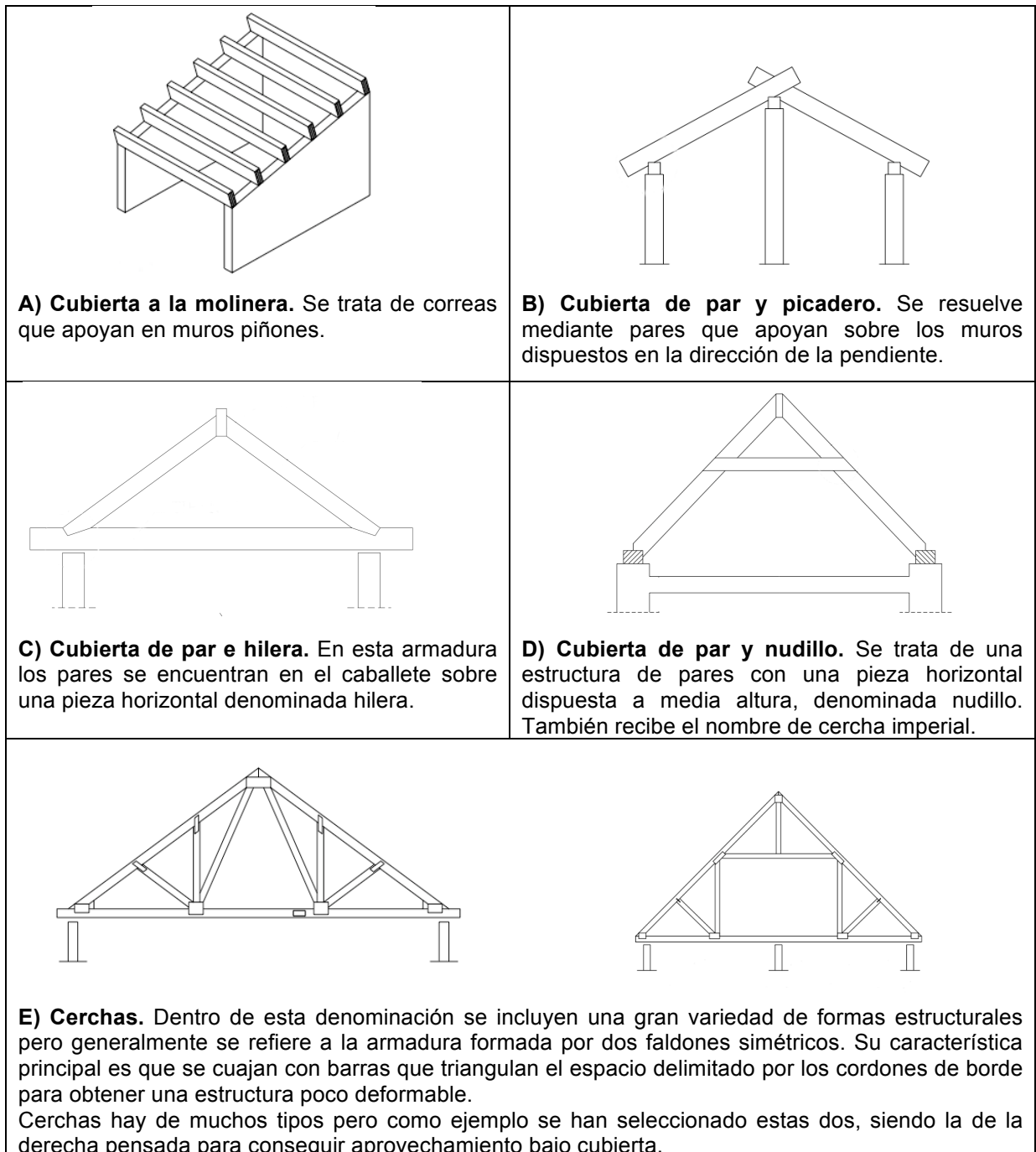


Figura 18. Posibles tipos de cubierta en la construcción con entramado ligero de madera

Así como ocurría en los forjados, será necesario arriostrar la estructura de cubierta con tal de conseguir su propia estabilidad y colaborar con la del conjunto del edificio frente acciones horizontales. Como también sucedía en el caso de los forjados lo más fácil es atando los pares o las cerchas mediante el uso de tableros estructurales colocados perpendicularmente a la estructura.

3. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE PLATAFORMA CON ENTRAMADO LIGERO DE MADERA

Este capítulo está dedicado al estudio de aquellos aspectos que determinan el funcionamiento de la construcción final y que, a su vez, dependen del sistema constructivo escogido. Para ello, se ha restringido el estudio a la tipología unifamiliar ya que es donde mejor se comporta el sistema y donde más competitivo se presenta frente a la construcción tradicional. Este tipo de viviendas, además, parece presentarse como la única cuota de mercado a la que actualmente podría acceder en el territorio español y el mejor camino para demostrar su buen funcionamiento y conseguir así una mayor implantación de casas de madera.

El comportamiento mecánico es el primero de los aspectos que aborda el estudio, aquí se ve como la naturaleza portante de casi todos los elementos del sistema de plataforma, su ligereza y la naturaleza de la madera hacen que este tipo de construcciones sean estables frente a todo tipo de acciones exteriores. El hecho de que la madera sea el material base hace que, en términos de sostenibilidad y ahorro energético, su comportamiento sea excelente, pero por otra parte la madera es un elemento fácilmente atacable y degradable siempre que no se encuentre correctamente protegido. Otro de los puntos delicados de este sistema constructivo es el aislamiento frente al ruido, consecuencia de la ligereza del sistema. También se trata de desmontar la imagen de casita de planta cuadrada con cubierta a dos aguas que viene a la cabeza de muchas personas cuando se les habla de casas de madera, mostrando las infinitas posibilidades de diseño que presenta e, incluso, la posibilidad de incorporar otros materiales o técnicas cuando sea necesario. Para finalizar, se ven de manera general aspectos económicos o de rapidez de ejecución, tan influyentes en la elección de un sistema constructivo u otro.

3.1.COMPORTAMIENTO MECÁNICO

3.1.1. Propiedades físicas de la madera

Una pieza de madera es un trozo de ser vivo y, como tal, está formada por células que en el árbol vivo cumplen funciones vitales de resistencia, conducción de savia y de almacenamiento de sustancias de reserva. Las células tienen forma de tubos con longitudes, diámetros y espesor de las paredes variables según la función principal a desarrollar, la especie y las condiciones de crecimiento. La mayoría están orientadas paralelamente al eje del árbol, unidas entre sí por una sustancia intercelular denominada laminilla media y trabadas, a su vez, por otras células de naturaleza similar a las anteriores pero en número mucho menor y perpendiculares en sentido radial del tronco, formando los radios leñosos (Figura 19).

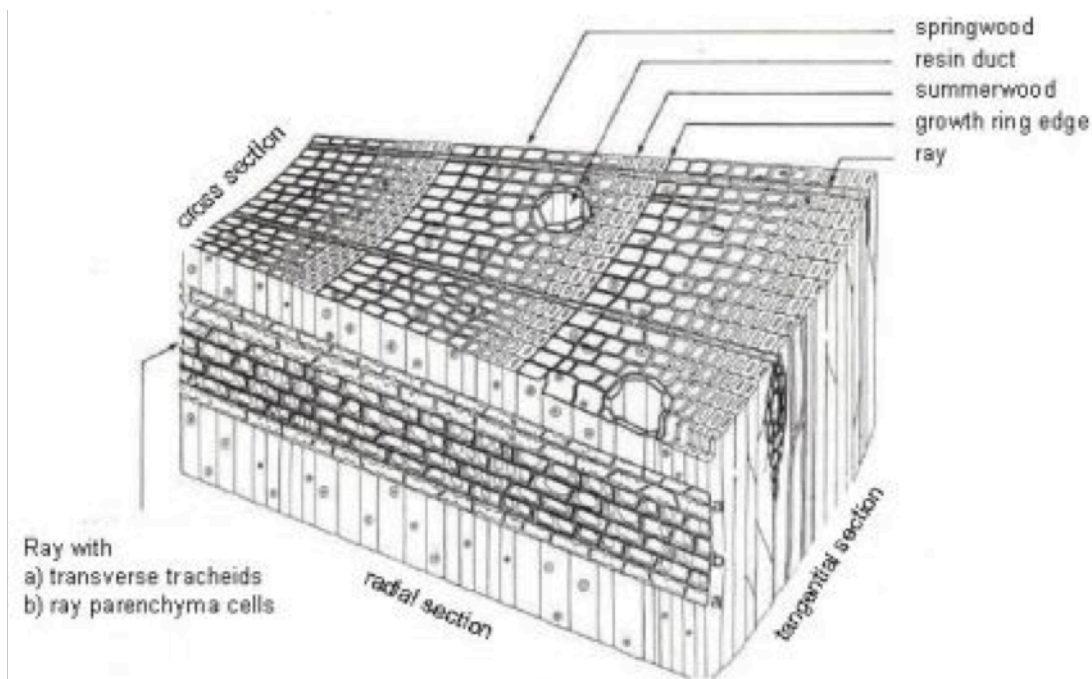


Figura 19. Estructura anatómica de la madera.

Esta estructura celular hace de la madera un material resistente y ligero a la vez. Además esta propiedad se ve reforzada por la especial estructura de la pared celular. Los dos componentes principales de la pared celular son la celulosa y la lignina. La primera es higroscópica, en parte cristalina y muy resistente a la tracción, mientras la segunda es prácticamente insoluble en agua, amorfa y muy resistente a la compresión.

La madera que se utiliza para fabricar los postes y vigas de madera de las casas de entramado ligero de madera es normalmente de pino. La madera de pino pertenece al grupo de las coníferas. Estos son árboles robustos y casi todos de hojas perennes. Su madera tiene una estructura sencilla y uniforme, más del 90% de las células son traquídeas y

carecen de vasos. Debido a la abundancia de jugos resinosos en la mayoría de las coníferas, estas especies también se conocen como resinosas.

La formación de la madera tiene lugar a partir de una fina capa llamada cámbium, existente entre la madera y la corteza. La forma y velocidad de crecimiento del árbol dependerá de la situación y las condiciones en las que crezca, y totalmente dependiente de la forma de crecimiento será la calidad de la madera. La madera española es de muy mala calidad y prácticamente inservible para su uso estructural. En cambio, la madera finlandesa, por ejemplo, es fantástica debido a la alternancia entre inviernos muy fríos y calurosos veranos. Solo hay unos 100 días al año donde los árboles pueden crecer, esto se traduce en un lento crecimiento y esto a su vez se traduce en materia prima de primera calidad, obteniendo troncos con veta recta, de madera dura, con pocos nudos y muy pocas ramas (y estas son finas). El crecimiento es simétrico, por lo que los troncos son completamente redondos y rectos. La proporción entre madera joven y vieja es baja y el corazón del tronco grande. El resultado de todo esto es madera dura, fuerte, densa y de veta recta, donde las grietas y el estrés interno son mínimos.

Con el paso del tiempo, los anillos de la albura más alejados del cámbium (Figura 20) van perdiendo su actividad vital y mueren, sufriendo una serie de transformaciones químicas con la formación de compuestos que impregnan la pared celular y que le dan el color oscuro, variable según los compuestos químicos formados, que caracteriza a la especie. Esta zona recibe el nombre de duramen y su misión en el árbol es únicamente resistente. La madera del duramen tiene una durabilidad natural superior a la de la albura, pero sus resistencias mecánicas permanecen prácticamente constantes al pasar de albura a duramen.

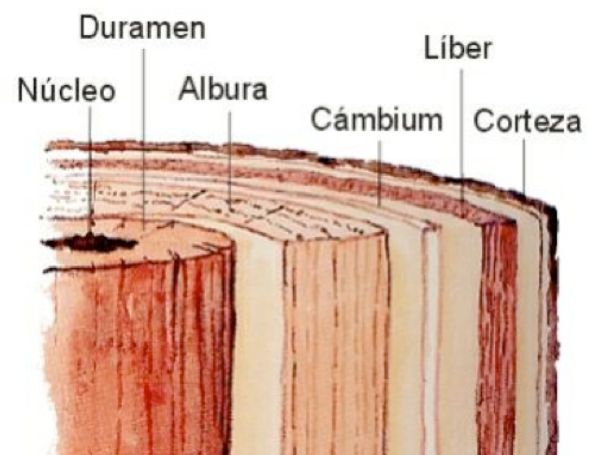


Figura 20. Corte transversal de un tronco.

Debido a su particular estructura tubular y a su formación mediante sucesivas capas concéntricas, la madera es un material anisótropo, es decir, que ciertas propiedades físicas y mecánicas varían según la dirección que se considere.

Desde el punto de vista físico y mecánico se consideran tres direcciones principales bien definidas (Figura 21):

- Axial, paralela al eje del árbol
- Radial, perpendicular a la anterior y orientada Radialmente en la sección transversal

- Tangencial, situada también en la sección transversal, pero tangente a los anillos de crecimiento

La madera es poco resistente si la carga se aplica perpendicularmente a las fibras. La resistencia a la tracción perpendicular suele ser de un 5% a un 1,4 % de la resistencia a la tracción paralela a las fibras. La sollicitación en dirección perpendicular a las fibras suele ser el factor limitante en el cálculo de uniones, encuentros y elementos estructurales de sección variable y/o de directriz curva. En la construcción con madera es importante evitar cambios imprevistos en los proyectos que puedan ocasionar que un elemento estructural quede sometido a los efectos

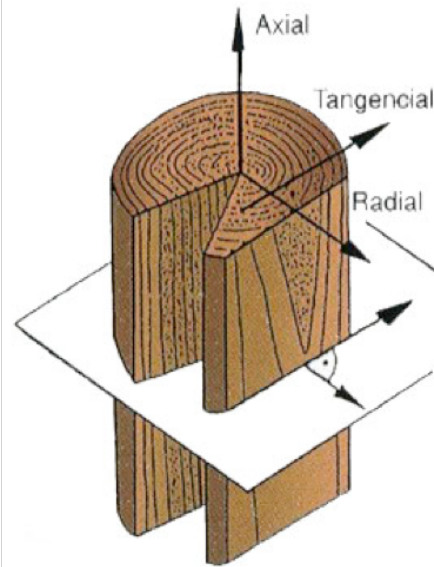


Figura 21. Direcciones principales de la madera.

de una tracción o compresión perpendicular a las fibras no considerada en el cálculo. Igualmente, en el diseño de las uniones y encuentros será importante considerar el movimiento natural de la madera, por ejemplo por acción de condiciones climáticas del medio muy variables a lo largo del año, para evitar la aparición de tensiones perpendiculares a las fibras del mismo modo que se colocan juntas de dilatación para el hormigón.

La resistencia y la deformación de la madera son sensibles a la duración de la carga y al ambiente al que está sometido el elemento estructural. Para considerar estas particularidades, en el cálculo estructural con madera se emplean coeficientes que minoran la resistencia o incrementan la deformación por fluencia del material. A modo de ejemplo, la resistencia de cálculo de un elemento estructural sometido a una carga permanente se considera aproximadamente un 55% menor que si esta fuera instantánea y la resistencia de cálculo, en elementos lineales, en ambientes protegidos (tanto interior como exterior) se considera aproximadamente 20% mayor que en ambientes exteriores no protegidos.

Debido a que se suelen utilizar mayoritariamente secciones rectangulares con una proporción del canto y el espesor no muy elevada, y a que la madera presenta un módulo de elasticidad bajo (aproximadamente entre 10 y 20 veces menor que el acero), la flexión aparece como factor limitante del cálculo.

Otro aspecto importante y que resulta interesante desde el punto de vista arquitectónico es la mala conductividad térmica de la madera debido tanto a la escasez de electrones libres como a la porosidad. De todos modos, la conductividad térmica varía con la dirección del flujo de calor respecto a la dirección de la fibra, con la densidad, con el tipo y la cantidad de los extractos, con los defectos y, especialmente, con el grado de humedad.

Por lo que respecta a las propiedades acústicas, se puede decir que la madera es un buen transmisor del sonido (por eso su utilización para fabricar instrumentos musicales) lo que hace que sea un pésimo aislante acústico. Pero esta propiedad transmisora juntamente con

su porosidad hace de la madera un excelente material para ser utilizado como revestimiento de paramentos verticales u horizontales con tal de evitar problemas de reverberación.

3.1.2. Comportamiento mecánico del sistema

En el capítulo 2 del presente monográfico ya se ha visto la función estructural de cada uno de los elementos que componen una casa de entramado ligero de plataforma. Ahora se explica de manera resumida cómo funciona el conjunto de la construcción.

La combinación de elementos portantes ligeros (entramado), trabajando solidariamente con elementos de cubrición (cerramiento y/o revestimiento) aportan al conjunto la resistencia y rigidez necesaria ante las acciones verticales y horizontales.

➤ **Acciones verticales**

Estas son resistidas por los forjados de viguetas y cerchas de madera y, a su vez, las transmiten a los muros que, para evitar su pandeo, son arriostrados por medio de los tableros de cerramiento.

➤ **Acciones horizontales de viento**

En este caso, son las paredes perpendiculares a la dirección del viento las que resisten el empuje, produciéndose dos reacciones: una en la cabeza de los montantes y otra en la cimentación. La reacción en la cabeza de los montantes se transmite al diafragma del forjado, que actúa como viga de gran canto apoyada en los dos muros laterales. La reacción en la cimentación es transmitida por los muros laterales que, al estar empotrados en el suelo, actúan como voladizos que transmiten a la cimentación las reacciones de la “viga” de diafragma del forjado. De esta forma, cada muro se comporta como un diafragma rigidizado por el tablero, que evita el descuadre. Finalmente, en la cubierta se produce un fenómeno similar en el que los diafragmas se organizan en los planos de cubierta (Figura 22). El hecho de que todo el edificio tenga la misma constitución le hace apto para resistir los esfuerzos variables en cualquiera de sus caras.

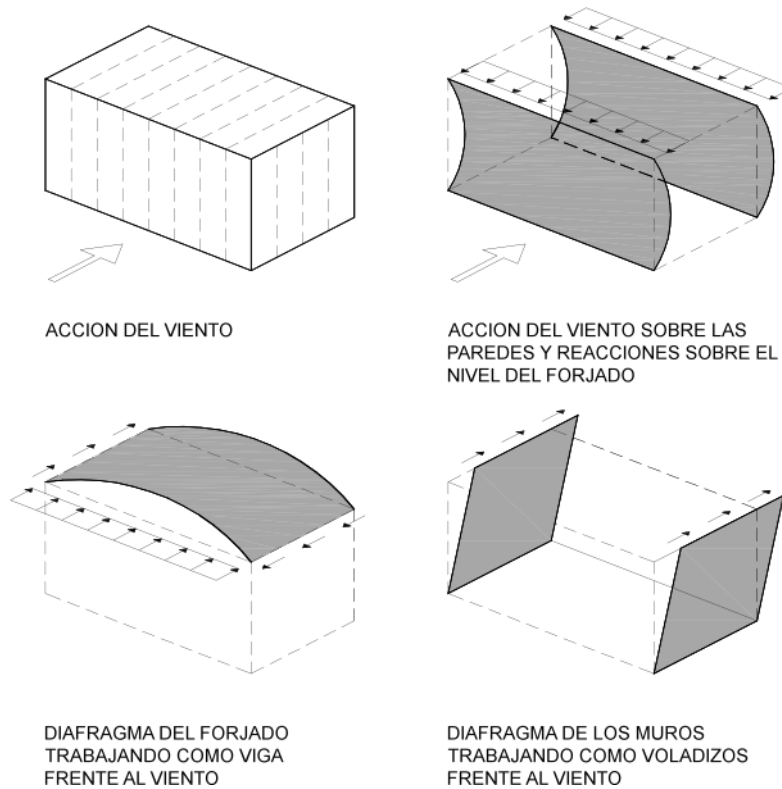


Figura 22. Comportamiento estructural del sistema de plataforma frente a las cargas horizontales.

➤ Comportamiento sismorresistente

Al ser un sistema ligero, las construcciones con entramado ligero de madera no transmiten tanta energía. Además son más flexibles, por lo que absorben y disipan de forma más eficiente la energía transmitida desde el terreno.

Por otro lado, la madera tiene una característica que resulta muy beneficiosa para el comportamiento ante el viento y el sismo, y es que esta tiene una resistencia para cargas de larga duración alrededor del 60% de la que se le considera para cargas de corta duración.

Además, existen una serie de medidas que mejoran notablemente el comportamiento frente al sismo de esta tipología edificatoria:

- Evitar las aberturas excesivas en la planta baja, no conviene debilitarla en exceso
- Atar fuertemente los muros a la cimentación
- Colocar el menor peso posible en la estructura de cubierta, bajando así en centro de gravedad del edificio

3.1.3. Cálculo y CTE

El CTE ha supuesto la renovación de una buena parte de la normativa existente, pero en el caso de la madera se trata de la primera norma sobre madera de uso estructural. El DB-SE-M (UNE ENV 1995-1-1) sitúa a la madera en posición análoga a la de otros materiales estructurales a nivel reglamentario. Este documento se encuentra basado en el Eurocódigo 5, el documento de referencia desde hace unos años en toda Europa para cualquier construcción con madera. En él se recogen las prescripciones generales relativas a la fabricación, montaje, control de calidad, conservación y mantenimiento necesarias para las estructuras de madera. Indicando las exigencias que se deben cumplir en concordancia con las bases de cálculo. Así lo indica en el capítulo “Generalidades”:

- *El campo de aplicación de este DB es el de la verificación de la seguridad de los elementos estructurales de madera en edificación.*
- *La satisfacción de otros requisitos (aislamiento térmico, acústico, o resistencia al fuego,) quedan fuera del alcance de este DB. Los aspectos relativos a la fabricación, montaje, control de calidad, conservación y mantenimiento se tratan en la medida necesaria para indicar las exigencias que se deben cumplir en concordancia con las bases de cálculo.*

Las viviendas unifamiliares de por sí no presentan estructuras excesivamente complejas normalmente y no será la elección del sistema de plataforma lo que dificultará el cálculo. Dado el alto grado de mecanización y prefabricación que tienen estas estructuras, mediante un dimensionado previo de carácter geométrico se podrá garantizar, *a priori*, la estabilidad estructural. Como muestra de la sencillez de dimensionado y montaje, resulta curioso la cantidad de manuales que se encuentran por Internet para la autoconstrucción con el sistema de plataforma, lo cual se desaconseja totalmente desde aquí.

Este tipo de estructuras vienen calculadas desde el aserradero y existen numerosas empresas como es el caso de *Pallars* o *Las 5 jotas* en España que ofrecen la posibilidad de trabajar conjuntamente con el arquitecto en el dimensionado de la estructura o, incluso, encargarse totalmente llegando a firmar el proyecto de estructura y responsabilizándose del mismo.

Es normal en los estudios de arquitectura, con el fin de estandarizar las soluciones constructivas y facilitar temas de montaje, que en este tipo de construcciones el proyectista trabaje con secciones predeterminadas que la experiencia le dice que cumplirán en el posterior cálculo estructural. En el caso de *Arquima*, por ejemplo, tratan de utilizar luces máximas de hasta 5 metros, lo que les permite utilizar secciones habituales como son 100x200 mm en forjados y cubiertas y 140x38, 100x38 y 80x38 en muros. Un caso curioso es el de países como Finlandia o Noruega, donde las estructuras están totalmente sobredimensionadas ya que necesitan más profundidad en los entramados para colocar

todo el aislamiento necesario. En el caso Noruego, un típico muro exterior necesita unos 198 mm (profundidad de los montantes) de aislamiento de lana de roca para cumplir con los estándares exigidos, pero hace un par de años los requerimientos de aislamiento aumentaron y, a fin de abaratar costes, en lugar de seguir aumentando la profundidad de los montantes, en la mayoría de construcciones lo que se hace es colocar un rastrelado de 48x48 mm por la cara interior de los montantes, separado 600 mm que incluye aislamiento extra en el espacio libre entre los mismos (Figura 23).

Una muy valiosa ayuda para el cálculo de este tipo de estructuras, o al menos para realizar un predimensionado con el que empezar a trabajar, son las tablas de los fabricantes y suministradores de madera estructural o el Documento de Aplicación del CTE “Conceptos básicos de la construcción con madera”. En este último se puede encontrar una serie de tablas que:

- Para los muros hace una aproximación a la altura libre máxima de los entramados de muros exteriores e interiores según su escuadría, clase resistente y número de plantas del edificio
- Para los forjados hace una aproximación a la luz máxima permitida de pares de entramado de forjado para un canto determinado, según el intereje y la clase resistente.
- Para cubiertas hace una aproximación a la luz máxima permitida de pares de entramado de cubierta para un canto determinado, según también el intereje y la clase resistente. Y lo mismo para elementos complejos de cubierta, donde se recogen los tipos más frecuentes de estas celosías ligeras, indicándose las luces y separaciones recomendadas para cada tipo de cerchas.
- Para tableros estructurales se presenta la separación máxima entre viguetas en función del tipo de tablero estructural empleado, espesor del mismo y número de viguetas de apoyo.

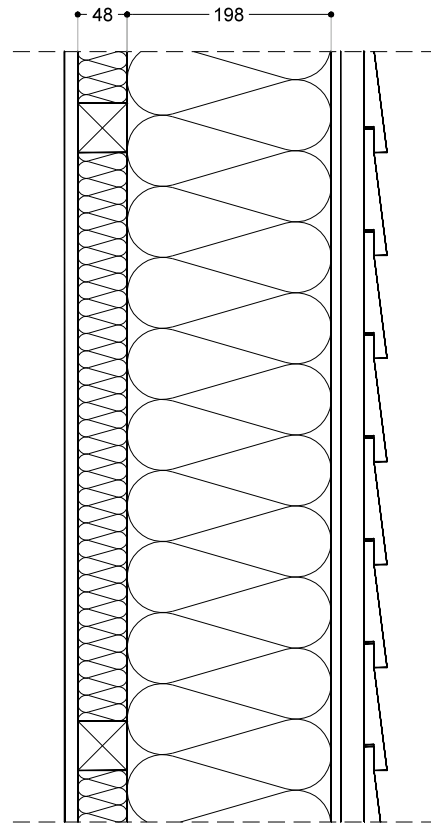


Figura 23. Entramado vertical de fachada con aproximadamente 200 mm de aislamiento.

Como ejemplo de tablas proporcionadas por los suministradores de madera, se puede destacar el caso de Arauco, una de las mayores empresas forestales del mundo, que en su documento "Ingeniería construcción en madera" contiene tablas que permiten dimensionar estructuras de piso, paredes y techo de viviendas, sometidas a la acción de esfuerzos producidos por la acción del peso propio de los elementos, de las cargas de servicio y sobrecargas consideradas, en este caso, en las normas chilenas, un país con una gran tradición en la construcción con madera.

Por su parte, la Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, AITIM, tiene un servicio de informes y peritaciones entre los que se incluye el diseño y cálculo de estructuras de madera. Además posee una publicación, "Estructuras de madera: diseño y cálculo", actualizada al CTE, que resulta de gran valor y ayuda para el cálculo estructural con madera.

A la hora de abordar el cálculo existen numerosos programas especializados en las estructuras de madera como Nuevo Metal 3D de CYPE que, a pesar de su desafortunado nombre, calcula otro tipo de estructuras además de las metálicas. Estrumad, comercializado y promocionado desde AITIM, Cadwork o Trical son otros ejemplos de programas utilizados. Algunos de ellos, como Estrumad, además, permiten calcular la resistencia a fuego de los elementos estructurales de madera.

3.2. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES Y DE SOSTENIBILIDAD

Hace unos doscientos cincuenta años la sociedad era fundamentalmente orgánica y se caracterizaba por un uso predominante de recursos biosféricos, ajustándose, con algunas excepciones, a la capacidad de la naturaleza para producirlos así como a sus posibilidades para asimilar los residuos generados. Se puede decir que en este modelo productivo el ciclo de los materiales era cerrado o lo más cerrado que se puede ser (Figuras 24 y 25). Pero después de la revolución industrial el modelo productivo dominante pasó a funcionar como una secuencia lineal: extracción > fabricación > uso > residuo.

En el caso de la construcción, los factores decisivos a la hora de elegir un sistema constructivo o el uso de un material concreto eran la idoneidad, el coste, la disponibilidad y la apariencia. Sin embargo, desde hace unos años se ha empezado a tomar conciencia de aspectos como el impacto sobre el medio ambiente o la finitud de los recursos naturales.

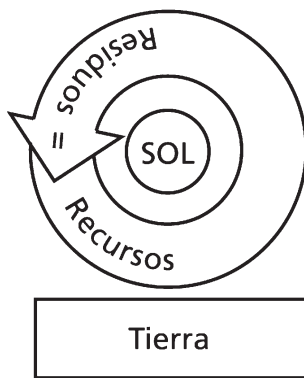


Figura 24. Ciclos de los materiales cerrados

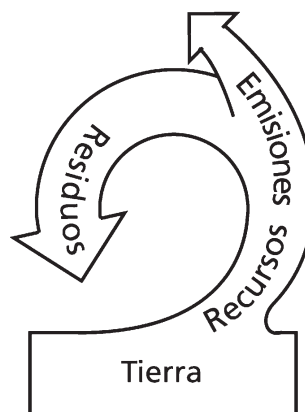


Figura 25. Ciclos de los materiales abiertos

En este capítulo se analiza el impacto que puede suponer construir utilizando el sistema de entramado ligero de plataforma y, cuando se pueda, comparándolo con otros sistemas constructivos.

Los aspectos medioambientales y de sostenibilidad que se van a tener en cuenta en el presente apartado son:

- Eficiencia en el consumo de materiales
- Eficiencia en el consumo energético

En el siguiente gráfico (Gráfico 1) quedan reflejadas las emisiones de CO₂ durante el ciclo de vida de un mismo edificio tipo construido con cuatro sistemas diferentes:

- Convencional
- Modular basado en hormigón (Compact Habit)

- Modular basado en madera (Diemodulfabrik KLH)
- Modular basado en acero (Yorkon)

El sistema basado en madera del gráfico no es de entramado ligero, sino que se trata de una estructura de paneles o placas, de modo que los valores reflejados en la gráfica solo deberían tomarse como referencia.

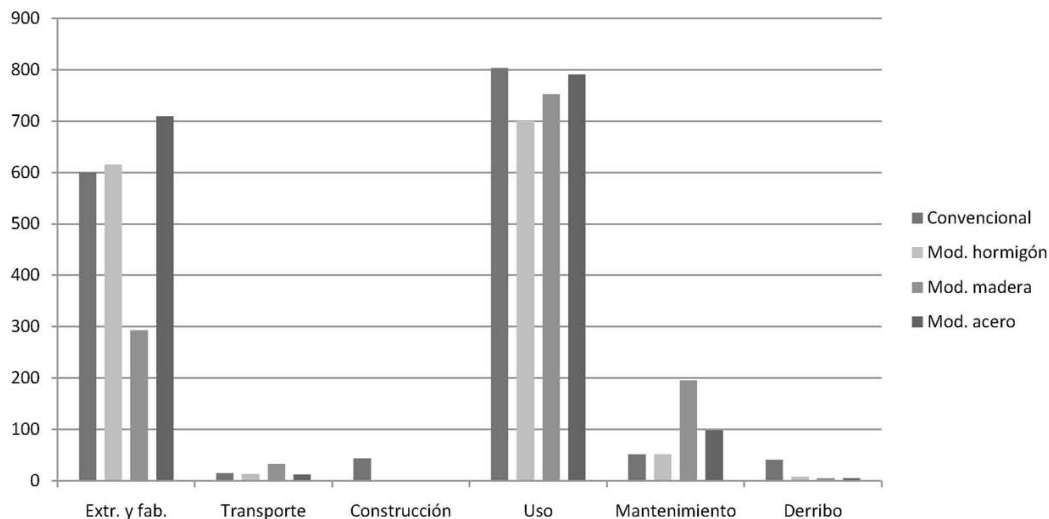


Gráfico 1. Emisiones de CO₂ de los cuatro sistemas constructivos.

3.2.1. Eficiencia en el consumo de materiales

El consumo de materiales en el proceso de la edificación implica una elevada agresión ambiental debido, entre otros, al dispendio de recursos, al impacto de la explotación o al impacto por extracción y transformación de los materiales.

El objetivo consiste en minimizar el conjunto de afecciones asociadas a la extracción, manufacturación y reintroducción de los materiales que componen el sistema constructivo y, al mismo tiempo, conseguir un hábitat sano, saludable y armónico que responda a las necesidades de cobijo y abrigo.

3.2.1.1. DISPENDIO DE RECURSOS

Es la elección del sistema constructivo lo que marcará la cantidad y el tipo de material que se necesitará en la ejecución del edificio. Cuando lo que se quiere es reducir el impacto que supondrá la elección de dicho sistema se habrá de prestar atención a una serie de aspectos como son:

- Minimizar la cantidad de materiales por unidad de servicio
- Utilizar materiales reciclados o fácilmente reciclables
- Gestión de residuos con vistas a su valorización
- Potenciar la durabilidad de los materiales mediante su protección física y química
- Materiales que, por su disponibilidad atemporal, permiten reparaciones, sustituciones o rehabilitaciones
- Utilización de materiales que reduzcan el impacto ambiental en todo su ciclo de vida (extracción, manufacturación, uso y valorización como residuo)

El sistema de entramado ligero de madera da respuesta a las anteriores exigencias. Es un sistema prefabricado y además ligero, por lo que minimiza la cantidad de material utilizado. Se basa en un material fácilmente reciclable y que se protegerá dependiendo del uso al que vaya a ser destinado debido al carácter prefabricado del sistema que lo pone en uso. Al amparo de la industria forestal sostenible será un material atemporal. En cuanto al uso de materiales que ayuden a reducir el impacto ambiental se puede decir que se consigue satisfactoriamente con un sistema estructural basado en la madera y sus derivados. Aquí se analizarían aspectos como el impacto forestal, la emisión de residuos o el consumo de la materia prima, entre otros.

3.2.1.2. IMPACTO DE LAS EXPLOTACIONES FORESTALES

El tema de las explotaciones forestales está rodeado de controversia y existen gran cantidad de falsos prejuicios a su alrededor. Pero también hay que decir que es una cuestión muy delicada y que puede llegar a tener gran repercusión sobre el planeta en un futuro no muy lejano. Dependiendo de cómo se hagan las cosas puede ser un aporte tanto positivo como negativo.

La primera idea preconcebida es que la utilización de la madera como material de construcción conducirá a acabar con los bosques del planeta, pero en realidad se trata de todo lo contrario: una gestión sostenible del patrimonio forestal mediante la profusión de masas forestales controladas para su explotación originaría mayor presencia de árboles. Con tal de certificar que las explotaciones forestales se llevan a cabo de una manera sostenible, respetuosa y responsable, existen una serie de sellos de calidad, como por ejemplo el FSC (*Forest Steward Council*), el PEFC (*Pan-European forest*), el SFI (*Sustainable Forestry initiative*), o el CSA (*Canadian Standard Association*). Las más utilizadas en Europa son el FSC y el PEFC.

Greenpeace posee una Guía de la buena madera (GdBM) donde, aparte de defender la madera frente a materiales no renovables como el acero o el aluminio, insta a utilizar maderas que posean sellos que certifiquen que provienen de explotaciones sostenibles y distingue de una forma muy didáctica (verde, ámbar y rojo) las especies que se encuentran

amenazadas y que no deberían de prescribirse ni utilizarse, salvo que provengan de una de estas explotaciones sostenibles.

Hasta ahora Greenpeace se había limitado a denuncias genéricas contra el colectivo de los importadores a los que acusaba de convivencia con el mercado de madera ilegal, algo que ha negado reiteradamente este gremio. La otra vertiente de su comunicación en este campo se ha centrado en la promoción de la certificación forestal que tutela (el sello FSC) con desprecios velados o manifiestos hacia los otros tres sistemas más extendidos, SFI, PEFC y CSA, a los que acusa de contemporizar con intereses forestalistas y ser poco respetuosos con la biodiversidad, además de estar dominados por la industria, las autoridades y los propietarios forestales. Una realidad es que FSC es el único que prohíbe el empleo de árboles genéticamente modificados, evita la conversión de bosques naturales en plantaciones y exige un enfoque preventivo en la gestión de áreas de alto valor de conservación. La organización ha ido, mientras tanto, ganando solapadamente una importante batalla: meter el sello FSC en las conciencias y en los pliegos de condiciones de contratos públicos que quieren ser políticamente correctos y no ser eventualmente blanco de una campaña pública de desprestigio medioambiental.

Por otra parte, los selvicultores europeos denuncian que no es viable cumplir con todas las exigencias del sello FSC para la pequeña propiedad forestal. Y además señalan que unos requisitos tan exigentes por parte de los sellos certificadores, como los del FSC, lo que hacen es propiciar que se produzca la sustitución de los productos de la madera por otros alternativos los cuales demuestran, mediante el análisis del ciclo de vida, que tienen un efecto negativo sobre el medio ambiente. En definitiva, lo que piden es que se apoyen sistemas más adaptados a la realidad y que no encarezcan sobremanera el producto final para que la madera sea competitiva.

Finlandia es un buen ejemplo de este problema. En este país el modelo forestal productivo no está basado en grandes latifundios, de hecho solo un 9% de la superficie forestal se encuentra en manos del estado o de las grandes compañías. Y de la totalidad de la superficie forestal finlandesa un 95% dispone de certificación de gestión forestal sostenible PEFC.

Este es un mercado un tanto oscuro y donde el contrabando está a la orden del día. Aquí el tráfico ilegal no se restringe a maderas protegidas o a países "subdesarrollados". Un buen ejemplo nos llega desde Finlandia también. Este país presume de tener una de las mejores explotaciones forestales del mundo, y así lo certifica WWF (y eso que encuentra el sello PEFC inadecuado) pero, por otra parte, Greenpeace denuncia que empresas madereras finlandesas como Stora Enso y Botnia se encuentran directa e indirectamente involucradas en operaciones de importación de madera proveniente de bosques rusos talada de forma ilegal, lo cual hace pensar que se utilizan dos varas de medir, una para lo que ocurre de fronteras hacia dentro y otra para el producto importado. Y lo peor es que se pueda hacer pasar esta materia prima por nacional y otorgarle sellos de calidad que no debería de tener.

Así que, mientras se exijan estas certificaciones forestales, se reduce la demanda descontrolada y, por consiguiente, la explotación abusiva de la madera en zonas sin gestión medioambiental alguna.

3.2.1.3. IMPACTO POR EXTRACCIÓN Y TRANSFORMACIÓN DE MATERIALES

Cuando analizamos la madera y derivados con los que se fabrican los componentes estructurales, desde el punto de vista de la sostenibilidad se obtienen grandes ventajas comparativas en relación al resto de materiales convencionales de amplia difusión en la construcción española. A continuación se comentan algunas de las ventajas más significativas:

- Frente a los materiales estructurales alternativos (acero, hormigón, cerámica, etc.) que generan emisiones de CO₂ en su manufacturación y reciclaje, la tala y aserrado de madera no implica impacto alguno al respecto (Tabla 1). En el momento de su

Material	Carbono liberado (kg/t)	Carbono liberado (kg/m ³)	Carbono almacenado
Madera aserrada	30	15	250
Acero	700	5.320	0
Hormigón/cemento	50	120	0
Aluminio	8.700	22.000	0

Tabla 1. Carbono liberado y almacenado en la fabricación de materiales de construcción

combustión o descomposición como residuo, el aporte de carbono a la atmósfera será el idéntico que cuando lo fijó realizando la fotosíntesis, sin olvidar la posibilidad de su reciclaje o reutilización.

- El procesado de la madera consume menos energía que el de otras materias primas, en particular que el hormigón, acero o cerámica, teniendo en cuenta su extracción, manufactura y procesos posteriores para la realización de sistemas estructurales, así como por su menor relación volumen de material y resistencia.

Material	Energía combustible fósil (MJ/kg)	Energía combustible fósil (MJ/m ³)
Madera aserrada	1,5	750
Acero	35	266.000
Hormigón/cemento	2	4.800
Aluminio	435	110.000

Tabla 2. Energía de los combustibles fósiles usados en la fabricación de materiales de construcción.

- La producción de piezas de madera respecto a los materiales de construcción convencionales requiere una cantidad de agua muy inferior. Luego, origina un menor impacto en la calidad de los efluentes de aguas residuales que generan. De este agua es una mínima parte la que puede suponer un problema, esta es la que se necesita para los baños de tratamiento y la limpieza de equipos, principalmente encolados de aplicación de adhesivos termoendurecibles. Estas aguas, debido a su bajo caudal y volumen, son fácilmente controlables mediante plantas de tratamiento en los propios aserraderos o en fábricas del sector derivado de la madera. Estos tratamientos permiten la reutilización de las aguas tratadas en los mismos procesos en los que fueron contaminadas.
- La madera genera un residuo, también de madera, que es natural, por ello totalmente biodegradable, reciclable o reutilizable. A veces, los residuos producidos se reutilizan en las industrias de otros sectores como perfumería, látex, tintes, resinas e, incluso, en la industria farmacológica. Además, se calcula que la mitad de la fuente energética utilizada para la fabricación de productos de la madera, corcho y papel proviene de la combustión del propio residuo (serrines, virutas, cortezas, recortes, chapas, polvo de corcho, lejjás negras, etc.), lo cual implica su valorización, un ahorro en el uso de combustibles fósiles y, por ello, una disminución de residuos generados.

3.2.2 Eficiencia en el consumo energético

Para conseguir el objetivo de reducir el uso de recursos energéticos existen básicamente tres estrategias que se pueden aplicar al campo del diseño y ejecución arquitectónica, y en particular en edificios de uso residencial-vivienda:

- Consumo energético durante la construcción del edificio
- Eficiencia energética del edificio
- Aprovechamiento de las condiciones locales que, evidentemente, quedan condicionadas al emplazamiento, su análisis e implicación en el diseño constructivo

El aprovechamiento de las condiciones locales dependerá de cada proyecto en particular, por lo que no se estudiará en el presente trabajo, pero los otros dos puntos son propios de la elección de un sistema constructivo u otro.

3.2.2.1. CONSUMO ENERGÉTICO DURANTE LA EJECUCIÓN

Al tratarse de un sistema muy industrializado, con materiales o incluso piezas enteras prefabricadas y muy ligeras, se produce una serie de ahorros que son muy interesantes y nada menospreciables:

- Ahorro energético debido a no ser necesaria la maquinaria auxiliar (solo en momentos puntuales) ni presentar grandes problemas de transporte
- Gran ahorro de agua al ser obra “seca”
- Montaje mucho más rápido que con sistemas convencionales, lo que implica menor tiempo de obra y, consecuentemente, menor impacto acústico y estético en el entorno.

Como se puede observar en la Tabla 3, el uso de madera como material de construcción supone menores gastos energéticos.

Tipo de construcción	Energía por área de muro colocada (MJ/m ²)	Energía para completar la construcción (MJ)	Energía para mantenimiento durante 40 años (MJ)
Estructura de madera con revestimiento de madera pintado	188	31.020	24.750
Estructura de madera con revestimiento de ladrillo sin pintar	561	92565	0
Doble ladrillo, sin pintar	860	141.900	0
Hormigón celular pintado	464	76.560	24.750
Estructura de acero con revestimiento de fibrocemento pintado	460	75.900	24.750

Tabla 3. Energía necesaria en la construcción y mantenimiento de diferentes tipos de paramentos verticales.

Nota: Los datos presentados en la tabla 3 se han tomado de un único estudio y deben tomarse sólo como indicadores comparativos entre los materiales.

3.2.2.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO

Hoy día es posible mantener unas buenas condiciones ambientales constantes y eficaces a base de un elevado gasto energético. Sin embargo, sería más conveniente hacerlo a costa del aprovechamiento eficiente de las características del sistema constructivo y los materiales que lo conforman.

La madera es un material termoaislante, con una baja conductividad térmica (0,12 kcal/hm°C en coníferas y 0,18 kcal/hm°C en frondosas). Esta característica tiene tres ventajas de gran importancia en la construcción con madera:

- Disminuye el efecto de los puentes térmicos en los frentes de forjado y mochetas de ventanas, manteniendo un nivel de aislamiento elevado incluso para condiciones climáticas muy extremas
- Tiene un comportamiento estable dimensionalmente a igualdad de humedad y temperatura externa
- Tiene un buen comportamiento en caso de incendio

El buen comportamiento térmico en las construcciones basadas en el entramado ligero de madera se debe a que la distribución de los pies derechos de los entramados verticales deja libre entre ellos 600 mm de anchura, con 140 mm de fondo, siempre para rellenar con un material aislante de baja densidad (más en forjados y cerchas donde se colocan unos 200 mm de aislamiento), por lo que el volumen de aislamiento es superior al de cualquier tipo de construcción tradicional. La estanqueidad de todas las partes de la estructura la asegura el revestimiento por medio de tableros estructurales contrachapados u OSB que uniformizan su superficie. Los tableros están específicamente diseñados para ello, por lo que sufren rigurosos controles de calidad. Además, en la cara exterior de estos tableros se coloca una lámina (conocida como corta-viento) que garantiza la impermeabilización y estanqueidad del aire, y permiten cierta difusión de vapor de agua (hacia la estructura, pero no hacia el interior de los recinto habitables).

Por todo ello, se pueden destacar las ventajas de este sistema constructivo frente a sistemas fraccionados en elementos estructurados de la construcción tradicional que permite en mayor medida las pérdidas de calor a través de sus uniones; no olvidando tampoco que la composición de los cerramientos resuelve de manera notable el aislamiento exigido a la envolvente, tanto por las posibilidades de colocación de abundante aislamiento como por el más que aceptable comportamiento térmico de la madera y derivados.

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

Ya que en condiciones normales de diseño no se prevén acristalamientos de gran superficie ni hay muros "no convencionales" de carácter bioclimático, el sistema de cálculo de la "Limitación de Demanda Energética" del CTE-DB-HE1 se podría realizar con la opción

simplificada. Como nos dice dicha norma en su artículo 3.2.1.2 la aplicabilidad de este método de cálculo queda condicionada por:

3.2.1.2 Aplicabilidad

1 Puede utilizarse la opción simplificada cuando se cumplan simultáneamente las condiciones siguientes:

- a) que la superficie de huecos en cada fachada sea inferior al 60% de su superficie;*
- b) que la superficie de lucernarios sea inferior al 5% de la superficie total de la cubierta.*

2 Como excepción, se admiten superficies de huecos superiores al 60% en aquellas fachadas cuyas áreas supongan un porcentaje inferior al 10% del área total de las fachadas del edificio.

3 Quedan excluidos aquellos edificios cuyos cerramientos estén formados por soluciones constructivas no convencionales tales como muros Trombe, muros parietodinámicos, invernaderos adosados, etc.

4 En el caso de obras de rehabilitación, se aplicarán a los nuevos cerramientos los criterios establecidos en esta opción.

Y el procedimiento de aplicación de dicha opción queda establecido en el capítulo 3.2.1.4:

3.2.1.4 Conformidad con la opción

1 El procedimiento de aplicación mediante la opción simplificada es el siguiente:

- a) determinación de la zona climática según el apartado 3.1.1;*
- b) clasificación de los espacios del edificio según el apartado 3.1.2;*
- c) definición de la envolvente térmica y cerramientos objeto según el apartado 3.2.1.3;*
- d) comprobación del cumplimiento de las limitaciones de permeabilidad al aire establecidas en el apartado 2.3 de las carpinterías de los huecos y lucernarios de la envolvente térmica;*
- e) cálculo de los parámetros característicos de los distintos componentes de los cerramientos y particiones interiores según el apéndice E;*
- f) limitación de la demanda energética:
 - i) comprobación de que cada una de las transmitancias térmicas de los cerramientos y particiones interiores que conforman la envolvente térmica es inferior al valor máximo indicado en la tabla 2.1;*
 - ii) cálculo de la media de los distintos parámetros característicos para la zona con baja carga interna y la zona de alta carga interna del edificio según el apartado 3.2.2.1;*
 - iii) comprobación de que los parámetros característicos medios de la zona de baja carga interna y la zona de alta carga interna son inferiores a los valores límite de las tablas 2.2, como se describe en el apartado 3.2.2.2;*
 - iv) en edificios de vivienda, limitación de la transmitancia térmica de las particiones interiores que separan las unidades de uso con las zonas comunes del edificio, según el apartado 2.1;**
- g) control de las condensaciones intersticiales y superficiales según el apartado 3.2.3.*

3.2.2.3. ANÁLISIS DE UN CASO

Para ser un poco más gráficos y con la intención de demostrar que este sistema cumple fácilmente con los estándares exigidos por la normativa, se han calculado los valores de transmitancia de un típico muro de fachada (Figura 26), para compararlos con los máximos exigidos por la norma. Además se ha comprobado que no sufre problemas de condensaciones, todo ello según CTE-DB-HE.

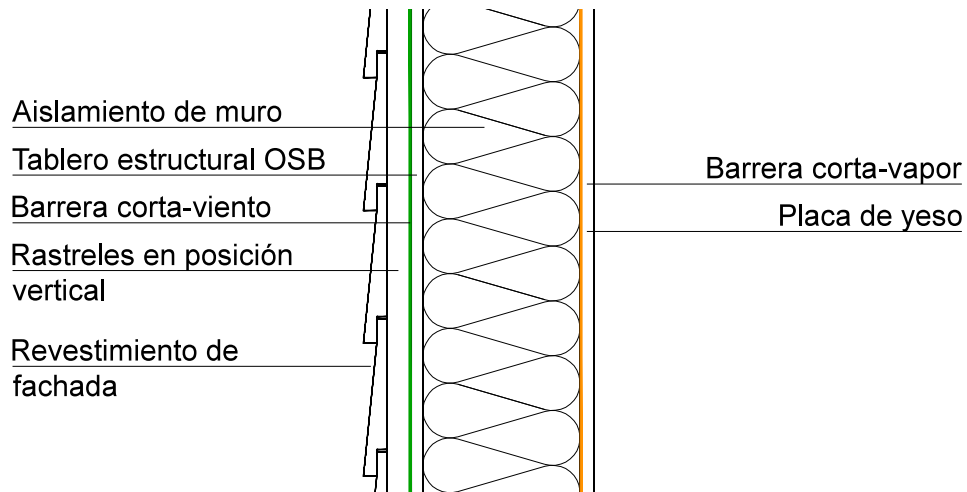


Figura 26. Composición de un típico muro de fachada.

A dicho muro de fachada se le han supuesto las siguientes hipótesis de partida:

- Localización geográfica mas desfavorable (zona climática E)
- Fachadas muy ventiladas bajo la cobertura exterior
- Despreciar los puentes térmicos a efectos de cálculo
- Uso del edificio residencial-vivienda (pudiendo existir otros usos subsidiarios)
- La permeabilidad al aire de las carpinterías, medida con una sobrepresión de 100 Pa, tendrá el valor $27 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ y siempre con carpinterías tipo A2
- La humedad relativa media mensual será siempre inferior al 80%. La máxima condensación acumulada en cada periodo anual (meses) no será superior a la cantidad de evaporación posible en el mismo periodo
- Todos los espacios interiores de la vivienda se consideran habitables, excepto el garaje, sala de instalaciones o almacén
- Todos los espacios habitables de la vivienda unifamiliar se consideran de baja carga interna, es decir, donde se disipa poco calor
- Todos los espacios de la vivienda unifamiliar son de clase higrométrica 3 o inferior, pues en ellos no se prevé una alta producción de humedad

➤ Cálculo de transmitancias

Material	Espesor (metros)	λ (W/m·K)	R (m ² ·K/W)
Revestimiento exterior formando una cámara de aire muy ventilada, que a efectos de cálculo no se considera	-	-	-
Lámina impermeabilizada y estanca al aire PEHD	0,001	0,500	0,002
Tablero de madera contrachapado u OSB	0,011	0,150	0,073
Manta de lana de vidrio	0,148	0,044	3,364
Lámina de polietileno para-vapor	0,001	0,500	0,002
Placa de cartón-yeso	0,015	0,250	0,060
Acabado de pintura plástica y acrílica	0,001	0,200	0,005
Parcial	0,177	-	3,506
R _{si} = 0,13 y R _{se} =0,04, según tabla E.1. del anexo HE 1E.1.1			
U=0,285 W/m² K			

Según el CTE-DB-HE1 la transmitancia máxima para fachadas situadas en la zona climática E es $U_{Mim}=0,57 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, por lo que se puede concluir que la fachada tipo del ejemplo se comporta excelentemente ya que tiene una transmitancia igual a la mitad de la máxima permitida.

➤ Cálculo de condensaciones

- Condensaciones superficiales

La comprobación de la limitación de condensaciones superficiales se basa en la comparación del factor de temperatura de la superficie interior (f_{Rsi}) y el factor de temperatura de la superficie interior mínimo ($f_{Rsi \text{ min}}$) para las condiciones exteriores e interiores del mes de enero, de tal forma que $f_{Rsi} > f_{Rsi \text{ min}}$.

Para una clase de higrometría 3 o inferior (uso residencial-vivienda) y zona climática E, la tabla 3.2 del CTE-DB-HE1 establece un valor $f_{Rsi \text{ min}} = 0,64$.

En cuanto al factor de temperatura de la superficie interior (f_{Rsi}), se calcula de la siguiente forma:

$$f_{Rsi} = 1 - U \times 0,25 = 1 - 0,285 \times 0,25 = 0,9287$$

Por tanto, en el muro tipo del ejemplo no se producirán condensaciones superficiales, dado que:

$$f_{Rsi} = 0,9287 > 0,64 = f_{Rsi \text{ min}}$$

- Comprobación de la limitación de las condensaciones intersticiales

La condensación intersticial es aquella que aparece en la masa interior de un cerramiento como consecuencia de que el vapor de agua que lo atraviesa alcanza la presión de saturación, a una temperatura dada, en algún punto interior de dicha masa.

No obstante, como todos los cerramientos planteados disponen de barrera para-vapor en la cara caliente del aislamiento térmico y los cerramientos en contacto con locales no habitados la tienen en la fría, no se exige comprobación de las condensaciones intersticiales, tal como se indica en el punto 3.2.3.2 del CTE-DB-HE1.

Como se deduce, tampoco serán las condensaciones las que supondrán un problema para las viviendas construidas con entramado ligero de madera.

Las casas de entramado ligero de madera proporcionan un confort ambiental excelente y no solo por el hecho de que aíslan térmicamente y evitan la formación de condensaciones intersticiales y superficiales. Además podemos afirmar que:

- La madera mantiene un equilibrio higroscópico con el medio, tomando o cediendo humedad hasta alcanzar el equilibrio. Por dicho motivo, la presencia de madera en una vivienda regulariza la humedad del medio interior.
- La madera es un material que presenta una buena absorción de las ondas acústicas, lo que se traduce en una reducción de la reverberación de las ondas sonoras y en una mejora del confort acústico interno de los edificios.
- El comportamiento de la madera frente a las radiaciones ionizantes es excelente.
- La madera y los productos fabricados con ella tiene una mínima distorsión del campo bioeléctrico natural y un equilibrio iónico que incide positivamente en la salud (usuario de la vivienda), evitando así los síntomas del llamado "edificio enfermo", como el stress, fatiga, resfriados, problemas respiratorios, etc.

3.3. CONSERVACIÓN DE LA MADERA

La conservación de la madera es un tema importantísimo ya que es un elemento fácilmente atacable y degradable, pero si se utilizan materiales con garantías y se ejecuta correctamente el sistema puede ser tan durable como si se hubiese ejecutado con la más resistente de las piedras, solo hay que ver los antiguos templos de Japón y las grandes iglesias de Noruega. Por ejemplo, en la iglesia de madera de Urnes (declarada patrimonio



Figura 27. Iglesia de madera de Urnes

de la humanidad en 1979, Figura 27) los análisis realizados a muestras de madera extraídas de la base del edificio indican que los árboles utilizados en su construcción fueron talados entre 1129 y 1131.

El control de la durabilidad en las estructuras de madera es un aspecto clave para hacerla competitiva frente a las estructuras de hormigón. Tradicionalmente, la durabilidad de las estructuras y componentes de madera

se basaba en una mezcla entre la experiencia y la buena práctica constructiva, en ciertas ocasiones formalizada en términos de reglas preceptivas y, por lo tanto, no podía ser especificada en términos cuantitativos. En cambio, actualmente lo que se persigue es el desarrollo de métodos de diseño para la durabilidad que sean capaces de predecir el comportamiento en un formato probabilístico y cuantitativo. A tal efecto se encuentra en estos momentos en desarrollo una primera guía llamada WoodExter.

3.3.1. Ataques a la madera

La condición esencial de la madera como material vivo, de naturaleza orgánica, exige el planteamiento riguroso de técnicas y tecnologías que permitan su durabilidad, efectividad y mantenimiento de las adecuadas propiedades físicas y mecánicas durante el mayor y más razonable espacio de tiempo.

Para una mejor conservación, la protección se planificará teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Conocimiento del medio y el clima en el que se encontrará la pieza de madera, así como la exposición y las sollicitaciones físicas a las que se verá sometida
- Elección de la especie adecuada
- Protección a través del diseño arquitectónico
- Elección del tratamiento idóneo

En el capítulo de “Durabilidad” del CTE-DB-SE-M, se divide entre ataques bióticos o abióticos sobre la madera, en función de los cuales establece medidas para garantizar la durabilidad.

3.3.1.1. ATAQUES BIÓTICOS

Los ataques bióticos son causados por diferentes organismos, entre los que se incluyen bacterias, hongos o insectos. Estos necesitan de ciertas condiciones para su desarrollo:

- Existencia de fuente alimenticia
- Condiciones de temperatura (entre 3° y 50°)
- Condiciones de humedad (entre 20% y 140%)
- Fuente de oxígeno suficiente para el desarrollo de microorganismos

Al existir las condiciones descritas, el ataque biológico es factible que ocurra, pudiendo producir alteraciones de importancia en la resistencia mecánica de la madera o en su aspecto exterior.

Los tipos de ataques bióticos son:

- **Hongos cromógenos.** Se alimentan de células vivas de la madera. Producen un cambio de coloración, pero en general no afectan a la resistencia (no altera la pared celular).
- **Hongos de pudrición.** Se alimentan de la pared celular, de lignina o celulosa, por lo que causan una severa pérdida de resistencia.

En un ataque de pudrición se suelen desarrollar muchos tipos de hongos, cada uno de los cuales actúa en un determinado intervalo de degradación, dependiendo si el hongo se alimentó de la lignina (pudrición blanca) o de la celulosa (pudrición parda).

- **Mohos.** Si bien no son agresivos estimulan la aparición los hongos de pudrición.
- **Insectos.** Se alimentan de celulosa y usan la madera para reproducirse. Estos pueden ser:
 - Los coleópteros xilófagos, agrupados en tres categorías:
 - los que atacan maderas parcialmente secas (< 18%), como los líctidos que no atacan a las coníferas
 - los que necesitan porcentajes de humedad (> 20%), como los cerambícidos
 - los que atacan a maderas secas, como la carcoma
 - Las termitas, que se alimentan de madera seca pero necesitan de humedad para su desarrollo.

El CTE clasifica en diferentes clases de uso dependiendo de la probabilidad que un elemento estructural sufra ataques por agentes bióticos y en función del grado de humedad que llegue a alcanzar durante su vida de servicio. Dependiendo de las clases de uso, el CTE indica el nivel de protección y el nivel de penetración del tratamiento aplicado en su tabla 3.1. (CTE DB-SE-M).

- **Clase de uso 1:** el elemento estructural está a cubierto, protegido de la intemperie y no expuesto a la humedad. En estas condiciones la madera maciza tiene un contenido de humedad menor que el 20%. Ejemplos: vigas o pilares en el interior de edificios;

- **Clase de uso 2:** el elemento estructural está a cubierto y protegido de la intemperie pero, debido a las condiciones ambientales, se puede dar ocasionalmente un contenido de humedad de la madera mayor que el 20 % en parte o en la totalidad del elemento estructural. Ejemplos: estructura de una piscina cubierta en la que se mantiene una humedad ambiental elevada con condensaciones ocasionales y elementos estructurales próximos a conductos de agua;

- **Clase de uso 3:** el elemento estructural se encuentra al descubierto, no en contacto con el suelo. El contenido de humedad de la madera puede superar el 20% Se divide en dos clases;

- **Clase de uso 3.1.** El elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y protegido, es decir sujeto a medidas de diseño y constructivas destinadas a impedir una exposición excesiva a los efectos directos de la intemperie, inclemencias atmosféricas o fuentes de humedad. En estas condiciones la humedad de la madera puede superar ocasionalmente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: viga que vuela al exterior pero que en su zona superior y testas están protegidas por una albardilla o piezas de sacrificio.

- **Clase de uso 3.2.** el elemento estructural se encuentra al exterior, por encima del suelo y no protegido. En estas condiciones la humedad de la madera supera frecuentemente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: cualquier elemento cuya cara superior o testa se encuentre sometida a la acción directa del agua de la lluvia, pilar que sin estar empotrado en el suelo guarda con éste una distancia reducida y está sometido a salpicaduras de lluvia o acumulaciones de nieve, etc.

- **Clase de uso 4:** el elemento estructural está en contacto con el suelo o con agua dulce y expuesto por tanto a una humidificación en la que supera permanentemente el contenido de humedad del 20%. Ejemplos: construcciones en agua dulce y pilares en contacto directo con el suelo;

- **Clase de uso 5:** situación en la cual el elemento estructural está permanentemente en contacto con agua salada. En estas circunstancias el contenido de humedad de la madera es mayor que el 20%, permanentemente. Ejemplo: construcciones en agua salada.

Clase de uso	Nivel de penetración NP (UNE-EN-351-1)	
1	NP1 ①	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas.
2	NP1 ②③	Sin exigencias específicas. Todas las caras tratadas.
3.1	NP2 ③	Al menos 3 mm en la albura de todas las caras de la pieza.
3.2	NP3 ④	Al menos 6 mm en la albura de todas las caras de la pieza. Todas las caras tratadas.
4	NP4 ⑤	Al menos 25 mm en todas las caras.
	NP5	Penetración total en la albura. Todas las caras tratadas.
5	NP6 ④	Penetración total en la albura y al menos en 6 mm en la madera de duramen expuesta.

① Se recomienda un tratamiento superficial con un producto insecticida

② El elemento de madera deberá recibir un tratamiento superficial con un producto insecticida o fungicida

③ Los elementos situados en cubiertas ventiladas se asignarán a la clase 2. En cubiertas no ventiladas, se asignarán a la clase 3.1, salvo que se incorpore una lámina de impermeabilización, en cuyo caso se asignarán a la clase 2. Asimismo, se considerarán de clase 3.1 aquellos casos en los que en el interior de edificaciones exista riesgo de generación de puntos de condensación no evitables mediante medidas de diseño y evacuación de vapor de agua

④ Las maderas no durables naturalmente empleadas en estas clases de uso deberán ser maderas impregnables (clase I de la norma UNE-EN 350-2)

⑤ Solo para el caso de la madera de sección circular (rollizo)

3.3.1.2. ATAQUES ABIÓTICOS

Los ataques abióticos, por el contrario, son aquellos producidos por agentes físicos. Dentro de esta categoría se pueden distinguir los siguientes tipos de ataques:

- **La degradación por la luz.** El espectro ultravioleta de la luz descompone la celulosa de la madera produciendo su degradación. La acción de la luz es lenta y, a medida que transcurre el tiempo, la degradación no aumenta dado que los primeros milímetros afectados sirven de protección al resto.
- **La humedad atmosférica.** Produce deterioro por los sucesivos cambios dimensionales.
- **Efecto hielo-deshielo.** La humedad contenida en las cavidades celulares se transforma a estado sólido, aumentando el volumen de las fibras leñosas de la madera en estado verde, produciendo un daño en la integridad física del material, lo que puede traducirse en la destrucción de las células ubicadas en la superficie.
- **Fuego.** Se trata de uno de los mayores agentes agresores de la madera que, además, puede comprometer la seguridad personal. Dada su importancia, se dedica un capítulo de este trabajo al comportamiento de la madera frente al fuego.

De los anteriores, descartando el fuego, la humedad es la que puede representar un mayor problema para la madera, pero siempre que el sistema esté convenientemente ejecutado su ataque a la madera no debería de suponer una mayor preocupación.

La primera medida a considerar es que la madera estructural tenga una humedad acorde

con el lugar de utilización. Como regla general, el contenido de humedad debe ser el correcto (inferior a 19-20%) y estar ventilada.

Los puntos delicados susceptibles de ser atacados por la humedad serán los siguientes:

- Frente a la humedad ambiental:
 - Tableros de cubierta
 - Prolongación de las cerchas como aleros de cubierta
 - Otros elementos expuestos a la intemperie en porches, vuelos, terrazas o pérgolas
- Frente a la humedad traspasada por materiales colindantes:
 - A través del suelo en elementos en contacto directo con este, como los postes
 - A través de los materiales de cimentación y muro de arranque: hormigón, cerámica, piedra, etc., que afectan al primer durmiente y primer forjado (viguetas y, a veces, vigas). Podrán aparecer otros elementos como postes sobre zapatas a través de elementos metálicos o también de hormigón
- Formación de condensaciones, solucionadas perfectamente por el sistema constructivo
- Aportes accidentales
 - Fugas desde instalaciones hidráulicas, con especial incidencia el acceso de termitas desde las redes de saneamiento
 - Cuartos y locales húmedos incluso mojados

Debido a que la transmitancia térmica de los cerramientos de entramado de madera rellenos de lana mineral de gran espesor son muy bajos, el riesgo de que aparezcan condensaciones superficiales es inexistente, incluso para las climatologías más desfavorables, independientemente de que se coloque una lámina plástica para-vapor en la cara caliente del aislamiento del cerramiento de la envolvente térmica.

Por otro lado, el comportamiento higroscópico de la madera y de la lana mineral es excelente, ya que en función de la humedad y temperatura ambiental absorbe o desprende agua en pequeñas proporciones. Siempre se tiene que evitar que la lana se humedezca demasiado, pues perdería propiedades térmicas y se degradaría.

Según el CTE en el apartado 3.2.2 del CTE-DB-SE-M:

- *El mejor protector frente a los agentes meteorológicos es el diseño constructivo, y especialmente las medidas que evitan o minimizan la retención de agua.*

- *Si la clase de uso es igual o superior a 3 los elementos estructurales deben estar protegidos frente a los agentes meteorológicos.*

- *En elementos estructurales situados al exterior deben usarse productos que permitan el intercambio de humedad entre el ambiente y la madera. Se recomienda el empleo de protectores superficiales que no formen una capa rígida permitiendo el intercambio de vapor de agua entre la madera y el ambiente. En el caso de emplear productos que formen una película como las pinturas y los barnices, deberá establecerse y seguirse un programa de mantenimiento posterior.*

3.3.2. Protección de la madera

Como se ha visto la madera es un material vulnerable, que si no se encuentra correctamente protegido puede ser atacado. En las casas construidas con el sistema de plataforma la madera es el material del que se compone la estructura y que debe de mantenerse en optimas condiciones a lo largo de la vida útil del edificio. Para protegerla existen dos vías complementarias: la protección a través del diseño y el tratamiento de la madera con productos protectores.

3.3.2.1. PROTECCIÓN DE LA HUMEDAD A TRAVÉS DEL DISEÑO CONSTRUCTIVO

Este punto se refiere al buen hacer constructivo. Se trata de una serie de medidas que deben de ser previstas desde el momento de la elaboración del proyecto. Los puntos débiles y susceptibles de ser el punto de entrada de un ataque se van a encontrar en las conexiones entre diferentes elementos, y dependiendo de lo bien que se solucione el encuentro el conjunto del edificio quedará más o menos protegido. Estos puntos son:

➤ Encuentro entre el primer forjado, la cimentación y la fachada

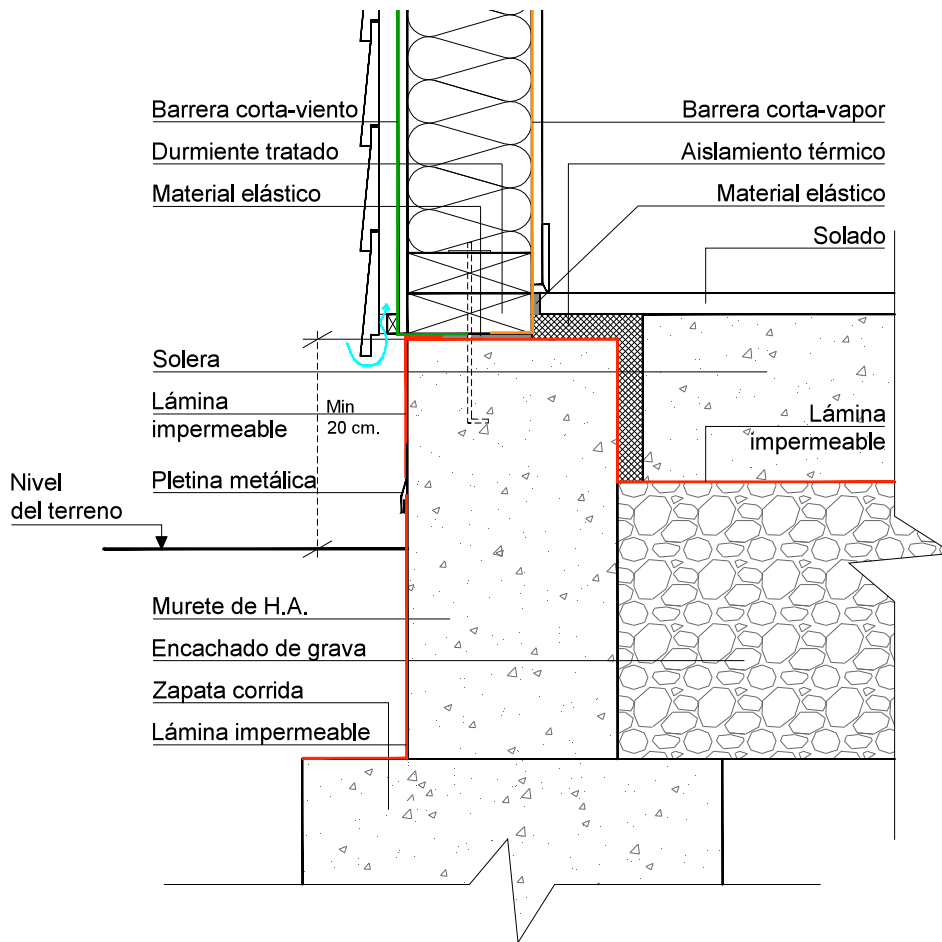


Figura 28. Encuentro entre el muro de fachada y la cimentación.

➤ Encuentro entre la ventana y la fachada

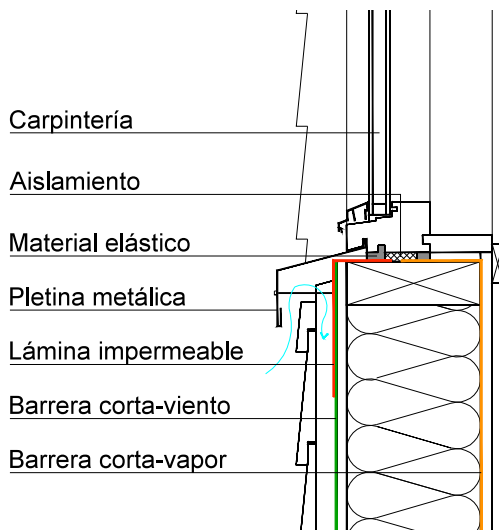


Figura 29. Encuentro entre la ventana y el antepecho.

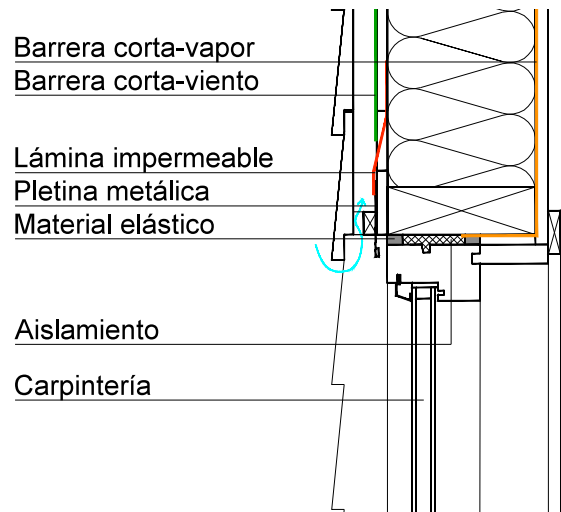


Figura 30. Encuentro entre la ventana y el dintel.

➤ Encuentro entre la fachada y la cubierta.

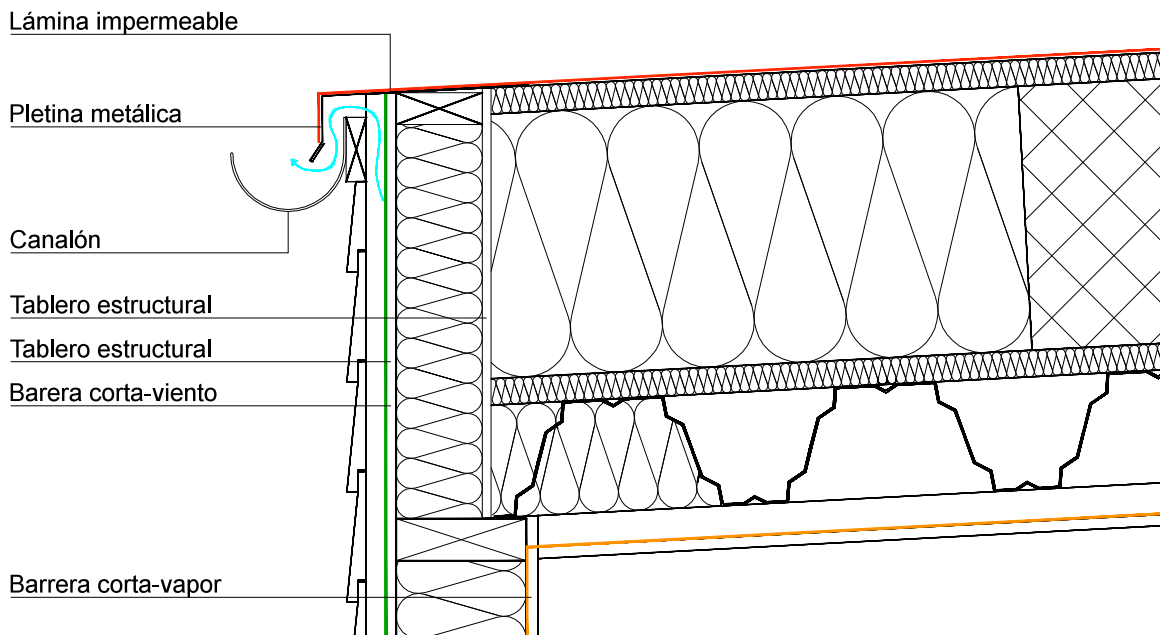


Figura 31. Encuentro entre el muro y el punto bajo de una cubierta a un agua.

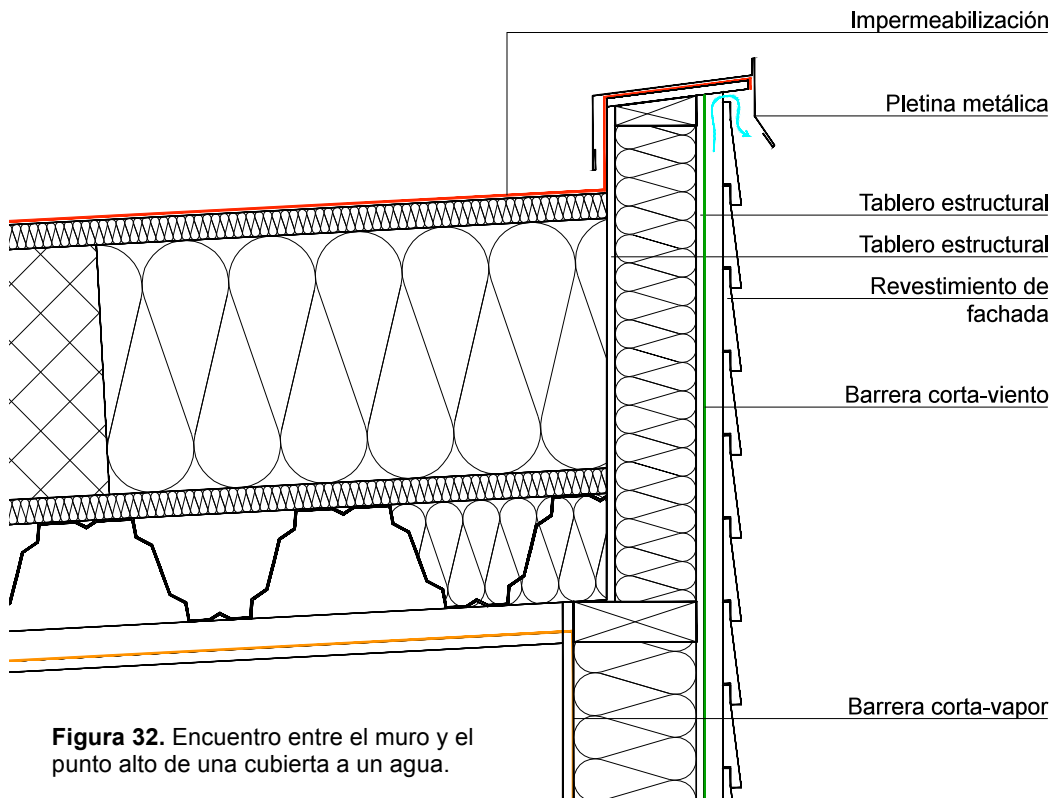


Figura 32. Encuentro entre el muro y el punto alto de una cubierta a un agua.

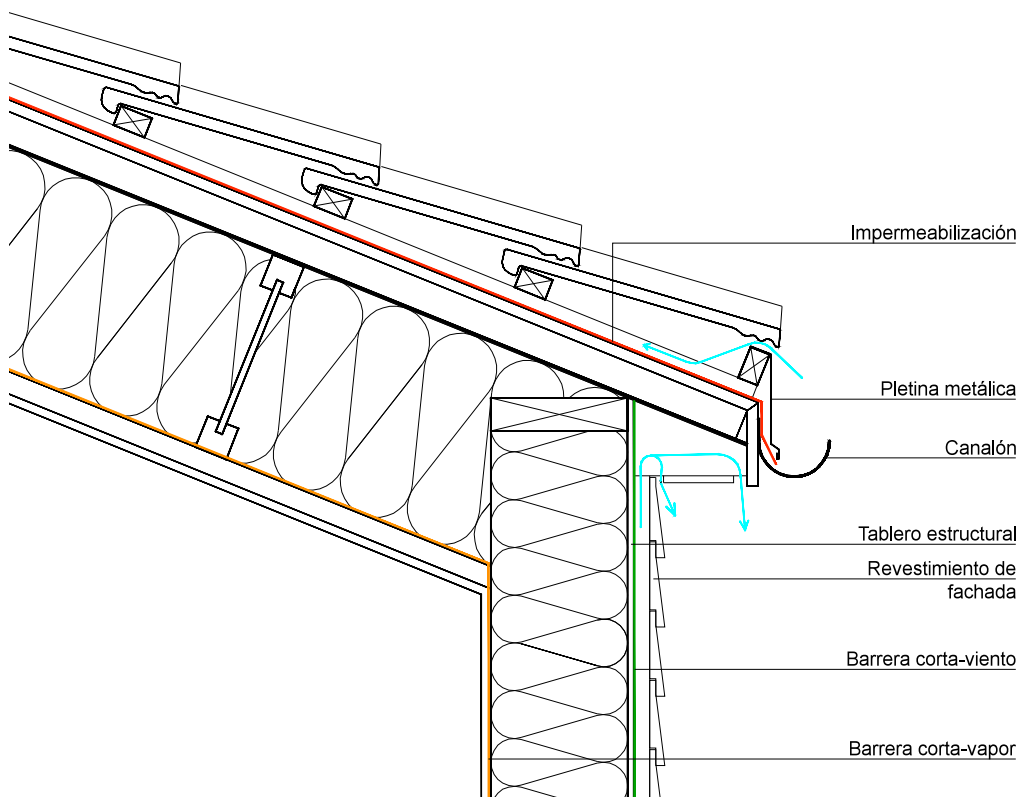


Figura 33. Encuentro entre el muro y la cubierta (caso cubierta a dos aguas).

Como se puede observar hay dos puntos importantes la estanqueidad y perfecto solape entre membranas y pletinas metálicas y la correcta ventilación de las cámaras de aire

3.3.2.2. TRATAMIENTOS DE LA MADERA

En el tratamiento de la madera se deben definir los requerimientos de durabilidad que son necesarios; es decir, si la madera elegida, teniendo en cuenta su emplazamiento final, tiene la capacidad para resistir el ataque de los diferentes agentes de destrucción. En caso de que por sí misma no sea capaz de resistir, es cuando debe plantearse qué tipo de tratamiento será el más adecuado.

En las construcciones basadas en el entramado ligero, las piezas de madera estructural están perfectamente protegidas de la intemperie y nunca en contacto con el suelo, por lo que en un principio no se necesita tratamiento protector alguno.

La existencia de dos láminas plásticas que envuelven totalmente el edificio (impermeable y estanca al aire por el exterior, y para-vapor al interior) implican una protección eficaz tanto contra los agentes abióticos (sobre todo la humedad) como contra los bióticos (barreras físicas).

En condiciones de riesgo bajo se encuentran los durmientes que están en contacto con el hormigón y, eventualmente, las cerchas cuando el bajo-cubierta esté ventilado en ambientes húmedos. En este caso podría incorporarse de forma preventiva y facultativa algún tratamiento.

Los tratamientos se realizan en origen, en planta especializada y en autoclave por el procedimiento de vacío-presión-vacío tanto con amonio cuaternario y cobre (ACQ por sus siglas en inglés) como con boratos. La profundidad necesaria irá en función de las necesidades según el protector, la madera y la clase de riesgo.

Un punto a tener en cuenta es que los protectores de la madera no sean elementos agresores para las fijaciones y los herrajes metálicos. Por ejemplo, cuando se utilicen impregnantes de cobre, las piezas metálicas serán imperativamente de acero doble galvanizado en caliente o inoxidable.

Mediante un sello aplicado directamente sobre la pieza, se identificará su tratamiento, así como la dosificación del producto por volumen de madera afectada, entre otros datos.

A continuación se clasifican los productos protectores de la madera según diferentes parámetros.

➤ **Por la acción preventiva que realizan**

Insecticidas. Protegen frente a la acción de los insectos xilófagos, destacan el tipo piretrinas o clorpirifos.

Fungicidas. Protegen frente a la acción de hongos xilófagos. Si es pudrición se emplean productos con contenidos de cromo, cobre y arsénico (CCA); cobre, azoles orgánicos (CA); cobres, azoles orgánicos y boro (CAB); cobre y amonios cuaternarios (ACQ) y boro. Si se trata de mancha azul, los productos más utilizados son el tribromofenato de sodio, quinolatos de cobre y carbendazimas.

Ignífugos o retardadores de fuego. Protegen frente a la acción del fuego convirtiendo la madera, un material combustible, en uno difícilmente combustible. En este grupo se distinguen los que impiden que llegue oxígeno a la madera durante algunos minutos y los que basan su acción ignífuga en que reaccionan con el calor, emitiendo sustancias que acaparan el oxígeno del aire, impidiendo que la madera se quemara.

Hidrofugantes. Protegen de la acción de la humedad, aumentando la resistencia a la penetración de agua exterior a la vez que facilitan la eliminación de la humedad interior.

Protectores de la luz. Pinturas con pigmentos metálicos que sellan la veta de la madera. Se mantiene la veta, oscureciéndola en algún grado.

➤ **Por el tipo de preservante**

Solventes orgánicos. Son los protectores que con mayor facilidad penetran en la madera, no producen manchas y son compatibles con la mayoría de los barnices de fondo y acabados, lo que hace que sean los más utilizados en la carpintería de terminación. Son aplicados a maderas secas por su característica de no otorgar humedad a esta.

Hidrosolubles. El disolvente es el agua. Se utiliza para el tratamiento industrial de maderas húmedas.

Creosotados. Son derivados del petróleo y la hulla, su penetración en la madera es dificultosa y además la mancha, haciendo incompatible la madera tratada con cualquier terminación a la vista.

➤ **Por el tipo de protección**

Protección preventiva. Productos que evitan que la madera pueda ser atacada por agentes destructores, entre los cuales se distinguen:

- Temporal: su eficacia preventiva se limita a un determinado tiempo. Generalmente los tratamientos superficiales como pinturas y barnices o el tratamiento antimancha de la madera entran en este grupo.
- Permanente: su eficacia preventiva es permanente, por lo menos duran varias decenas de años. El producto protector queda fijo en la madera independientemente de que sufra humedecimiento o secado. En este grupo están los tratamientos industriales de la madera a través de vacío-presión o vacío-vacío.

Protección curativa. En este caso la madera se encuentra atacada, por lo que la protección curativa pretende eliminar dichos agentes, como por ejemplo mediante el simple oreado o secado de la madera cuando el ataque que presenta es de hongos.

➤ **Por el alcance**

Tratamientos superficiales. Se caracterizan porque la penetración del protector en la madera apenas supera unos milímetros de profundidad. Son recomendables en la prevención de ataques superficiales como la mancha azul. No son indicados en los casos de ataques en profundidad, como es el caso de hongos a mediano y largo plazo, cuando vaya a estar expuesta a riesgos de humedades más o menos constantes, o del ataque de termitas, como es el caso de maderas situadas en el interior de la vivienda.

Estos tipos de tratamientos son aplicados mediante brochas, pulverizadores o inmersión rápida de la madera en un producto protector formado a partir de insecticidas y fungicidas.

La penetración de unos milímetros del producto químico es suficiente como para evitar los ataques superficiales. La profundidad del tratamiento va a depender del tipo de producto, fundamentalmente del tipo de disolvente, la mayor o menor penetrabilidad de la madera y de las condiciones de esta.

Tratamientos en profundidad. Son los más indicados cuando la madera está expuesta a humedad del exterior, o en contacto con el suelo o bien tenga el riesgo de ataques de termitas a pesar de estar en el interior.

Existen varios sistemas, entre los que destaca el *boucherie* o de sustitución de savia, en el cual se introduce la madera en un depósito por varios minutos para que el producto protector vaya ocupando la savia del árbol. Los productos utilizados son sales, que con la humedad de la madera y con el movimiento de la savia se introducen al interior por difusión. Este tratamiento se aplica a maderas que se utilizan en cierros y estacas en general.

Otro sistema es el caliente y frío, en el que se introduce la madera en un depósito con agua caliente por algunos minutos para abrir los poros, lo que facilita la entrada del producto protector y luego se introduce la madera por varias horas en otro depósito que contiene las sales protectoras. Este tratamiento es utilizado para postes, vigas y piezas que en general quedarán a la intemperie.

Existe un tratamiento en autoclave, el que por ser de carácter industrial es el único que puede garantizar su profundidad, las retenciones del producto protector y con ello su eficiencia. El autoclave es un sistema conformado por un cilindro de acero, una bomba de vacío y otra de presión. Con la bomba de vacío se extrae el aire de la madera conjuntamente con abrir los poros y con la bomba de presión se introduce el producto protector. Según la facilidad o dificultad de tratamiento y el tipo de producto utilizado, será diferente el vacío, la presión y el tiempo de cada una de las fases del tratamiento.

3.3.3. Control de calidad

Para conseguir que una construcción sea durable es fundamental hacerla de calidad. Para estar seguros de obtener la calidad esperada en el momento de acabar la obra, será necesario haber estado controlando en todo momento tres aspectos fundamentales:

- Control de todos los productos, equipos y sistemas en su recepción. Este control comprende:
 - Control de la documentación de los suministros
 - Control mediante distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad
 - Control mediante ensayos
- Control de la ejecución de la obra. Este control comprende desde la recepción conforme de un producto hasta el final de la obra, así que se comprende de:
 - Control del almacenaje
 - Control del montaje
 - Control de las uniones
 - Comprobación de los puntos críticos
 - Tolerancias de obra acabada
- Control de la obra terminada. Estas operaciones se refieren al mantenimiento del edificio. Son de gran importancia para asegurar un correcto funcionamiento de la construcción durante su vida de servicio. Dichas operaciones deben de quedar recogidas en el *Libro del Edificio* que se entregará al propietario y/o usuarios.

Todo este proceso y la manera como hacerlo queda recogido en el CTE, pero quizás sea más interesante acudir al capítulo “Ejecución, control y mantenimiento” del Documento de Aplicación del CTE *Guía de construir con madera*, ya que trata el caso particular de las construcciones con madera. En este se explica como actuar y qué pasos seguir en cada momento. Como ejemplo se adjunta en la Figura 34 donde se puede ver cómo hacer un correcto control de las uniones clavadas.

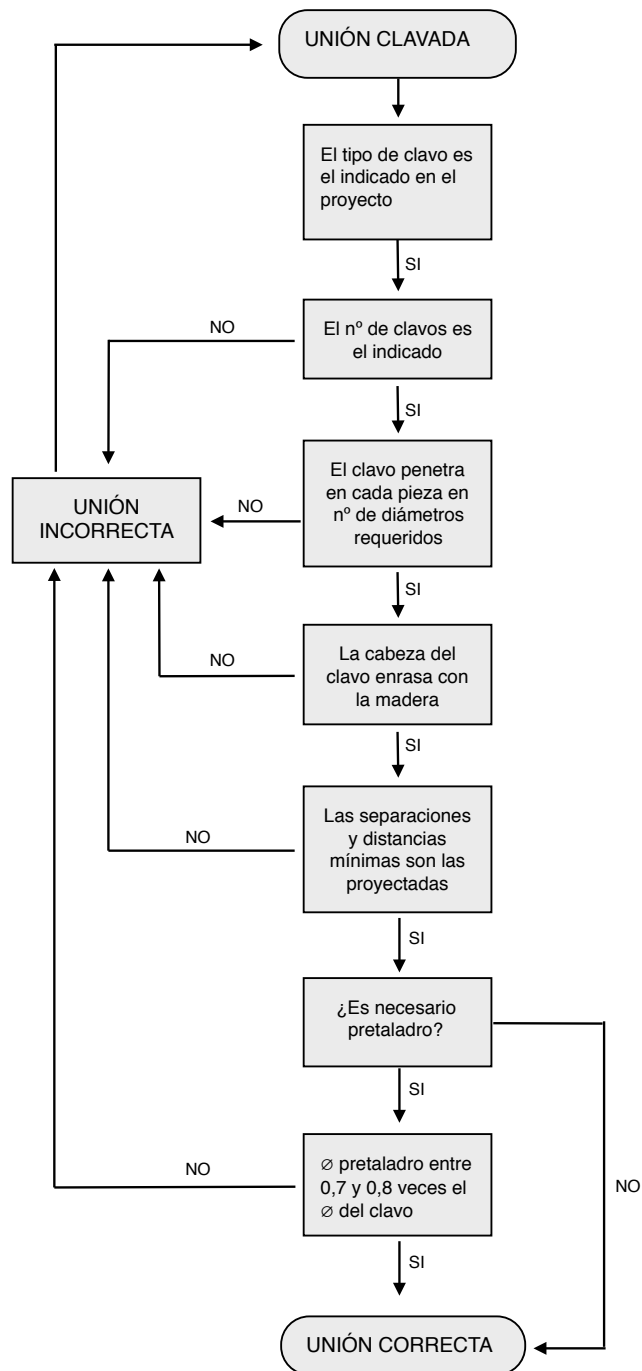


Figura 34. Forma de proceder para el control de las uniones clavadas.

Otro tema es el de la certificación de que una estructura se encuentra libre de ataques bióticos. En España, debido a la escasez de viviendas de madera se trata de una práctica poco habitual, pero en otros países existe una certificación de carácter voluntario que garantiza, mediante un exhaustivo examen de estas, que no existe patología alguna relacionada con ataques bióticos.

3.4. COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO

El tema del fuego es, casi con total seguridad, el punto más delicado de la construcción con madera, donde más prejuicios hay y la principal barrera a la hora de aumentar el uso de la madera para la construcción. Al ser un material inflamable es muy fácil pensar que existe un mayor riesgo de que se produzca un incendio, pero es importante remarcar que el riesgo es exactamente el mismo. La construcción o la estructura propiamente dicha de un local o un edificio contribuye muy poco al inicio del fuego, y más al estar protegida como lo está en el sistema de entramado ligero de plataforma. Este apartado demuestra que, correctamente diseñada y ejecutada, una casa de este tipo:

- Proporciona los tiempos de evacuación necesarios para que los integrantes de la casa puedan ponerse a salvo (siendo recomendables métodos de protección activa como detectores y rociadores)
- Permite que los bomberos entren con una cierta seguridad ya que, a pesar del daño que hace el fuego a la madera, su capacidad resistente se mantiene durante tiempo más que suficiente. También cabe destacar que su comportamiento y resistencia son relativamente previsibles, lo que permite, por ejemplo, intervenciones más seguras en casos de incendio.
- Permite “detener” la propagación del fuego, usando métodos conocidos como pasivos a través del diseño como el refuerzo de la resistencia al fuego de ciertos elementos estructurales y la compartimentación.

Además, existen métodos de protección de la madera que reducen la combustibilidad de esta en gran medida. A pesar de ello, lo que no se puede negar es que en este tipo de casas la carga de fuego existente es mayor y que los daños materiales pueden ser grandes.

3.4.1. Comportamiento de la madera

Aunque la madera es un material inflamable a temperaturas relativamente bajas, es menos peligroso de lo que en general se cree, sobre todo en sus aplicaciones estructurales.

Cuando la madera se expone a un foco de calor, su contenido de humedad disminuye en la zona directamente afectada al alcanzarse el punto de ebullición del agua. Este hecho es detectable por la sudoración que aparece en su superficie. Si el aporte de calor se mantiene hasta llegar a una temperatura aproximada de 270°C, comienza el desprendimiento de vapores que, en caso de seguir aumentando la temperatura, son susceptibles de arder. Este proceso, llamado pirólisis de la madera, produce su descomposición en gases según las temperaturas alcanzadas.

La madera y sus productos derivados están formados, principalmente, por celulosa y lignina, que, al ser compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, hacen de ella un material combustible. A pesar de su combustibilidad, si la madera no se somete a llama directa, ésta

no comenzará a arder hasta que no alcance aproximadamente los 400°C. Aun siendo expuesta a llama directa, no se producirá la ignición hasta que no llegue a temperaturas en torno a los 300°C.

Puede considerarse que la madera presenta un buen comportamiento sometida a un incendio en fase de pleno desarrollo debido a que su conductividad térmica es muy baja. Esto lleva a que la combustión, alimentada por el oxígeno, se desarrolle únicamente en la superficie de la pieza.

Tras la combustión de la superficie se origina una capa exterior carbonizada, que protege a otra capa interior contigua en la que se produce la pirólisis, manteniendo en todo momento la temperatura en el interior de la pieza, de modo que esta parte no se ve afectada por el fuego (Figura 35).

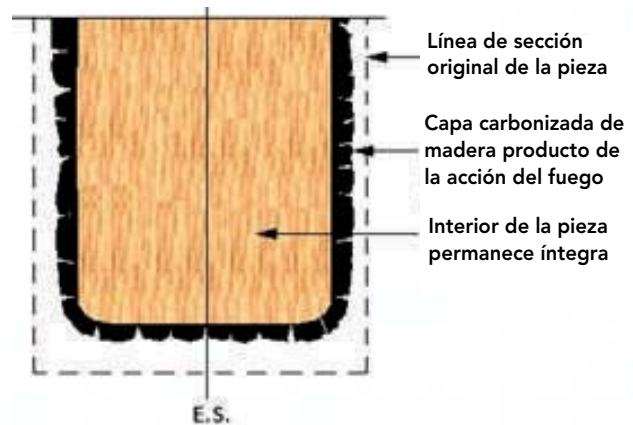


Figura 35. Cambios en la madera por la acción del fuego

La alta capacidad aislante de la capa carbonizada, del orden de unas seis veces superior a la de la madera a temperatura ambiente, permite que el interior de la pieza se mantenga a una temperatura mucho menor y con sus propiedades físico-mecánicas constantes (Figura 36). Así, la pérdida de capacidad portante del elemento se debe, principalmente, a la reducción de su sección y no tanto al deterioro de las propiedades del material. Esto nos lleva a una deducción muy útil y lógica: el aumento de la sección de la pieza aumenta su protección frente al fuego.

Ensayos experimentales en Alemania han demostrado que el efecto aislante de la capa de carbón de espesor 25 mm condiciona una temperatura del orden de 200°C en frente de carbonización, muy inferior a los 900°C que se pueden alcanzar en el ambiente del incendio. Lo interesante es que a una profundidad de 25 mm hacia el interior de la madera no carbonizada las temperaturas se reducen prácticamente a las existentes antes del inicio del incendio, por lo que sus propiedades mecánicas corresponden a las de la madera normal.

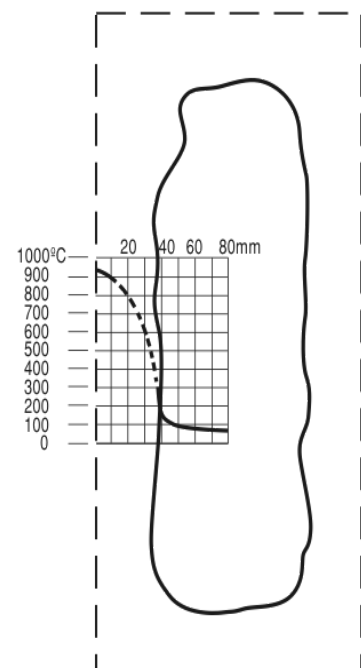


Figura 36. Desarrollo típico de temperaturas a través de una sección transversal de una viga, que ha sido sometida en un horno a temperaturas cercanas a los 1.000°C. Ensayo por parte de "The Swedish Finnish Timber Council" en 1981.

El comportamiento de la madera en caso de incendio puede variar dependiendo de distintos factores:

- La relación entre la superficie y el volumen de la pieza. Las secciones estrechas y con aristas vivas aumentan esta relación, conduciendo a un comportamiento frente al fuego menos favorable. Por ejemplo, en piezas de pequeña escuadría resulta más fácil la ignición y la propagación de la llama.
- La existencia de fendas. Las hendiduras en el sentido de las fibras de la madera incrementan los efectos del fuego. La madera laminada, que apenas contiene fendas, presenta una velocidad de carbonización menor que la madera maciza.
- La densidad de la madera. Las diferentes especies de madera se comportan frente al fuego de forma diferente en función de su densidad. Si la densidad es alta, comienza a arder con menos facilidad y la combustión es más lenta.
- El contenido de humedad. En edificación, la mayoría de las estructuras de madera presentan un contenido de humedad que varía entre el 8% y el 15% aproximadamente, lo que implica que por cada tonelada de madera deben evaporarse entre 80 y 150 Kg de agua antes de que entre en combustión. No obstante, este factor no se considera en la velocidad de carbonización debido a la poca variación del contenido de humedad que se da en la práctica.

3.4.2. Protección frente al fuego en el sistema de plataforma

Para defender del fuego una estructura de madera existen dos estrategias básicas. La primera de ellas, utilizando la madera como barrera física. Esto se puede hacer o sobredimensionando el elemento estructural (Ver apartado *Comportamiento de la madera* en este mismo capítulo) o bien interponiendo piezas de madera sin función estructural para parar el avance de las llamas y de los gases. Otra estrategia se basa en la ignifugación de la madera.

3.4.2.1. BARRERA FÍSICA: LA MADERA

En países donde los sistemas de entramado ligero de madera están más aceptados y donde hay más costumbre en su uso, los códigos especifican la disposición de estas barreras como una técnica de gran efectividad para la mejora de la seguridad frente al incendio de las construcciones entramadas de madera.

La madera juega un papel preponderante como material retardador en la propagación de llamas ya que por naturaleza es un buen aislante térmico y puede actuar, momentánea pero eficientemente, como una barrera física que impide la movilización de los gases y la propagación de las llamas.

Las barreras físicas o barreras de fuego corresponden a un conjunto de piezas y componentes de madera estratégicamente ubicados e incorporados en el interior de la estructura resistente y en elementos verticales autosoportantes de la vivienda. La función de los denominados “parallamas” es doble: Obstaculizan la ascensión o desplazamiento de gases tóxicos e inflamables a la vez que retardan el avance de las llamas y la propagación del fuego por el interior de los paneles a otros recintos.

➤ Elementos estancos al fuego: Cortafuegos

Las recomendaciones que se recogen a continuación son las propugnadas por la *National Forest Products Association*.

- Muros: en espacios ocultos y particiones a nivel de suelo y falso techo (Figura 37). Normalmente los testeros inferiores y superiores (dobles) y la vigueta de cabecero cumplen esta función de cortafuegos. La máxima dimensión vertical libre de montantes no debe exceder los 3 m.
- Encuentros entre falso techo y muros: interconexiones entre espacios ocultos horizontales y verticales como sofitos, falsos techos y techos curvos (Figura 38).

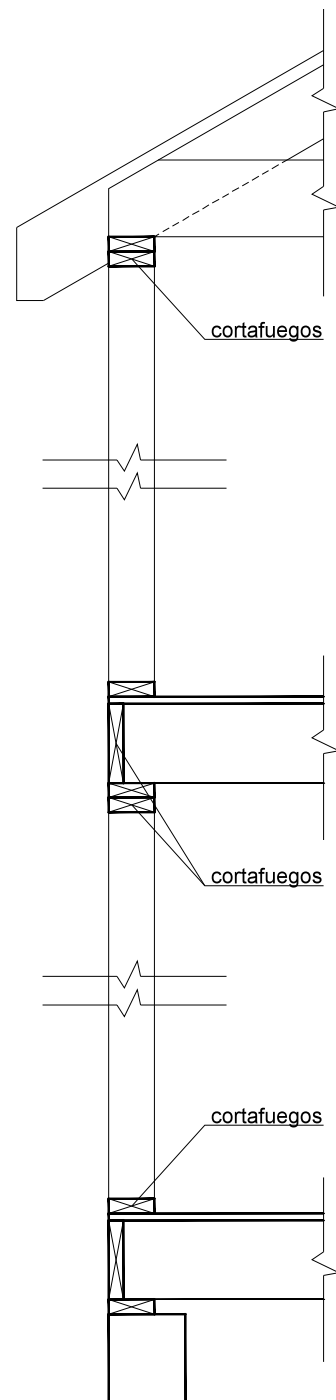


Figura 37. Elementos cortafuegos en muros de fachada.

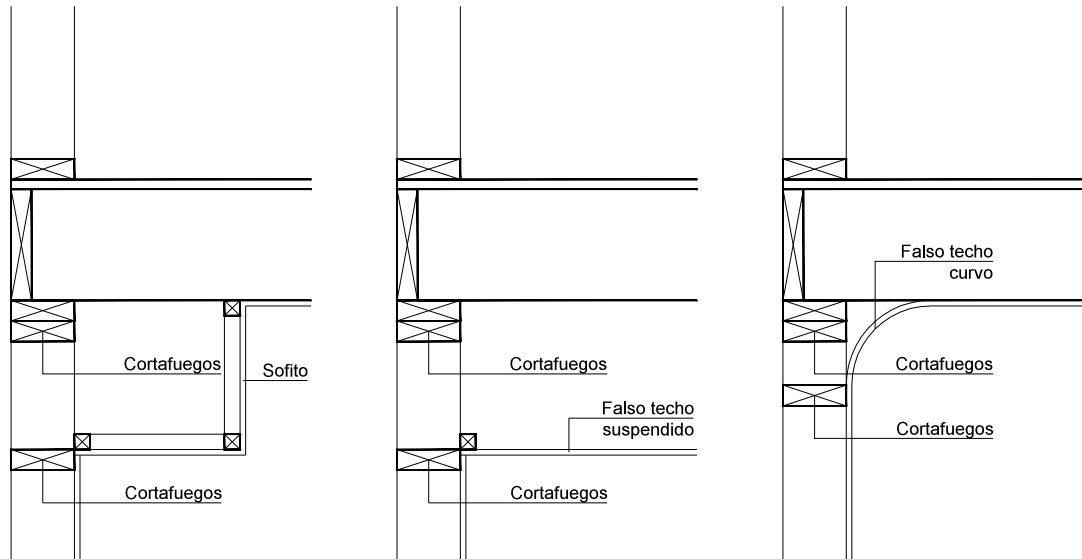


Figura 38. Elementos cortafuegos en los encuentros entre el falso techo y el muro

- Escaleras: espacios ocultos entre las zancas de las escaleras, arranques y desembarcos (Figura 39).

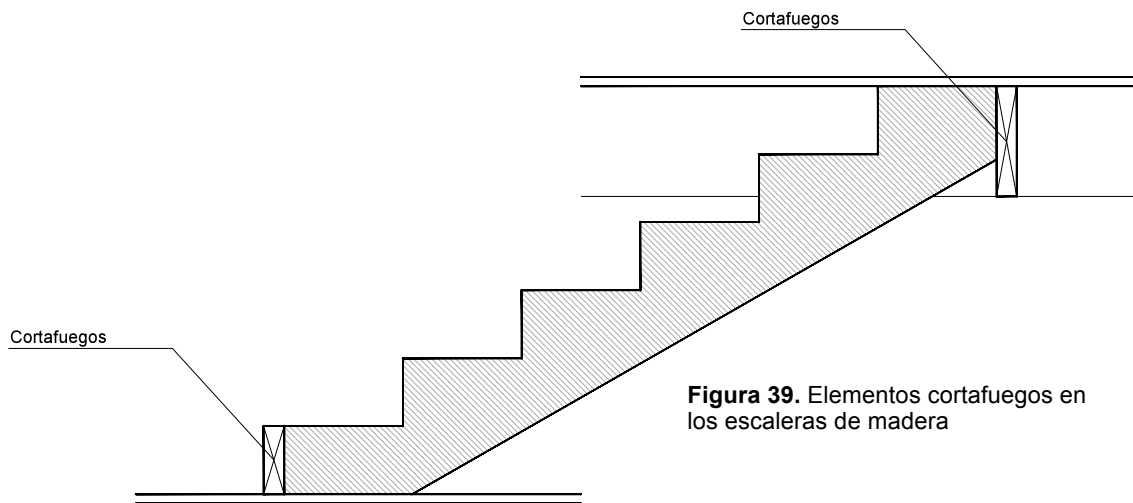


Figura 39. Elementos cortafuegos en los escaleras de madera

- Paso de instalaciones: debido a que la resistencia al fuego de la estructura del sistema de plataforma se delega prácticamente en la resistencia de los elementos de protección, todo paso de instalaciones a través de ellos se ejecutará teniendo en cuenta que estos merman la capacidad resistente de las protecciones (placas de yeso laminado, tableros, manta de lana mineral...). Así, todas las perforaciones que afecten a protecciones de elementos estructurales se protegerán con pasatubos, masillas o siliconas ignífugas con características de resistencia al fuego idóneas a las protecciones que atraviesan.

➤ **Elementos estancos a las corrientes de aire**

En viviendas unifamiliares de construcción entramada deberán disponerse barreras que eviten el tiro del aire en los espacios que dejan los falsos techos suspendidos o de viguetas con alma alveolada.

Estos elementos deben correr paralelos a los miembros estructurales principales en los forjados dividiendo espacios ocultos en áreas no superiores a 45 m² (Figuras 40 y 41).

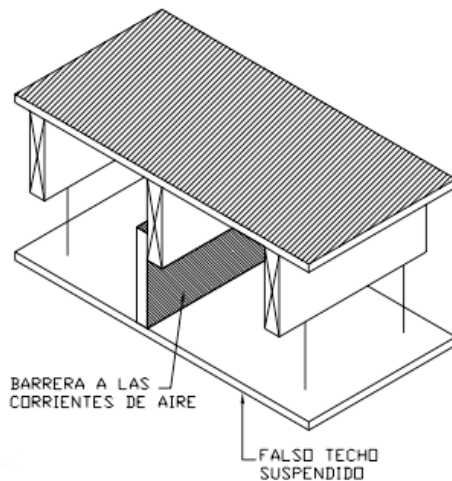


Figura 40. Barrera para evitar corrientes de aire en el caso de viguetas de madera aserrada

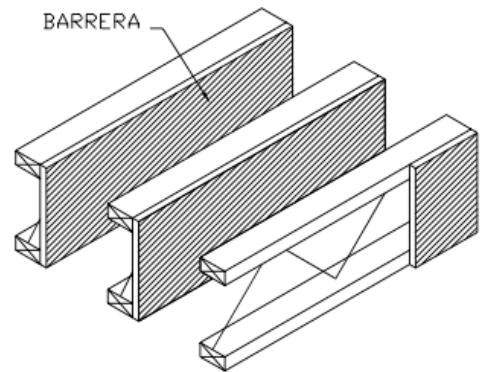


Figura 41. Barrera para evitar corrientes de aire en el caso de viguetas de celosía

En viviendas multifamiliares, deberán disponerse barreras de este tipo sobre las líneas de tabiquería (Figura 42).

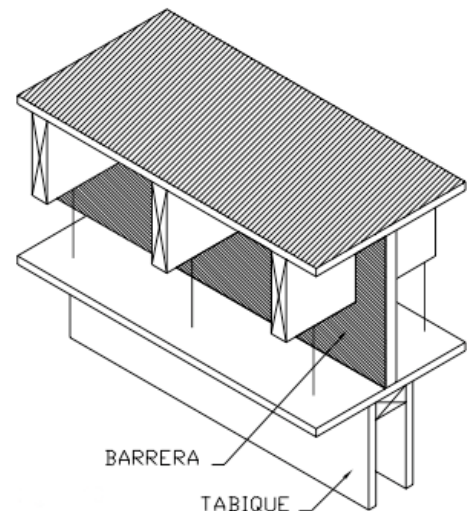


Figura 42. Barrera para evitar corrientes de aire entre diferentes viviendas.

Las cavidades de las cubiertas o buhardillas de viviendas unifamiliares no necesitan estos elementos. En viviendas multifamiliares (dos o más familias las barreras a los cerramientos de aire son exigidos en espacios bajo cubierta sobre la línea de medianería cuando los muros no suben hasta la cubierta (Figura 43). Esta condición queda superada por la exigencia de la normativa CTE-DB-SI sobre la constitución de sectores de incendio.

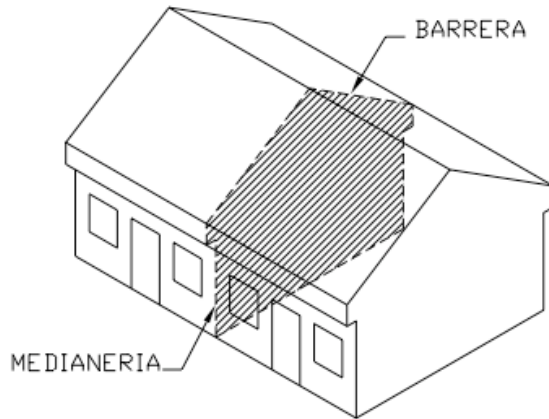


Figura 43. Barreras cortafuegos coincidentes con medianeras

3.4.2.2. IGNIFUGACIÓN DE LA MADERA

La reglamentación actual limita tanto la contribución al incendio y la inflamabilidad de los materiales de construcción como su capacidad de desprender humo o partículas de material incandescentes cuando dichos materiales arden. Estos factores determinan su clasificación de reacción al fuego.

La reacción al fuego se determina de acuerdo con la norma [EN 13823] y de acuerdo con esta los productos de la madera los productos de la construcción se clasifican según las siguientes clases o tipos, basado en:

- Combustibilidad (ver figura 44):
 - o A1: No combustible, sin contribución al fuego
 - o A2/: No combustible, sin contribución al fuego
 - o B: Combustible, contribución baja al fuego
 - o C: Combustible, contribución limitada al fuego
 - o D: Combustible, contribución media al fuego
 - o E: Combustible, contribución alta al fuego
 - o F: Sin clasificar



Figura 44. Grados de combustibilidad

- Producción de humo:
 - s1, velocidad y cantidad de emisión baja
 - s2, velocidad y cantidad de emisión media
 - s3, velocidad y cantidad de emisión alta

- Desprendimiento de gotas inflamadas:
 - d0, sin caída de gotas/partículas inflamadas. 600s de ensayo SBI (*)
 - d1, sin caída de gotas/partículas inflamadas durante más de 10s. 600s de ensayo SBI (*)
 - d2, si no se declara ningún comportamiento o si el producto:
 - a) no cumple los criterios de d0 y d1
 - b) inflama el papel en el ensayo de inflamabilidad (norma EN ISO 11925-2)

Según el DB-CTE-SI, la madera y los productos derivados de la madera sin tratar van a tener normalmente una clasificación de reacción al fuego D-s2,d0, dependiendo del tipo de madera, la densidad, el grosor y las condiciones de uso final del producto. Esto significa que se trata de un material o producto combustible con una inflamabilidad y una contribución al fuego relativamente altas (D), que produce una cantidad moderada de humo cuando arde (s2) y que no desprende gotas o partículas inflamadas en una fase inicial del incendio (d0).

Esta clasificación no es suficiente en muchos casos para cumplir los requisitos del CTE mediante la aplicación del DB-SI, dependiendo de la situación del material en el edificio (en techos, paredes o suelos de zonas ocupables, vías de evacuación protegidas, espacios ocultos, en fachadas...).

Sin embargo, mediante la aplicación de tratamientos ignífugantes puede mejorarse la clasificación de reacción al fuego de la madera, puesto que, al retrasarse el proceso de combustión, se reducen la inflamabilidad y la emisión de calor del material en caso de incendio. No obstante, esta mejora en la clasificación principal puede no corresponderse con la cantidad de humo producida que, al ralentizarse el proceso de combustión, tiende a ser mayor.

Se han realizado estudios que evalúan el comportamiento frente al fuego de la madera tratada con ignifugantes que ya existen en el mercado, en los que se han obtenido clasificaciones de reacción al fuego B y C en las muestras analizadas, así como índices de producción de humo s1 y s2. Las distintas clasificaciones obtenidas dependen de los parámetros antes mencionados (tipo de madera, densidad, grosor y condiciones de uso final) así como de las características del ignifugante aplicado.

Por otro lado, y de manera indirecta, al ralentizarse el proceso de combustión, la aplicación de tratamientos ignifugantes también puede incidir en el aumento del tiempo de resistencia al fuego de los elementos constructivos de madera, si bien este valor no parece modificarse significativamente y su incremento sólo podría cuantificarse mediante ensayo. La aplicación de ignifugantes no evita la descomposición y carbonización de la madera, siendo el espesor de la zona carbonizada muy similar en piezas tratadas y sin tratar. La mejora está asociada, como ya se ha comentado, a la reducción de la inflamabilidad y de la emisión de calor.

Los tratamientos ignifugantes de la madera se pueden clasificar según su mecanismo de actuación, por su composición o por el procedimiento de aplicación.

➤ **Según su mecanismo de actuación**

Los productos ignifugantes, con carácter general, pueden agruparse en los siguientes tipos:

- Se funden y recubren las partículas de madera. Estos ignifugantes, generalmente obtenidos a partir de boratos y silicatos, tienen temperaturas de fusión inferiores a la de la combustión de la madera. Al alcanzarlas, se adhieren a la pieza rellenando sus poros, evitando así la penetración del oxígeno hacia las capas interiores y la formación de gases inflamables.
- Se descomponen liberando sustancias que reducen la inflamabilidad. Dependiendo de la sustancia liberada durante el proceso de combustión, pueden diferenciarse los siguientes tipos de productos ignifugantes:
 - Liberan agua. Ciertos productos ignifugantes se caracterizan por la higroscopicidad de sus componentes, es decir, por su capacidad para absorber la humedad del ambiente. Ante el efecto de las altas temperaturas alcanzadas durante un posible incendio, se liberará el agua previamente absorbida junto con el agua de cristalización propia del producto. Así, la capacidad del ignifugante para disminuir la emisión de gases inflamables durante el proceso de combustión dependerá de su capacidad de absorción.
 - Liberan compuestos orgánicos. Existen productos que, mediante la reacción de sus componentes con la madera, generan compuestos orgánicos. Estos, al ser lo suficientemente estables a altas temperaturas, retrasan el proceso de combustión de la madera.

- Liberan gases no combustibles. Son productos que sometidos a altas temperaturas producen gases no combustibles. La presencia de estos gases no combustibles hace que, durante el proceso de combustión, disminuya la concentración de gases combustibles y, como consecuencia, la inflamabilidad. Estos ignifugantes suelen contener elementos halógenos como flúor, cloro, bromo y yodo.
- Forman espuma. Las pinturas y barnices intumescentes aumentan su volumen expuestos a altas temperaturas, generando una capa aislante en la superficie de la pieza. Durante el proceso de combustión, como ocurre con otros tipos de ignifugantes, estos productos liberan gases no combustibles, lo que hace disminuir la inflamabilidad.
- Colaboran en la carbonización de la madera. Algunos ignifugantes potencian la carbonización del material con objeto de incrementar el aislamiento que proporciona la capa carbonizada a las capas interiores de la pieza. Durante este proceso, el agente ignifugante puede aumentar la emisión de vapor de agua, disminuyendo la formación de gases combustibles y el riesgo de inflamabilidad.
- Forman película en la superficie de la madera. Son pinturas cuya capacidad ignifugante consiste en evitar el contacto de la capa externa de la pieza con el oxígeno, retardando así el proceso de combustión. La aplicación de estos tratamientos a los elementos de madera no sólo puede mejorar su clasificación de reacción al fuego sino también incrementar su resistencia.

➤ Según su composición

Puede decirse que los ignifugantes más utilizados para el tratamiento de la madera usada como acabado en espacios interiores son los compuestos a base de sales inorgánicas solubles en agua y obtenidos, generalmente, a base de fósforo, boro o cloro. Estos productos no son igual de efectivos cuando se aplican a madera expuesta al exterior ya que pueden perder parte de su concentración en sales por deslavado.

Tratada con ignifugantes a base de sales inorgánicas, la madera presenta una mayor higroscopicidad que sin tratar, es decir, su capacidad para acumular agua extraída del ambiente aumenta. Este incremento en el índice de humedad dependerá del tipo de madera, la sección de la pieza, los componentes químicos del ignifugante utilizado y la concentración de estos agentes químicos en el material.

La capacidad del elemento ignifugado para acumular agua se acusa especialmente si se encuentra en un entorno con humedad relativa alta. Cuando se prevea el uso de la madera en estas condiciones, será conveniente que la higroscopicidad del producto aplicado sea baja, con objeto de evitar posibles efectos adversos tales como formación de manchas o alteraciones en barnices aplicados con posterioridad.

Los productos compuestos por sales inorgánicas también pueden reaccionar con los

elementos metálicos no oxidables integrados en la construcción, por lo que deberá tenerse especial cuidado en el diseño y protección de fijaciones y anclajes.

Por otro lado, los ignifugantes que contienen elementos halógenos desprenden gases especialmente tóxicos durante la combustión, lo que obliga a utilizar en su composición sustancias que rebajen la toxicidad.

Otros ignifugantes, como los obtenidos a partir de compuestos orgánicos, al ser insolubles en agua, presentan un mejor comportamiento aplicados a la madera expuesta a un ambiente exterior. La resistencia de estos productos al deslavado es superior a la que ofrecen otros tratamientos. Ello no quita que también puedan producirse deslavados cuando la exposición a la intemperie del elemento ignifugado sea total o muy prolongada, aunque su efectividad seguirá siendo mejor que la de los productos compuestos por sales inorgánicas.

La aplicación de ignifugantes a partir de compuestos orgánicos, por su baja higroscopicidad, es recomendable en zonas con índices de humedad altos. Dentro de estos productos se encuentran, por ejemplo, las resinas obtenidas a partir de urea.

Con carácter general, algunos tratamientos ignifugantes, además de aportar sus propiedades retardantes, pueden ofrecer cierta protección ante el ataque de hongos e insectos.

➤ **Según el procedimiento de aplicación**

Se pueden establecer los siguientes métodos:

- Ignifugación en profundidad. La madera maciza puede ignifugarse en profundidad mediante un tratamiento aplicado en autoclave o bien mediante la inmersión en caliente de las piezas. Con el sistema de inmersión se consiguen unas profundidades de penetración del orden de 10 a 20mm, que son inferiores a las que se alcanzan con el procedimiento de autoclave. En todo caso, la penetración de los agentes ignifugantes dependerá, además del sistema utilizado, del tipo de madera, de su estructura interna de la madera y del contenido de humedad de la pieza.

El tratamiento tradicional de ignifugación en autoclave no se recomienda para su aplicación a determinados productos de madera como tableros de partículas, al valorarse los siguientes aspectos:

- Los agentes químicos del compuesto ignifugante pueden no ser compatibles con las características de los adhesivos utilizados como conglomerantes del tablero.
- El comportamiento estructural del tablero puede empeorar, tanto por la presión a la que es sometido durante el tratamiento como por la acción de los propios agentes químicos del compuesto.

Por esta razón, para la utilización de tratamientos retardantes en los tableros de partículas, el diseñador debería verificar los efectos de los mismos antes de su inclusión en el proyecto.

Con el fin de evitar las posibles incompatibilidades que se han mencionado anteriormente, en los tableros de partículas los productos ignífugos suelen añadirse a las partículas que lo conforman o, así como se hace que en los tableros de fibras de densidad media, al adhesivo.

En tableros contrachapados, así como en piezas de madera laminada, la ignifugación por vacío y presión se realiza previa al encolado mediante la impregnación de las chapas.

Cabe señalar que se están desarrollando nuevos sistemas de autoclave, como los prismáticos de carga superior, con objeto de mejorar el procedimiento utilizado tradicionalmente. Los avances introducidos podrían hacer que este método resultase adecuado para la aplicación de tratamientos ignífugos a un mayor número de productos de madera.

- Ignifugación superficial. El tratamiento superficial de la madera puede realizarse mediante la aplicación tanto de barnices y pinturas intumescentes como de sales inorgánicas disueltas en agua.

Los productos intumescentes se hinchan ante la acción del fuego formando una capa aislante que protege el elemento retrasando su combustión. La durabilidad de estos sistemas sólo puede garantizarse por un plazo de 5 a 10 años, transcurrido el cual deben renovarse. Existen barnices intumescentes transparentes que pueden utilizarse para proteger la madera manteniendo las características estéticas naturales del material.

La utilización de sales inorgánicas disueltas en agua y aplicadas a la madera mediante inmersión de la pieza o pulverizado es otra posibilidad de tratamiento superficial, aunque su eficacia no es muy elevada al ser reducida la cantidad de sales depositadas. Este tratamiento no debe aplicarse en madera expuesta al exterior ya que las sales son lavables.

✂ EJEMPLO DE TRATAMIENTO

Existen técnicas de protección contra el fuego un tanto curiosas. Por ejemplo el *Shou-sugi-ban* además de proteger contra el fuego protege frente a otros organismos destructores como los bióticos. Esta es una técnica de procedencia japonesa que se basa en un quemado superficial de la madera (actualmente utilizando sopletes de temperatura controlada) para proceder a continuación a un cepillado superficial, un lavado con agua, su posterior secado y para acabar dándole un impregnación de aceites naturales tipo Penofin, que ha de ser renovado cada cierto tiempo (un año, por norma general) (Figura 45).

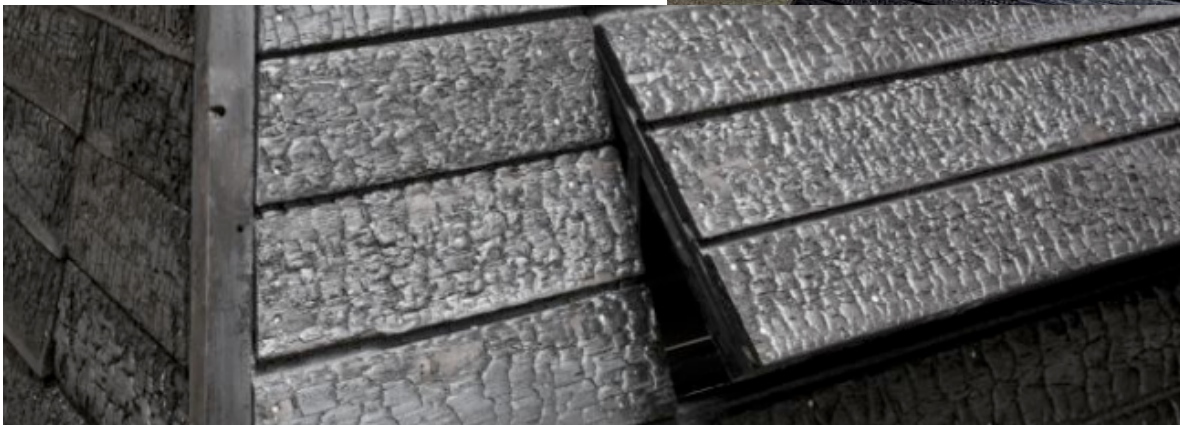


Figura 45. Raven Row, 56 Artillery Lane, Spitalfields, London E1 7LS.

3.4.2.3. OTROS MATERIALES EN EL SISTEMA DE PLATAFORMA

Además de la madera son necesarios muchos otros materiales para ejecutar este tipo de viviendas y su comportamiento frente al fuego influirá en el comportamiento global del edificio. A continuación se habla de las placas de revestimiento interior y de los aislantes, que después de la madera, van a ser los elementos que tengamos en mayor proporción.

➤ **Revestimientos interiores**

▪ Placa de cartón yeso

Se utiliza principalmente como revestimiento protector de muros, tabiques y cielos protegidos de la intemperie en proyectos de construcción de viviendas. Su principal característica es su flexibilidad e incombustibilidad, lo que lo convierte en un material recomendado para aplicaciones constructivas resistentes al fuego. El núcleo de yeso y el revestimiento de cartón le confieren convenientes cualidades de aplicación y manipulación.

En la actualidad se comercializan planchas de tres tipos:

- Plancha de yeso cartón con características estándar
- Plancha de yeso cartón con especiales características de resistencia al fuego
- Plancha de yeso cartón con especiales características de resistencia a la humedad

Para efectos de resistencia al fuego la plancha de yeso cartón tipo RF, posee mejores propiedades frente a la acción de las llamas, dado que en su fabricación se incorpora fibra de vidrio al núcleo de yeso para aumentar su resistencia. Estas fibras permiten retardar el colapso de las planchas sometidas al fuego, por lo tanto actúan como barrera efectiva, protegiendo en forma adicional las estructuras revestidas con ella.

▪ Planchas de fibrocemento

Como revestimientos de protección representan una buena solución para recintos húmedos como baños, cocinas, muros a la intemperie, ambientes salinos o alcalinos. Poseen propiedades impermeables, imputrescentes e incombustibles.

Es un material comercializado con formatos específicos, según requerimientos particulares de recintos húmedos o a la intemperie:

- Planchas de fibrocemento estándar: Son aquellas que en su superficie recibirán recubrimientos simples como pinturas o láminas vinílicas. Son aplicables como revestimiento de tabiques, especialmente donde se requiere incombustibilidad, y al mismo tiempo, resistencia a la humedad.
- Planchas de fibrocemento de alta densidad: aplicables en muros estructurales y ambientes con humedad constante y en zonas expuestas a la lluvia.
- Planchas de fibrocemento de superficie texturada: para recibir recubrimiento de terminación, por ejemplo, palmetas cerámicas e incluso enchapes de ladrillo.

Una de las aplicaciones más convenientes de las planchas es como barrera de protección bajo aleros de la estructura de techumbre, dado su poco espesor e incombustibilidad, en zonas donde está presente un vano de puerta o ventana.

En efecto, es precisamente en dichos lugares donde el fuego ataca y destruye con mayor violencia la estructura de una vivienda, debido principalmente a que los aleros presentan la permeabilidad necesaria (ventilación) para la rápida propagación de llamas hacia la estructura de techumbre (entretecho).

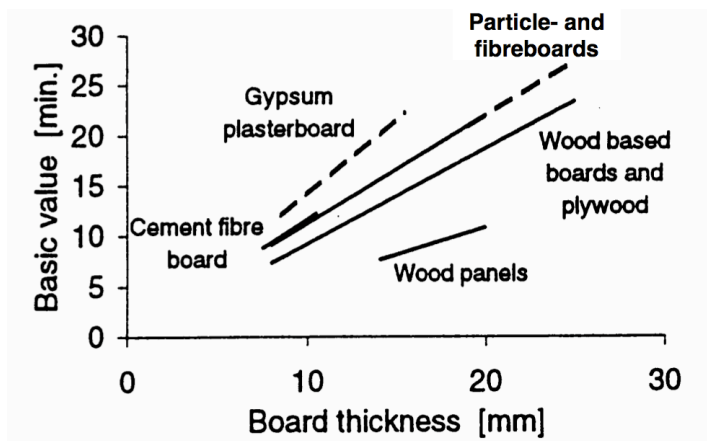


Figura 46. Aislamiento al fuego de diferentes revestimientos interiores

En la figura 46 se puede observar los valores de aislamiento frente al fuego que proporcionan diferentes revestimientos interiores en función de su grosor.

➤ Aislantes térmicos

▪ Poliestireno

El poliestireno expandido posee la ventaja de ser un material de muy bajo peso y relativamente económico. Además, bien protegido de la acción del calor, no reviste peligro inmediato para la estructura soportante de una edificación. Sin embargo, en contacto con el fuego, se consume casi instantáneamente, no sin provocar la aparición de llamas residuales de corta duración.

▪ Fibra sintética

Tiene un comportamiento similar al poliestireno expandido.

▪ Lana mineral

Es un material compuesto por fibras minerales blancas, largas y extra finas obtenidas al someter rocas ígneas con alto contenido de sílice a un proceso de fundición. Estas fibras son aglomeradas con resinas de tipo fenólico, formando colchonetas, rollos, bloques y caños premoldeados. Debido a su origen, la lana de fibra mineral es incombustible y no inflamable, por lo que tiene las características de material retardador del fuego. No emite gases tóxicos y posee baja conductividad térmica (del orden de 0,030 a 0,043 W/m °C a 20 °C).

- Lana de vidrio

Es un producto fabricado fundiendo arenas a altas temperaturas con alto contenido de sílice y con adición de otros componentes. Dado su proceso de fabricación, es un material capaz de soportar elevadas temperaturas en caso de incendio. Se puede afirmar que ayuda a retardar la propagación de las llamas.

En la figura 47 se puede observar los valores de aislamiento frente al fuego que proporcionan diferentes aislamientos térmicos, con los que se suele rellenar el espacio entre montantes en el sistema de entramado ligero, en función de su espesor.

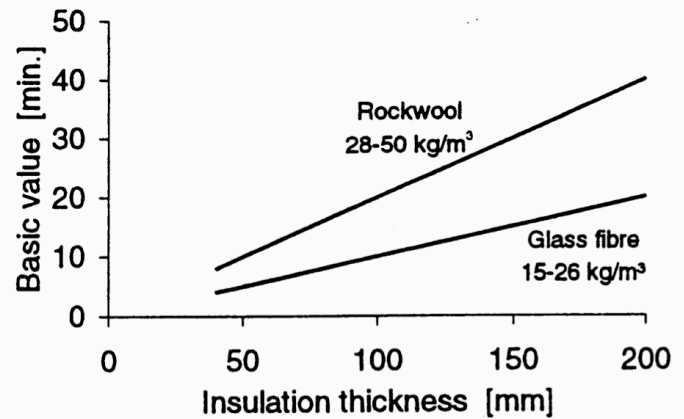


Figura 47. Aislamiento al fuego de diferentes revestimientos interiores

3.4.2.4. EJEMPLO TEÓRICO

Como ya se dijo en el apartado de comportamiento mecánico el uso de las estructuras de entramado ligero de madera suele estar restringida a casas unifamiliares aislados o adosadas con dos o tres plantas, como máximo, sobre rasante. Es por ello que se va a ver a través de un ejemplo teórico las exigencias que se le demandarían a una casa de este tipo.

➤ **Sección SI1**

- Propagación interior

En caso (lo más normal) de que la superficie construida de esta vivienda unifamiliar, no supere los 500 m² todo el edificio constituirá un único sector de incendios incluyendo el garaje, en caso de existir y siempre que no supere los 100 m², aunque se considerará local de riesgo especial bajo y de uso subsidiario y diferente al de residencial-vivienda (tabla 1.1 del CTE-DB-SI1).

Al ser el garaje un local de riesgo especial bajo, la resistencia al fuego de la estructura portante y de las paredes y techos que lo separan del resto del edificio se les exige una resistencia al fuego de 90 minutos. Además, la comunicación entre la vivienda y el garaje no deberá de hacerse a través de vestíbulos de independencia pero la puerta de comunicación con el resto del edificio será del tipo EI₂₄₅-C5 y el máximo recorrido hasta alguna salida del local no superará los 25 metros (tabla 2.2 del CTE-DB-SI1).

Al no existir compartimentación dentro de la vivienda y ser la altura inferior a tres plantas o diez metros, cualquier cámara no tendrá porqué ser estanca.

La resistencia al fuego de la estructura en el sistema de plataforma prácticamente queda encomendada a los elementos de protección, por lo que todo paso de instalaciones estará menguando la capacidad resistente de estos últimos. Así que todas las perforaciones que afecten a las protecciones de elementos estructurales deben de quedar protegidas con elementos que proporcionen una resistencia al menos igual al elemento que atraviesan.

En el caso de viviendas no se exige ningún comportamiento al fuego especial a los materiales interiores de la vivienda. Pero estos pueden coincidir con las protecciones de la estructura, como ocurre en el caso de utilizar placas de yeso para cerrar interiormente los entramados verticales. En la tabla 4.1 del CTE-DB-SI1 se detallan las clases de reacción al fuego de los revestimientos para techos paredes y suelos.

➤ **Sección SI2**

▪ Propagación exterior

En el caso de ser adosada, la vivienda unifamiliar del caso teórico, existirá una medianera de separación entre dos viviendas diferentes a la que tendrá que cumplir con una resistencia, al menos, EI 120.

A la fachada no se le exige resistencia alguna al fuego, a no ser que esta no se encuentre separada de la fachada de otra vivienda una distancia igual o superior a las indicadas en las figuras 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6 del CTE-DB-SI2 (dependiendo de la posición relativa entre las mismas). De no ser así, la resistencia al fuego de la fachada ha de ser EI-60. En el caso de la fachada de una vivienda unifamiliar aislada, seguro que cumple con las distancias mínimas antes mencionadas ya que habrá de estar separada un mínimo de 3 metros por temas de lindes.

La resistencia de la cubierta ligera de una vivienda unifamiliar será de 30 minutos mínimo.

En caso de viviendas adosadas, en una franja de 0,5 metros a ambos lados del muro medianera, la resistencia al fuego será EI-60 como mínimo, o bien, el muro medianera REI-120 sobresaldrá 60 cm por encima de la cubierta (medianeras con obra húmeda, por ejemplo).

Cuando una cubierta acometa a una fachada de otra vivienda, cualquier claraboya o lucernario estará a aquella distancia de la fachada de diferente vivienda que se le exija según la existencia de ventanas y a qué altura de la cubierta estén (ver apartado 2 del CTE-DB-SI2).

No se entra a valorar las secciones SI 3,(evacuación de ocupantes), SI 4 (detección, control y extinción del incendio) y SI 5 (intervención de los bomberos) ya que la elección del sistema estructural no supone ninguna diferencia a la hora de su aplicación.

➤ Sección SI 6

▪ Resistencia estructural al incendio

En este apartado se establece que un elemento estructural será resistente al fuego si y solo si

“durante la duración del incendio, el valor de cálculo del efecto de las acciones, en todo instante t , no supera el valor de la resistencia de dicho elemento”

En la práctica, para poder afirmar que un elemento estructural principal es resistente al fuego, podemos elegir dos caminos diferentes, según se especifica en el punto 3 “Elementos estructurales principales” de la sección SI 6 del DB-SI.

Se considera que la resistencia al fuego de un elemento estructural principal del edificio (incluidos forjados, vigas y soportes), es suficiente si:

- *alcanza la clase indicada en la tabla 3.1 o 3.2 que representa el tiempo en minutos de resistencia ante la acción representada por la curva normalizada tiempo temperatura,*
- *soporta dicha acción durante el tiempo equivalente de exposición al fuego indicado en el anejo B.*

La primera opción es más cómoda, pero más conservadora, ya que sólo toma en consideración dos parámetros: el tipo de actividad en el sector considerado y la altura de evacuación del edificio, pero no las demás particularidades que pueden hacer que el fuego previsible y su acción térmica sobre la estructura sean menos severos y que, por tanto, la resistencia al fuego que esta va a necesitar sea menor. Por ejemplo, una carga de fuego especialmente baja, unas condiciones de ventilación especialmente beneficiosas o la existencia de instalaciones de extinción no exigidas por la reglamentación, por ejemplo, detección automática o, mejor aún, rociadores.

Sin embargo, en las condiciones normales de diseño en viviendas unifamiliares, no se plantean instalaciones de protección contra incendios, por lo que el Tiempo Equivalente de Exposición al Fuego rara vez saldrá inferior a los indicados en las tablas del CTE. De ser así, podemos resumir que:

- en el caso de viviendas unifamiliares o adosadas pero con estructuras independientes la resistencia al fuego exigida para la planta sótano es R30, al igual que para las plantas sobre rasante (tabla 3.1),
- por el contrario si la estructura de las viviendas adosadas es compartida la resistencia al fuego exigida para la planta sótano es R120 y R60 para las plantas sobre rasante (tabla 3.2),
- para los elementos estructurales del garaje (riesgo especial bajo) se establece una resistencia R 90,
- la resistencia al fuego de la cubierta, y de los elementos que la sustenta, es R 30, ya que:

- se considera ligera,
 - no está prevista como salida ni recorrido de evacuación,
 - la altura de la cubierta con respecto la cota de rasante exterior es inferior a los 28 metros,
 - su desplome no afectaría a edificaciones cercanas ni a la compartimentación (al solo existir un sector de incendios)
- para los elementos estructurales secundarios se considera la misma resistencia que a los elementos principales, ya que pueden provocar daños personales o incluso comprometer la estabilidad general.

Después de lo visto podemos concluir que las resistencias al fuego que se nos piden para este caso particular son fácilmente alcanzables. La única que nos puede causar mayores dificultades es la medianera en viviendas adosadas. Es por ello que normalmente este elemento acaba haciéndose con un muro de hormigón o bien fábrica de ladrillo, bloque...

En el Anexo 1 se incluyen tres páginas de un documento técnico sobre la resistencia al fuego y al sonido de construcciones con estructuras de madera publicado por *Fonintek*, *Canada Mortgage and housing Corporation* y *The Quebec Housing Corporation*. Los valores de resistencia al fuego están obtenidos de acuerdo con el *National Building Code of Canada*.

3.5. COMPORTAMIENTO FRENTE AL RUIDO

Basándose en la teoría de la física acústica, el sistema de entramado ligero de plataforma no parece ofrecer, *a priori*, un buen aislamiento frente al ruido. El peso por metro cuadrado de una construcción es un parámetro decisivo para el aislamiento al ruido aéreo, especialmente para los sonidos con rangos de frecuencia más bajos (20-200 Hz). Un muro de entramado ligero de madera es casi diez veces más liviano que uno de doble hoja de ladrillo. Esto significa que, previo a cálculo alguno, debería de tener valores más pobres de aislamiento al sonido de bajas frecuencias.

El sonido de impacto que produce la gente andando es el mayor problema de aislamiento frente al ruido que se presenta en los forjados ligeros. Una importante diferencia entre el sonido de los pasos y otras fuentes de ruido es que los pasos producen un elevado grado de molestia acústica, incluso en bajas frecuencias.

Además del sonido, cuando la gente anda, corre o salta sobre un forjado ligero siempre existe riesgo de que se produzcan vibraciones y pequeños movimientos elásticos de la estructura que pueden resultar también molestos. Para mejorar el comportamiento vibratorio existen básicamente tres métodos: Aumentar la masa, aumentar la amortiguación y controlar la excesiva flexibilidad de la estructura.

El ruido de las instalaciones se encuentra en muchos casos dominado por las bajas frecuencias, por lo que serán necesarias consideraciones especiales para las construcciones con madera. Los equipos de instalaciones pueden provocar vibraciones con mayor facilidad en un forjado de madera que en el correspondiente de hormigón.

Así que podemos decir que el aislamiento frente al ruido se trata de un punto conflictivo y al que hay que prestar especial atención, del mismo modo como ocurría con el fuego. Aunque, como se verá a continuación, no quiere decir que no sea posible conseguir valores de confort adecuados ni los mínimos exigidos por la normativa.

Si se quiere conseguir un adecuado aislamiento acústico habrá que combatir todos los frentes del posible ataque. El CTE diferencia entre tres tipos de ruido:

- Ruido exterior
- Ruido interior
- Ruido de impacto

Y dependiendo del tipo de ruido y de que es lo que queda a cada lado del elemento separador, el CTE-DB-HR en su capítulo "*Caracterización y cuantificación de las exigencias*" nos define cuales serán las exigencias de aislamiento para cada caso.

En el CTE se ofrecen dos métodos de cálculo del aislamiento, la opción general y la simplificada. El problema es que la opción simplificada no considera como adecuados los forjados y techos que utiliza el sistema de plataforma, pues son ligeros, con una masa que

nunca alcanzará los 300 Kg/m² exigidos para utilizar este método. Los cerramientos verticales, en cambio, sí son considerados como válidos. Sin embargo, siempre que el forjado ligero no esté separando a dos usuarios diferentes o un usuario con salas de máquinas comunes, como es el caso de las viviendas unifamiliares aisladas y adosadas, el CTE-DB-HR permite el uso de la opción simplificada.

El aislamiento acústico de un entramado de madera aumenta proporcionalmente a su masa y a la elasticidad de los materiales que componen el elemento separador. A partir de esta premisa, a continuación se exponen métodos y maneras para conseguir aumentar el aislamiento frente al ruido de diferentes elementos constructivos siempre comparando y tomando como referencia los valores exigidos según el CTE-DB-HR.

3.5.1. Entramados horizontales

➤ Ruido de impacto

El CTE no exige aislamiento alguno al ruido de impacto a los forjados que se encuentran separando estancias de una misma vivienda, es decir, no es necesario cumplir ningún requisito de aislamiento frente al ruido de impacto en viviendas unifamiliares. En este caso, aunque no sea una exigencia normativa, será recomendable adoptar algunas soluciones para mejorar los niveles de confort acústico de la vivienda. Para el caso de forjados que separen a diferentes propietarios, el CTE-DB-HR en su artículo “2.1.2 Aislamiento acústico a ruido de impactos” marca como valor máximo para el *nivel global de presión de ruido de impactos*, L'nT,w, de 65 dB.

Las soluciones que ayudarían reducir el ruido de impacto podrían ser:

- La primera, y más fácil, sería colocar un material capaz de amortiguar los golpes directos. Es decir, colocar un pavimento como el corcho, la moqueta, el parquet flotante de madera o revestimientos de material plástico elástico. En la Tabla 4 se muestra el nivel de impacto en diferentes solados y en la Tabla 5 la mejora del aislamiento que aportan estos y otros revestimientos.

Tipo de suelo	Impacto sonoro
Corcho	12 dB
Linóleo	14 dB
Parquet	24 dB

Tabla 4. Impacto sonoro al caminar sobre diferentes tipos de suelo (zapatos con suela de cuero)

Elemento constructivo	Mejora en aislamiento en dBA
Plástico (PVC, amianto, vinilo)	2
Plástico sobre corcho	6
Plástico sobre fieltro	7
Parque de corcho	8
Plástico sobre espuma	10
Flotante de hormigón sobre poliestireno expandido	11
Moqueta	16
Flotante de parquet	18
Moqueta sobre fieltro	20
Moqueta sobre espuma	22
Tablero de 16 mm + polietileno expandido 30 mm	4-6
Tablero de 16 mm + lana mineral 20 mm	9

Tabla 5. Mejora del aislamiento al impacto en determinados tipos de pavimentos

- Colocar un material elástico entre el solado y la estructura. Una muy buena opción en los casos en los que se vaya a colocar parquet o tarima sobre rastreles es utilizar rastreles mixtos resilentes, formados por una capa inferior (de apoyo) de corcho-caucho, y una superior de madera (Figura 48). Para mejorar aún más el comportamiento se puede colocar material absorbente entre los rastreles (Figura 49). El problema de estos suelos flotantes es que este sistema atenúa el ruido de impacto a frecuencias medias y altas, siendo poco efectivo a frecuencias bajas. Este sistema garantiza reducciones de 10-20 dBA según el tipo de piezas, espesores y existencia o no de relleno de lana mineral entre rastreles.

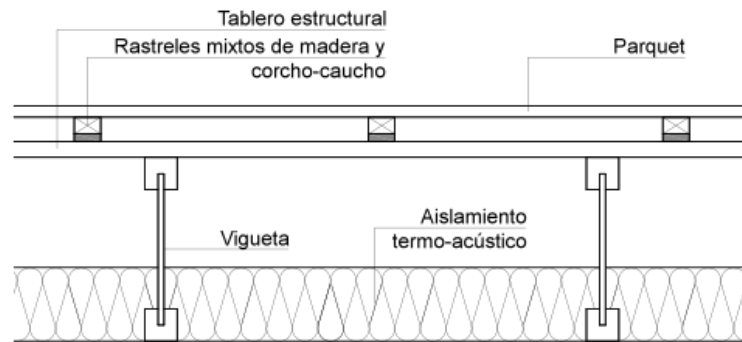


Figura 48. Parquet colocado sobre rastreles resilientes

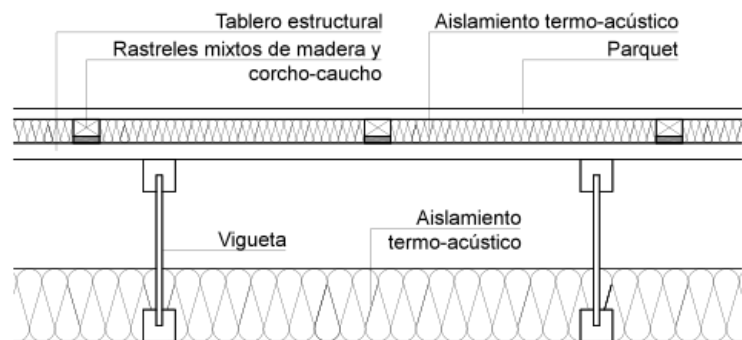


Figura 49. Parquet colocado sobre rastreles resilientes y aislamiento termo-acústico entre ellos.

- Otra opción sería la colocación de una capa más pesada, de mortero u hormigón ligero sobre el material resiliente y una lámina plástica impermeable. Esta opción para viviendas unifamiliares podría resultar excesiva aunque funciona excelentemente para frecuencias bajas.

➤ Ruido aéreo

Tal como ocurría en el caso del ruido de impacto, el CTE tampoco exige ningún tipo de aislamiento al ruido aéreo en forjados que se encuentran separando estancias de una misma vivienda. No es así para elementos de separación horizontal entre diferentes usuarios, en este caso el CTE-DB-HR en su capítulo “Aislamiento acústico a ruido aéreo”, nos exige 45 dBA de aislamiento como mínimo.

Para aislar del ruido aéreo los entramados horizontales también existen una serie de medidas que, aplicándolas, nos proporcionarán mayor confort acústico:

- Rellenar el espacio entre las viguetas con material absorbente
- Reducir el puente acústico que suponen las viguetas. En contraposición con las viguetas de madera de sección rectangular, tendrán mejor comportamiento las viguetas en doble T con alma de tablero (tienen un canal de transmisión acústico más delgado y menos homogéneo) y las viguetas de celosía (sobre todo si llevan relleno absorbente)

- Forjados independientes o cielorrasos. Aquí existen básicamente tres opciones, con sus variantes:
 - o Placa de yeso directamente a la estructura
 - o Placa de yeso sobre rastrel fijados a la estructura. Hay múltiples opciones en la elección del método de rastrelado para la colocación del cielorraso que nos darán muy diferentes resultados. Estos pueden ser de madera (simples o dobles, resilientes o no) o metálicos que poseen mejor comportamiento y pueden utilizar elementos de cuelgue regulables (que incluso pueden incorporar elementos flexibles que rompen los puentes acústicos)
 - o Placa de yeso fijada a una estructura desfasada e independiente con la única misión resistente de servir de soporte a las placas de yeso

Las placas de yeso pueden ser simples, dobles o incluso triples. Siempre será preferible doblar una placa que colocar otra de mayor espesor ya que nos interesará que la frecuencia crítica de la placa sea lo más alta posible, y cuanto mayor es el espesor más baja es la frecuencia crítica. Además, se pueden utilizar placas de yeso con propiedades acústicas mejoradas.

- Mediante la colocación de solados con buen comportamiento acústico y uso de suelos o losas flotantes, como en el caso del ruido de impacto.

En el Anexo 2 se adjuntan dos páginas del catálogo de un tipo de vigas en I patentado por Jager, un fabricante canadiense de productos de madera. En este catálogo, entre otra información, se proporcionan datos sobre el aislamiento acústico de diferentes composiciones de forjados. Los valores recogidos en dicho anexo se pueden contrastar con aquellos que se ha apuntado que exige el CTE y comprobar así que son alcanzables con el sistema de plataforma.

También se recomienda echar un vistazo al Anexo 1 en el que además de valorar la resistencia al fuego de diferentes elementos constructivos con entramado ligero de madera se indica su resistencia al ruido aéreo y de impacto. Los valores proporcionados no tienen en cuenta el aporte del solado.

3.5.2. Entramados verticales

➤ Tabiquería interior

En este caso el CTE sí que marca un mínimo de aislamiento aunque el elemento separador diferencie dos estancias de una misma vivienda, indicando en su capítulo “Aislamiento acústico a ruido aéreo” que el índice global de reducción acústica de la tabiquería no será menor de 33 dBA.

Así como sucedía en el caso de los forjados, los tabiques tampoco tienen un comportamiento acústico demasiado bueno. Se puede observar en la siguiente tabla si se compara, por ejemplo, con la tradicional pared de ladrillo hueco. Obsérvese también la notable diferencia de peso tan condicionante de las propiedades acústicas (Tabla 6).

Elemento	Espesor (cm)	Masa unitaria (kg/m ²)	Aislamiento acústico (dB)
Pared de ladrillo macizo	11.5 – 24	242 - 444	46 – 55
Pared de ladrillo hueco	11.5 – 24	202 – 364	43 – 52
Pared de bloque de hormigón	14 – 19	225 - 270	44 - 47
Pared de hormigón armado	14 – 18	350 – 450	51 – 55
Pared de entramado de madera	10 – 13.8	18	30 – 40

Tabla 6. Aislamiento acústico de diferentes tipos de muros

No obstante, existen medidas para mejorar el comportamiento acústico de estos elementos como puede ser el hecho de doblar con más paneles de cartón-yeso o aumentar el espacio libre interior entre los paneles de cartón-yeso. También puede influir el tipo de unión de las placas a la estructura portante del tabique. Lo más fácil sería clavarlos directamente, pero se experimentan mejoras sustanciales añadiendo rastreles de madera colocados horizontalmente (reducción del puente acústico), resilientes metálicos y mixtos metal-caucho-goma y madera-caucho-goma. La separación entre montantes también es condicionante del aislamiento, ya que cuanto más separados se encuentren menor puentes acústicos habrán.

En la Tabla 8 se muestra de manera clara los beneficios que aportan la utilización de las diferentes medidas antes expuestas. En la Figura 50 se puede observar el esquema de composición de los entramados de la Tabla 7.

Elemento	Cavidad hueca			Material absorbente		
	1+1	1+2	2+2	1+1	1+2	2+2
1. Montantes de madera de 2x4"	33	41	43	36	44	46
2. Montantes de madera de 2x4" con tira metálica resiliente en un lado	40	45	51	48	52	54
3. Montantes de madera de 2x4" con tiras metálicas resilientes en dos lados	40	46	52	49	52	55
4. Montantes de madera desplazados de 2x4"	41	47	52	50	53	55
5. Doble hilera de montantes de madera separados 25mm entre sí	46	52	57	57	60	63

Tabla 7. Valores típicos de aislamiento en muros formados por diferentes capas de tablero de yeso de 12 mm

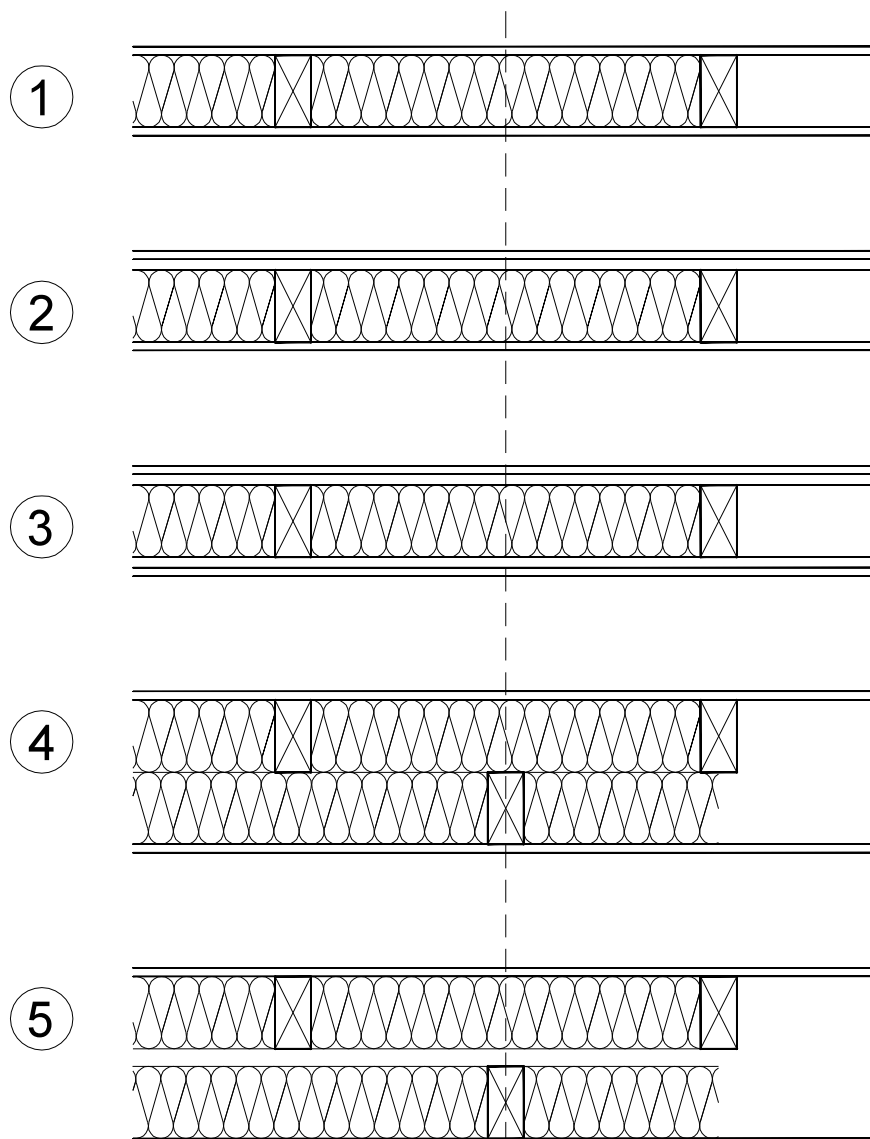


Figura 50. Esquema de los entramados de la tabla 8

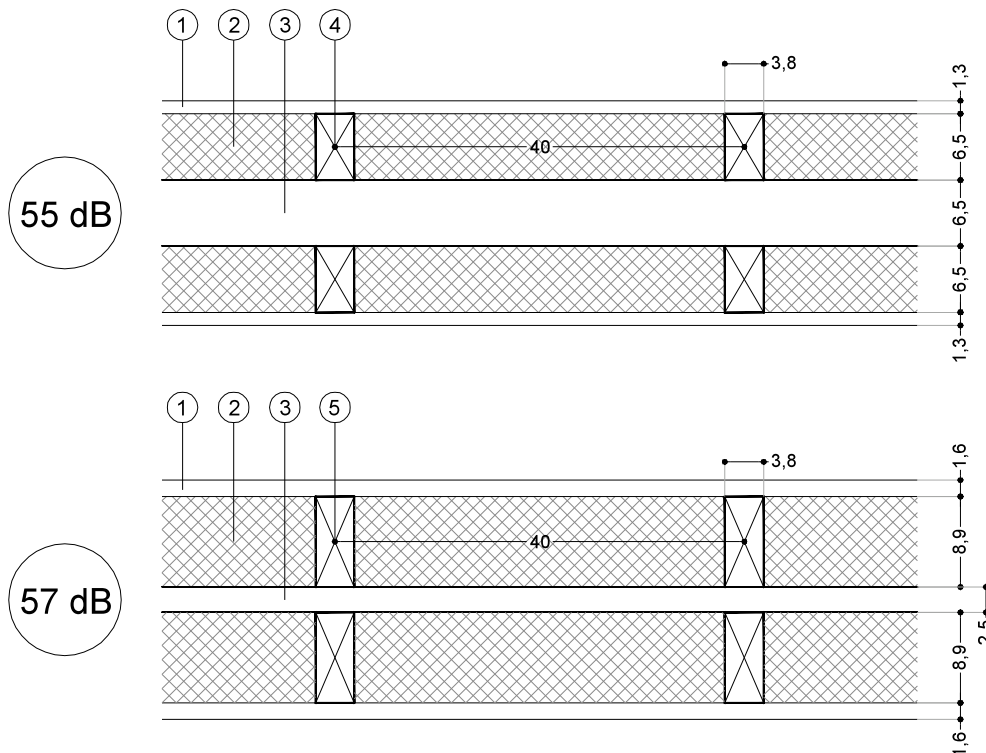
➤ Medianeras

Como se viene diciendo, el sistema de plataforma es ideal para utilizarlo en el caso de viviendas aisladas o adosadas. En el caso de tratarse de una vivienda aislada no existirá medianera alguna, pero en el caso de viviendas adosadas sí que nos encontramos con este elemento.

En el anexo I del CTE sobre viviendas adosadas, para la aplicación de la opción simplificada se exige que sean dos hojas independientes cada una de ellas con un índice global no inferior a 45 dBA.

A fin de solucionar sin mayores complicaciones y reducir costes, en la separación entre viviendas adosadas de entramado ligero de madera, suele colocarse uno de fábrica de ladrillos o bloques con tal de conseguir más fácilmente la resistencia al fuego necesaria para este elemento. Esta hoja intermedia proporciona un comportamiento acústico excelente, supliendo las carencias del sistema de entramado ligero de madera al aislamiento a bajas frecuencias. El único inconveniente es tendremos que utilizar la opción de cálculo general, ya que la simplificada no tendría en cuenta el aislamiento proporcionado por dicho elemento intermedio exigiendo un aislamiento mínimo de 45 dBA a cada hoja. Otra opción sería levantar dos medianeras, independientes estructuralmente, de obra húmeda.

Como se observa en la Figura 51 los mínimos exigidos por la norma son fácilmente alcanzables y en caso de querer incrementar las prestaciones acústicas los muros medianeros serán aplicables las mismas recomendaciones que para el caso de la tabiquería interior.



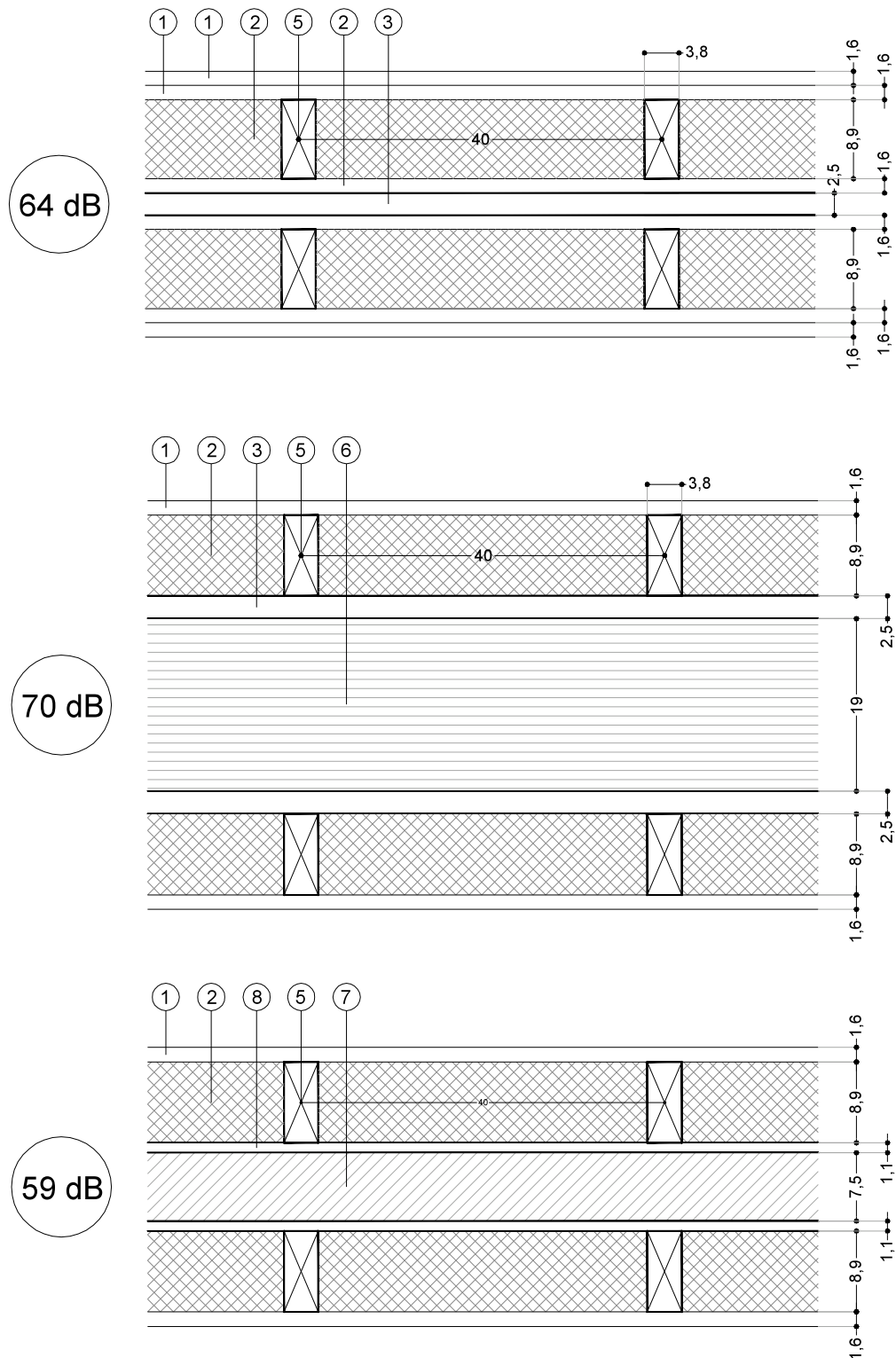


Figura 51. Aislamiento acústico de diferentes soluciones para medianeras

- 1. Panel de cartón yeso
- 2. Lana de vidrio
- 3. Separación
- 4. Montantes de 3,8 x 6,5 cm.

- 5. Montantes de 3,8 x 8,9 cm.
- 6. Pared de bloque de hormigón
- 7. Pared de hormigón
- 8. Tablero de 1,1 cm.

➤ Elementos de separación exterior

Dentro de los elementos de separación exterior se incluyen elementos como las fachadas, tejados y forjados en contacto con el ambiente exterior. En el caso de los dos primeros es normal que se incluyan otros elementos como ventanas y puertas, lo que les convierte en heterogéneos. Por lo tanto, no será la parte ciega la única susceptible de cumplir con las exigencias marcadas por el CTE.

EL CTE-DB-HR en la tabla 2.1 nos indica los niveles de aislamiento, frente al ruido aéreo, entre un recinto protegido y el exterior, exigidos dependiendo del uso del edificio y de los valores del índice de ruido día de la zona donde se ubica el edificio.

Para obtener el valor de aislamiento acústico al ruido aéreo exigido a los huecos, habrá que ingresar en la tabla 3.4 de CTE-DB-HR con el valor extraído de la tabla 2.1 anteriormente mencionada y el porcentaje de huecos obtenido de dividir la superficie de la parte ciega entre la total de huecos (ventanas, cajas de persianas, aireadores y puertas). Por lo que se puede observar en dicha tabla y tomando como referencia los datos del apartado de tabiquería interior, estos valores no son excesivamente difíciles de alcanzar con el sistema de entramado ligero de madera.

Las exigencias de la parte ciega son fáciles de cumplir y el disponer de las barreras corta vapor (de la cara interna) y la impermeable (de la cara externa) de naturaleza plástica ayudan a romper los posibles canales acústicos entre los materiales que forman estos elementos de separación con el exterior. Por lo que respecta a las carpinterías solo hay que escoger una en la que el fabricante nos garantice los valores demandados.

Aunque existe un punto al que hay que prestar especial atención. Este es la forma en que se resuelvan los encuentros entre la parte ciega y los huecos que solo una verificación “in situ” puede corroborar si han sido bien resueltos. Estas verificaciones “in situ” están contempladas en el CTE, por lo que no es un tema que haya que dejar de la mano de la profesionalidad y seriedad de las partes implicadas, sino que es un valor exigido y al que prestar atención desde el momento de la elaboración del proyecto de arquitectura.

Como recomendaciones para el aislamiento de fachada podemos tomar las mismas que se vieron en los casos de la tabiquería interior y medianeras, incluso la colocación de una hoja de obra húmeda en la cara externa para evitar problemas de aislamiento frente al ruido aéreo a bajas frecuencias.

3.6. ASPECTOS DE DISEÑO

El sistema de plataforma puede presentar ciertas limitaciones, una de ellas es su rigidez y las escasas posibilidades de diseño que ofrece. En el capítulo *Sistema de plataforma con entramado ligero de madera* se vio la variante más pura del mismo, pero recordemos, por ejemplo, los detalles constructivos que se vieron en el capítulo de *Comportamiento frente al fuego*. Estos corresponden a una casa con la cubierta a una agua, la cual está resuelta mediante la colocación de una chapa Q-Deck. O, recordemos también, que se contempla la posibilidad del uso de obra húmeda en las medianeras entre viviendas adosadas, dado los beneficios acústicos y frente al fuego que esto puede llegar a suponer. Es por ello que se añade este capítulo en el que se pretende demostrar que la elección del sistema de plataforma (así como cualquier otro) no debe de tomarse como algo estricto y cerrado, sino como el sistema base que nos permitirá combinaciones con otros sistemas y materiales. En algunos casos será por exigencias del diseño al verse agotado el sistema de plataforma y, en otros, por los beneficios técnicos o económicos que se podrían extraer dichas combinaciones. Para ver estas posibilidades de diseño combinando el sistema con otros materiales y técnicas se propone cómo superar tres barreras que son fáciles de encontrar para el proyectista, como son evitar las típicas cubiertas a dos aguas, utilizar formas curvas y resolución de “grandes” voladizos. Además, se añade un apartado acerca del perfeccionamiento del sistema base.

3.6.1 Cubiertas Planas

Tanto técnica como económicamente, el uso de la chapa Q-Deck es una muy buena opción como estructura de cubierta. Este elemento permite salvar luces relativamente grandes con secciones “reducidas”. Su uso es muy común en naves industriales por este mismo motivo.

El hecho de hacer una cubierta inclinada a una agua es una revolución para el sistema de plataforma, pero estas se pueden hacer completamente planas (lo máximo que permite la correcta evacuación de aguas) y transitables. En la Figura 52 se muestra el detalle del encuentro de un muro de cerramiento exterior con el último forjado. La cubierta es plana, con una pendiente para la evacuación de aguas de 1:40, 300 mm de

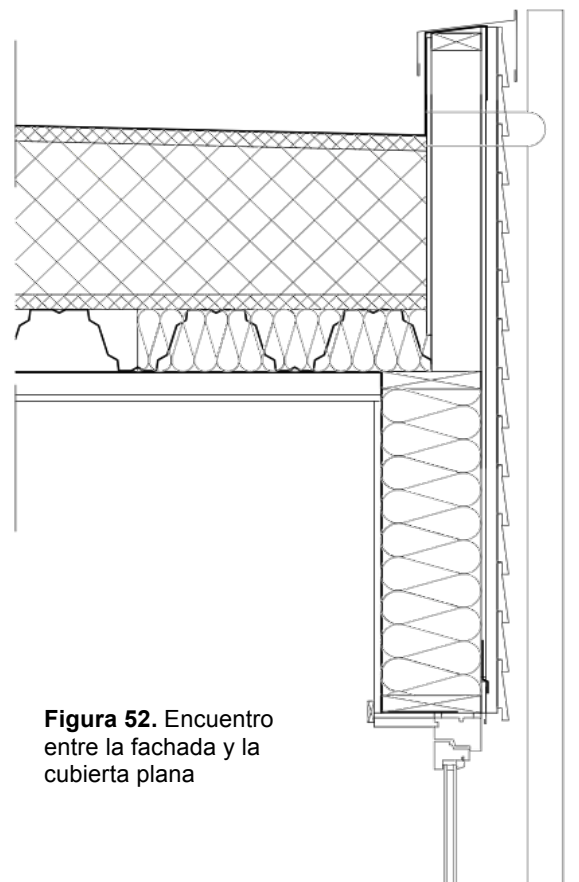


Figura 52. Encuentro entre la fachada y la cubierta plana

aislamiento en el punto más desfavorable. La encargada de resistir las cargas de la cubierta es una chapa Q-deck de 128 mm de altura. Se puede observar cómo, mediante la reducción del espesor del muro exterior (de 198 a 98mm), se genera un punto de apoyo para la chapa. En el caso de la Figura 53 la solución es parecida, pero aquí la cubierta es una terraza practicable de la segunda planta donde el apoyo de la izquierda se resuelve con la misma solución anterior, mientras que a la derecha la chapa apoya sobre un perfil en L atornillado sobre una viga de madera laminada encolada.

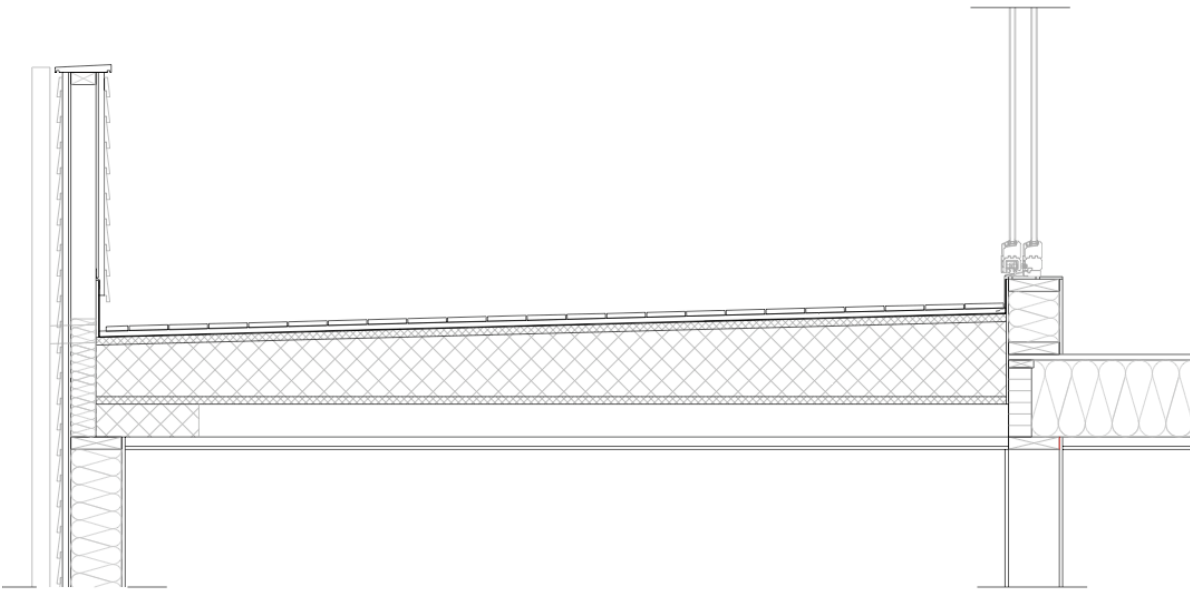


Figura 53. Detalle de cubierta practicable

3.6.2. Formas Curvas

Otro handicap para el sistema de plataforma pueden ser las formas curvas. A los muros se les puede dar fácilmente esta forma como se ve en la Figura 54, pero es más curioso el caso de la Figura 55 en el que el muro trasero se une con la cubierta y el primer forjado a través de formas curvas. En este caso es gracias a dos vigas de madera laminada en forma de C colocadas en los extremos, entre las que se colocan los “montantes” del entramado en posición horizontal y en el espacio entre estos se ubica el aislamiento. Obsérvese también la Figura 56.



Figura 54. Villa G (Principal Architect: Todd Saunders & Thomas Pfeffer)



Figura 55. SUMER HOUSE, HARDANGER (Prin. Arch.: Todd Saunders & Tommie Wilhelmsen)



Figura 56 Bergsdalen House, Norway (Principal Architect: Todd Saunders)

3.6.3. Voladizos y grandes luces

El uso de vigas de madera laminada es muy normal en estos casos así como de vigas de acero. Se utilizan para salvar luces que la madera maciza no puede salvar o cuando su sección comienza a ser excesiva, como parteluces de las viguetas del forjado y también es muy normal encontrarlas en voladizos. Hay que tener en cuenta que si se introduce una de estas vigas será casi obligatorio introducir un pilar a cada lado para llevar la carga hasta el terreno, ya que las paredes de carga del sistema de plataforma no son capaces de resistir grandes esfuerzos puntuales. En las Figuras 57 y 58 se pueden observar detalles donde han sido incluidas este tipo de vigas, y en las figuras 59, 60, 61 y 62 casas con voladizos importantes.

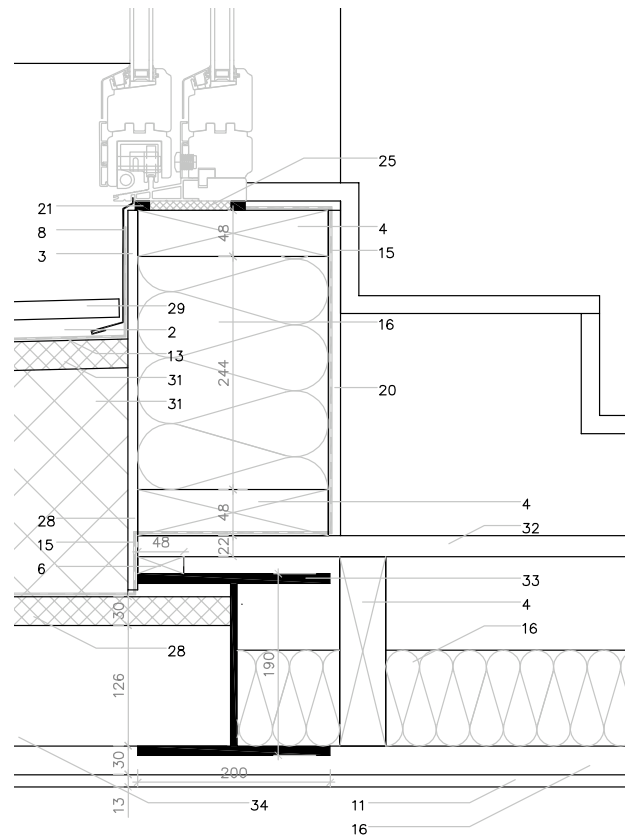


Figura 57. Detalle constructivo del encuentro entre el forjado interior y el de terraza

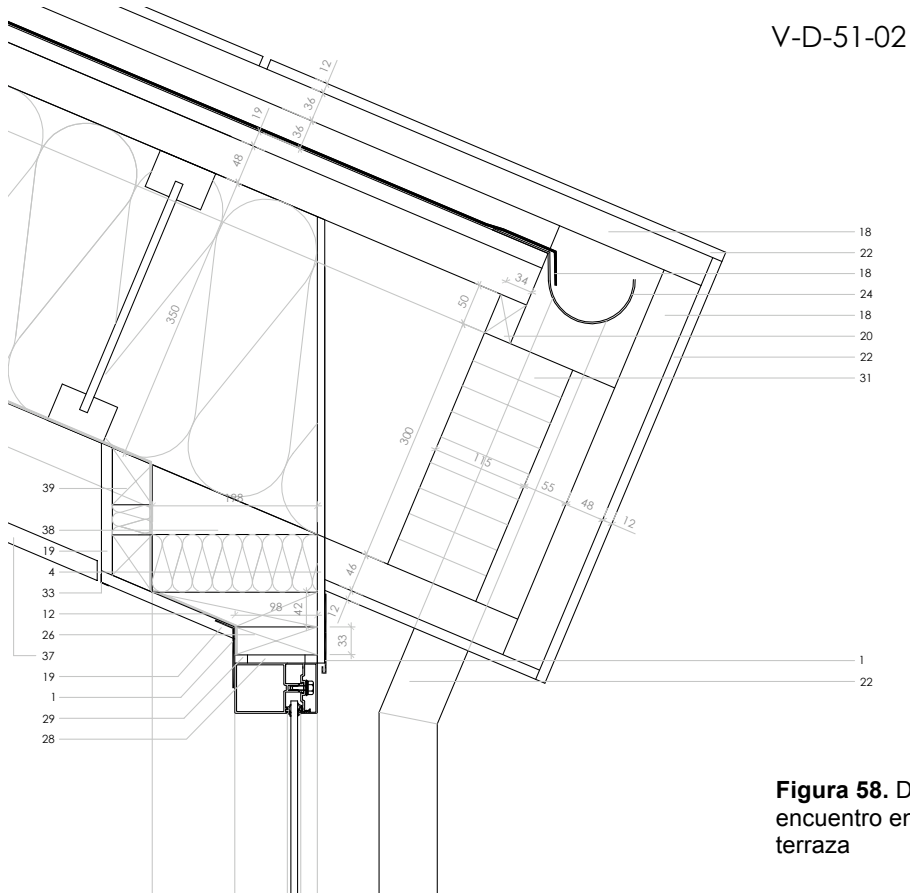


Figura 58. Detalle constructivo del encuentro entre el forjado interior y el de terraza



Figura 59. Villa G (Principal Architect: Todd Saunders & Thomas Pfeffer)



Figura 60. Villa Britse, Stockholm (Principal Architect: Todd Saunders)



Figura 61. Villa Storingavika, Bergen (Principal Architect: Todd Saunders)



Figura 62. Villa Rasmussen (Principal Architect: Todd Saunders)

3.6.4. Perfeccionamiento Del Sistema

El sistema es el que es y el perfeccionamiento surge de la adaptación de nuevas tecnologías o el uso de nuevos materiales. El hecho de que sea un método industrializado favorece dicho perfeccionamiento, mejorando el comportamiento y el rendimiento del producto final. Actualmente es muy normal, por ejemplo, el uso de viguetas de alma llena en I o tableros de madera microlaminada.

➤ Viguetas en I

Se trata de viguetas en las que las cabezas de la viga son de madera aserrada de sección rectangular y el alma de tablero estructural. Estas presentan multitud de ventajas:

- Mayor relación resistencia/peso
- Grado de industrialización y mecanización mayor
- El alma de las vigas viene pretalada de fabrica con una serie de orificios para el paso de instalaciones, sin necesidad de practicar huecos en obra que pudieran afectar a las características resistentes

- Al utilizar maderas muy heterogéneas o de diferente naturaleza el comportamiento acústico es superior al de las viguetas de madera, que son el puente acústico a solucionar en el sistema de plataforma con entramado ligero de madera
- Utilizan menos cantidad de materiales para piezas con similares características resistentes, con las consecuencias positivas sobre el impacto medioambiental (3 veces menos)
- Ya que se trata de elementos muy industrializados y mecanizados, con unos controles de calidad muy exigentes, cada una de las empresas que lo fabrican o comercializan suministran guías y manuales con todo tipo de especificaciones

➤ **Tableros de madera microlaminada**

Otro ejemplo de evolución del sistema serían los tableros de madera microlaminada. Estos se caracterizan porque se elaboran encolando chapas secas de madera de forma que las fibras de todas las chapas quedan paralelas a la dirección longitudinal de la pieza. De forma genérica se le define como madera LVL. Esta también es una manera de optimizar la materia prima y que, a la vez, proporciona características resistentes superiores a las de la madera aserrada. Hasta hace relativamente poco tiempo, solo se fabricaban en Norteamérica y Finlandia, estando los métodos de fabricación patentados.

En el anexo 3 se añaden los las plantas, alzados y alguna sección interior de una vivienda unifamiliar en la que por exigencias del diseño se ha usado hormigón para resolver la contención de tierras, vigas de madera laminada y de acero y pilares metálicos para recibir las cargas de estas. El texto esta en noruego pero los planos se pueden entender perfectamente con las siguientes indicaciones:

- En azul están las vigas de madera laminada que se han colocado para: solucionar voladizos, generar apoyos intermedios de las viguetas del forjado y resolver el hueco de escalera.
- En rojo están los pilares metálicos que se incrustan dentro de la pared de entramado ligero de madera, así como las vigas metálicas.
- Este edificio, además, cuenta con una pared de hormigón conteniendo las tierras que empujan desde detrás.

3.7. VIABILIDAD ECONÓMICA Y DE TIEMPO

Uno de los beneficios de la construcción con el sistema de plataforma es la facilidad y rapidez de montaje. Se trata de una construcción fácil, pero que requiere de mano de obra cualificada. Existen constructoras especializadas en este tipo de estructuras que se encargan de importar la estructura, suministrarla y montarla. Pero su trabajo empieza mucho antes, es normal que comiencen a trabajar en colaboración con el arquitecto en la fase de desarrollo del proyecto, en el cálculo, dimensionado y despiece de la estructura. La rapidez de ejecución que se mencionaba anteriormente es debida a una serie de factores, a destacar que:

- Se trata de obra seca, es decir, no requiere de tiempos de espera para el secado.
- Es un sistema industrializado, compuesto de piezas prefabricadas que llegan a obra con planos de montaje que hacen del montaje un proceso fácil y que no deja mucho lugar a errores.
- La estructura es a la vez cerramientos y particiones

Las empresas suministradoras-montadoras presumen de tener realizada la estructura de una casa unifamiliar de 150 m² y dos plantas en una semana aproximadamente, siempre que los agentes externos como la meteorología lo permitan. Y el plazo de ejecución total se establece entre los 3 y 6 meses, mientras que una vivienda "tradicional" es difícil que baje de los 12 meses.

En la Tabla 8 se adjunta lo que podría ser la planificación de obra de una vivienda unifamiliar de dos plantas con una superficie aproximada de 150 m². Como se puede observar en algo menos de 3 meses está lista y preparada para entrar a vivir.

TAREAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Replanteo y excavación	XXXX										
Servicios temporales	XXXX										
Preparación cimentación			XX								
Saneamiento enterrado		X									
Inspección cimentación			X								
Ejecución cimentación			X								
Entramado			XXXXX								
Ventanas y puertas exterior				X							
Fontanería				X							
Cerramiento horiz. y vert.				XXX							
Electricidad					X						
Cornisas							XXX				
Cubiertas							XX				
Pinturas exterior								XXX			
Climatización								X			
Inspección entramado								X			
Aislamiento								XX			
Chapados de piedra									XXXX		
Acabados interiores muros									XXXXXX		
Capintería interior (I)									XX		
Carpintería interior (II)									XX		
Pintura interior										XXX	
Counter tops											X
Suelos										XX	
Aplicaciones											X
Fontanería acabados											XXX
Climatización acabados											XX
Electricidad acabados											XX
Moquetas											XX
Limpieza											X
											XX
Jardinería											XX
Inspección final											X

Tabla 8. Planificación tipo de la obra de una casa de entramado ligero de madera

Esta rapidez y facilidad, sin prácticamente medios auxiliares ni residuos, ni consumo de agua durante la ejecución repercute muy positivamente en el consumo energético como ya se vio en el apartado *Aspectos de sostenibilidad*. Pero, además, también puede llevar a hacer más competitivas económicamente este tipo de construcciones. La mano de obra cada vez es más cara por lo que reducciones tan significativas en los plazos de ejecución resultan más que notables en el precio final de la obra acabada. Lo mismo ocurre debido a que no se necesitan grandes medios auxiliares como la obligatoria grúa en la construcción tradicional. Asimismo, al ser un sistema muy industrializado (prefabricado), la garantía de plazo de entrega y precio cerrado evitan sorpresas desgraciadamente habituales y poco

agradables, muy típicas dadas las variaciones que caracterizan al sector de la construcción en nuestro país. La baja generación de residuos es otro aspecto que implica un cierto ahorro económico al no tener que gestionarlos como tales. Al mismo tiempo, el ahorro energético y de agua, ambos en obra, generan un ahorro económico. Y no solo durante la obra, sino que el elevado aislamiento térmico y la ausencia de condensaciones en el edificio implica grandes ahorros económicos a lo largo de su vida útil.

La comparativa directa entre una vivienda basada en el sistema de plataforma y otra con pórticos de hormigón y cerramientos de ladrillo no es fácil de hacer y puede ser muy engañosa. Y, a pesar de lo que promulgan los agentes implicados en la construcción con madera, si esta resulta más económica la diferencia no es demasiado notable en estos momentos. Esto se debe, principalmente, a la falta de madera de calidad en nuestro país y la consecuente necesidad de importarla, además de la escasa extensión del sistema. Parece que en los últimos años se comienza a desarrollar y comprender este tipo de construcción, lo que sin duda puede ayudar a hacerlo aún más competitivo en cuanto a costes.

4. ACEPTACIÓN DEL SISTEMA DE PLATAFORMA EN ESPAÑA

4.1. HISTORIA DE SU LLEGADA

Todo parece indicar que el hombre, al salir de su refugio natural en las cuevas, construyó sus primeras casas con madera al ser un material totalmente manejable y trabajable, además de ser accesible allá dondequiera que se desplazara. El primer entramado ligero de madera lo encontramos en el momento que decide hacer la construcción portable y se transportan elementos como varas de madera y pieles. Este sistema transportable se conserva en las *yurtas* de las estepas rusas y en los *tippis* de los indios de Norteamérica.

Cuando el hombre deja la vida nómada y se estabiliza, busca materiales de construcción accesibles, ligeros y duraderos. Cuando el entorno es forestal acude a los troncos y empieza a construir muros con hiladas sucesivas de troncos pelados con un ligero rebaje para encajar las hiladas, rellenando las juntas con materiales relativamente impermeables, como musgo o cortezas.

Durante la civilización griega y romana se desarrolló en todo el mediterráneo un nuevo tipo constructivo con madera: el sistema de entramado pesado de madera con piezas de mediana sección separadas moderadamente formando muros y forjados a través de ensambles y cuñas y afianzados con riostras diagonales. Los muros se cuajaban de rellenos de distinto tipo: piezas de adobe, trenzados de varillas de madera revestidos de morteros, etc. Este sistema se prolonga durante muchos siglos en España hasta prácticamente el siglo XIX. Las estructuras de madera se elevan hasta seis plantas y se conjugan con otras estructuras de carga.

Las sucesivas y abusivas cortas de madera para la construcción naval y el consumo de energía junto a la revolución industrial en Europa hicieron menguar notablemente la disponibilidad de madera. Ello, así como el desarrollo del acero para construcción, relegaron a la madera a un segundo plano provocando incluso una pérdida del oficio de carpintero de armar.

A mediados del siglo XIX se produce en Norteamérica un desarrollo del entramado ligero de madera. La carrera por la conquista del Oeste favorece el desarrollo de este sistema que emplea una estructura ligera en muros y forjados con separaciones moderadas. Las casas, en decenas de miles, se construyen en pocos días y se resuelven con materiales normalizados y de montaje simple (madera aserrada, clavos...). Con la llegada de los veteranos de la IIª Guerra Mundial a Norteamérica, el gobierno promueve la construcción de miles de casas de este tipo para acogerlos empleando por primera vez tablero

contrachapado. Debido a su éxito, el sistema ha permanecido inalterable hasta nuestros días, con las correspondientes mejoras de materiales (tableros, aislamientos, impermeabilizantes) y extendiéndose por todo el mundo. Su principio, evolucionado, es el mismo de la cabaña primitiva. En Europa llega en primer lugar a los países nórdicos y desde allí llega la información a España.

En 1898, Ángel Ganivet (1867-1898), intelectual de la Generación del 98, diplomático en Finlandia, escribe sus Cartas Finlandesas que se publicaron en El Defensor de Granada (ver Anexo 4), donde describe con todo detalle las casas de entramado ligero de madera de ese país. Es probablemente la primera noticia que tienen nuestros compatriotas del sistema de entramado ligero de madera ya que la realidad norteamericana era totalmente desconocida en ese momento. En Europa, este tipo de construcción ligera frente a la casa sólida 'de toda la vida' no se entiende y se considera de baja calidad, de colonos. Han de pasar años hasta que estos prejuicios se vayan eliminando. Algunos idealistas en nuestro país se atreven a importar casas de este tipo. Normalmente se ven en zonas costeras de veraneo donde se ven como objetos exóticos. Esto ocurre durante los años 20. En estos mismos años el desarrollo cultural y económico centroeuropeo pone en contacto a nuestros compatriotas con el concepto 'chalet', construcción alpina en Francia, Alemania, Suiza, Italia a base de troncos. Se empiezan a construir este tipo de casas en España en zonas de montaña. Durante muchos años es el único contacto y referencia de los españoles con las casas de madera.

En 1936, la empresa *Vaqlan* hizo un intento de comercializar construcciones de madera a base de troncos, pero el intento fracasó, uno de los motivos por la Guerra Civil. La reconstrucción que sigue a la posguerra no da cabida a las casas de madera. Durante los años 50 y 60 se produce la importación de casas nórdicas y canadienses, con cuentagotas, para unos cuantos adelantados o soñadores.

4.2. ÁMBITO DE APLICACIÓN

Como ya se ha comentado, la única cuota de mercado disponible actualmente en España para las casas de madera es la vivienda unifamiliar. A su vez, es en esta tipología de vivienda donde se muestra más competitiva la construcción con madera siendo una buena manera para demostrar todos sus beneficios.

De todas formas, es interesante comentar que desde hace unos años, en países con mayor tradición en la construcción con madera se llevan desarrollando programas de investigación en el campo de la construcción con entramado ligero aplicado a los edificios de media altura (4 o 5 plantas). En la mayoría de las ciudades europeas las viviendas se desarrollan en edificios de varias plantas y, por lo tanto, para competir en este mercado era necesario investigar y experimentar este tipo de

construcción con el fin de resolver los problemas que se presentan en el caso de la madera. Es así que en 1996 se inició una acción europea (Acción Cost E5) para el estudio de los aspectos técnicos que deben resolverse en la construcción de mediana altura. Se analizaron los temas de aislamiento acústico, seguridad frente a incendios, diseño y cálculo estructural, efectos del sismo, posibilidades arquitectónicas, etc. A este programa siguió el Timber frame



Figura63. Edificio de pruebas para el proyecto Timber frame 2000.

2000 en el que se construyó un edificio de seis plantas (Figura 63) con el único propósito de investigar el comportamiento y el impacto económico derivados de la construcción de edificios de media altura en UK.

4.3. VIABILIDAD NORMATIVA Y TÉCNICA

En el capítulo de comportamiento del sistema queda patente que las casas unifamiliares construidas con el sistema de plataforma no presentan ningún problema para cumplir con lo exigido en la normativa vigente en el estado español que, en este caso, es el Código Técnico de la Edificación. Este es un código basado en prestaciones u objetivos, lo que es una novedad en lo que a normativa de edificación tradicional se refiere, ya que en la mayoría de los países ha sido de carácter prescriptivo, estableciendo procedimientos aceptados o guías técnicas. Este carácter supone la configuración de un entorno más flexible y fácilmente actualizable conforme a la evolución de la técnica y la demanda de la sociedad.

Además, con el fin de facilitar el cumplimiento de las exigencias básicas del CTE aparecen una serie de documentos que lo complementan y que no son de obligado cumplimiento: los Documentos Reconocidos, definidos como documentos sin carácter reglamentario, que cuentan con el reconocimiento del Ministerio de Vivienda que mantendrá un registro público de los mismos. Los Documentos Reconocidos pueden ser:

- Especificaciones y guías técnicas o códigos de buena práctica que incluyan procedimientos de diseño, cálculo, ejecución, mantenimiento y conservación de productos, elementos y sistemas constructivos;
- Métodos de evaluación y soluciones constructivas, programas informáticos, datos estadísticos sobre la siniestralidad en la edificación u otras bases de datos;
- Comentarios sobre la aplicación del CTE;
- Cualquier otro documento que facilite la aplicación del CTE, excluidos los que se refieran a la utilización de un producto o sistema constructivo particular o bajo patente.

En el caso que nos ocupa, el proyecto “Construir con Madera”, promovido por la Confederación Española de Empresarios de la Madera (CONFEMADERA) e integrado dentro del Consejo Español de Promoción de la Madera, y en colaboración con el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, edita esta serie de publicaciones bajo el paraguas común de la denominación de “Guía de construir con madera”, con el objetivo de plantear soluciones constructivas con madera que cumplan los requisitos establecidos por el CTE y de proporcionar toda la información que el proyectista necesita conocer sobre los distintos elementos constructivos fabricados con materiales de madera o productos derivados de la misma. Están previstas 6 publicaciones, de las que, actualmente, solo cuatro han visto a la luz. A medio plazo, pretende convertirse en documento reconocido del CTE, ya que, de hecho, constituye una compilación y ampliación de los actuales contenidos de los Documentos Básicos de dicho Código.

El proyecto *Construir con madera* participa en la plataforma *Dataholz* colaborando en el mantenimiento de la versión española y formando parte del comité de gestión encargado de aprobar la incorporación de nuevos productos y soluciones constructivas caracterizadas por ensayo. En esta se puede acceder a una gran cantidad de información técnica sobre la madera (propiedades mecánicas, térmicas, acústicas, medioambientales) y sus derivados así como sobre los elementos constructivos más habituales que con este material pueden ser contruidos. Parte de las soluciones constructivas presentes en esta plataforma han sido ya recogidas en el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE.

En el mismo camino, también se considera de recomendado cumplimiento, sin ser Documentos Reconocidos, las indicaciones ofrecidas por la numerosa y extraordinaria bibliografía técnica de la Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM).

También cabe destacar la aportación de “Lignum facile”. Esta es una iniciativa de un grupo de empresas, universidades, centros tecnológicos, profesionales y Clúster da Madeira de Galicia por generar espacios de valor y entendimiento, a fin de intercambiar conocimientos y soluciones que impulsen la mejora colectiva.

Existen muchas otras, pero podríamos decir que estas son las más “imparciales y oficiales”, y las que ofrecen mayor información técnica de ayuda para el proyectista.

Al ser la madera estructural un producto importado es muy importante el tema de sellos de calidad y marcados para garantizarnos por una parte que provienen de explotaciones forestales sostenibles y certificar la perfecta manufacturación de las piezas de madera, informando de sus características técnicas y resistentes, fijaciones o anclajes utilizados, incluso de los tratamientos preservantes a los que han sido sometidas.

La normativa de la Unión Europea se encuentra en total consonancia con los productos de madera importados de Canadá o EE.UU. Por tanto, no existen problemas de homologación normativa y técnica al respecto. Incluso últimamente se empieza a aplicar el recientemente exigido marcado CE para estos productos importados, dado el interés de la industria canadiense y estadounidense por el mercado europeo.

4.4. ENTRADA EN LA CONCIENCIA ESPAÑOLA

Es una realidad que en los últimos años ha aparecido un nuevo interés generalizado por la madera en España. Este es relativamente joven por mucho que el material, la tecnología y los medios estén inventados hace más de cien años y haya gente y sectores que lleven mucho tiempo tratando de convencer de sus beneficios, como es el caso de AITIM que lleva editando su *Boletín de información técnica* desde 1967 o profesionales como D. César Peraza Oramas, Catedrático de Tecnología de la Madera en la ETSI de Montes de Madrid. El motivo principal que podía explicar este interés es la aprobación el 17 de marzo de 2006 del CTE (RD 314/2006) que ha permitido la normalización a nivel nacional de las estructuras con madera (DB SE-M). Por primera vez se dispone en España de un marco normativo que sitúa la madera estructural en igualdad de condiciones frente a otros materiales. Otro factor que puede haber ayudado es el increíble éxito de la madera laminada encolada que ha servido para perderle el miedo al material y cuyo rebufo ha beneficiado al resto de productos y tecnologías de la madera.

Consecuencia de estas circunstancias, tanto las empresas, los profesionales, las instituciones y las personas dedicadas a la docencia y a la investigación en España también han incrementado en los últimos años su dedicación, orientada a satisfacer las demandas tecnológicas de este sector. Un paso importante que aún falta por dar es conseguir que la madera entre en los programas de estudios para que los futuros profesionales implicados en la construcción española no vean la posibilidad de construir con entramado ligero de madera, por ejemplo, como algo exótico sino como otra posibilidad más que en determinados casos puede ser la mejor opción.

La concienciación de los profesionales parece que está en camino y que, con la ayuda de unos cuantos “atrevidos” y un poco de tiempo, se conseguirá avanzar en la normalización de los sistemas constructivos con madera. Pero hay otro sector, el de los consumidores, que está un poco verde y que son los mismos profesionales, muchos de los cuales en estos momentos se encuentran en su viaje iniciático, los que han de convencerlos.

En numerosas ocasiones, el concepto de prefabricación se utiliza como un adjetivo peyorativo, hace mucho daño a este tipo de construcciones y supone una barrera para el usuario final. En este sentido conviene hacer una serie de aclaraciones.

Existen empresas que venden casas completamente prefabricadas en taller y que las transportan hasta el emplazamiento final. Este tipo de casas completamente prefabricadas no se puede meter dentro del saco de las casas con entramado ligero de madera, por mucho que sus muros estén realizados con entramado ligero y el material estructural sea la madera. Y esto mismo es lo que denuncian algunos de los profesionales dedicados al sector, concretamente se quejan de que la Asociación de Fabricantes y Constructores de Casas de Madera (AFCCM) las reconozca e incluya a sus fabricantes entre su lista de miembros. Cuando se pretende construir una casa con sistema de plataforma de entramado

ligero de madera es posible que ciertas partes o elementos vengan montados desde taller, como ocurre en ocasiones con los entramados verticales y esto puede ser muy positivo ya que las condiciones en las que se trabaja en taller nada tienen que ver con la obra, la prefabricación favorece la homogeneidad y la calidad final del producto suministrado. Pero de ahí a realizar la casa completamente en taller va un trecho, ya que las limitaciones de transporte son muy elevadas y el producto final puede resultar ridículo en comparación con lo que se puede conseguir sin depender de que esa casa sea transportable.

Otro punto negro es que es un sector en el que históricamente han ocurrido quizá demasiadas incidencias negativas. Se estima que hay unos 850 agentes o empresas que importan o construyen casas de madera. La mayoría de ellos son unipersonales, un teléfono y un contacto, lo que hace que muchas empresas sean volátiles y, si hay algún problema, desaparecen o cambian. Es decir, más que empresas son operaciones de negocio aisladas. Para evitar esto mismo, AITIM realiza auditorías a modo de filtro, que garantizan que la empresa existe con continuidad, que tienen una cierta experiencia y que son capaces de construir con unos mínimos de calidad, al menos en el momento en que se hace esa 'radiografía'.

Después están los tópicos de la fragilidad de las casas de madera, su combustibilidad y su degradación y poca durabilidad. A desmentir estos prejuicios se dedica el capítulo 3 y ya se ha visto que no son más que tópicos y que un buen proyecto correctamente diseñado y ejecutado no presenta ningún problema en relación a los aspectos antes mencionados.

Otro inconveniente quizá son las mismas organizaciones encargadas de promover y fomentar la construcción de casas de madera. Durante la fase de recogida de información y documentación del presente trabajo se ha preguntado a diferentes empresas su opinión acerca de estas organizaciones y el trabajo que realizan. Ha sido sorprendente ver cómo la mayoría de opiniones iban en una misma dirección, expresando sus quejas y descontento con las organizaciones relacionadas con la madera en España. A continuación se detallan algunas de las críticas:

- Falta de coordinación entre las organizaciones, apareciendo en ocasiones protagonismos absurdos y marcados por intereses empresariales. Además de la descoordinación con otros centros tecnológicos y planes universitarios: CIDEMCO, PROTECMA, universidades...etc.
- Falta de un plan estratégico y rumbo con directrices claras
- Falta de autoridad-representatividad ante las diversas administraciones del Estado
- Falta de renovación en las directivas de estas organizaciones
- La AFFCCM, no es oída en sus muchas reclamaciones por las administraciones, mientras que hace dos años la Ministra española de la vivienda recibió a la asociación americana
- Hasta la entrada del CTE, la madera estaba por parte de la administración y muchos arquitectos "ridiculizada", "desconocida", "insultada", una vez que este está en vigor no hay unidad de cómo aplicarlo

- Falta de cooperación entre las empresas del sector debido a que muchas utilizan las asociaciones para copiar en lugar de colaborar.

Y el principal de los motivos del escaso éxito de las construcciones con madera en España puede que sea el hecho de que aquí no hay madera de calidad para su uso estructural y, por tanto, ha hecho que no exista una gran tradición en su uso. Esto, a su vez, ha generado un círculo bastante cerrado y que cuesta romper. Como la práctica constructiva no incluía la madera como material de construcción, las normativas y los ensayos estaban enfocados y pensados para otro tipo de materiales y tecnologías, por lo que salirse de la línea comportaba gran cantidad de problemas que pocos proyectistas y constructores han querido afrontar. Ahora la perspectiva es bien diferente, solo falta hacer uso de las herramientas y facilidades que en estos momentos parece que se están otorgando para construir con madera, que parecen muchas si se mira atrás pero que resultan ridículas si se comparan con las derivadas del uso de las tecnologías y materiales tradicionales.

Para finalizar, puede que exista un aspecto dentro de la mentalidad española que genere cierto rechazo por las construcciones de madera. En España se pretende que las casas duren para nosotros y dos generaciones más, cuando lo más probable es que estas pasen de moda o necesiten de reparaciones en las instalaciones, que resultarán excesivamente caras. Y no es que las casas de entramado ligero de madera no aguanten, como se vio en el capítulo de durabilidad una casa bien ejecutada y bien cuidada perfectamente puede aguantar el paso de dos generaciones y alguna más. Pero cuando hablamos de casa de madera viene a la mente de casi todos nosotros el cuento de los tres cerditos, y recordamos que la casa de madera aguantaba más que la de paja, pero nada tenía que hacer si la comparáramos con la de piedra. Y es verdad: ante condiciones climáticas extremas de viento o sismos, la de hormigón tendrá más posibilidades de permanecer en pie. Si pensamos en Estados Unidos, la mayoría de las casas están fabricadas con esta tecnología y allí tienen muchas más posibilidades de sufrir los efectos devastadores de un huracán, por ejemplo, que aquí en España. Y esto no supone ningún problema, el razonamiento que ellos hacen es el siguiente: son más económicas, se vive mejor, si pasa un huracán cerca de casa se va a caer igual sin importar de qué está hecha -porque no se piensan construir un bunker-, el riesgo de daños a personas es menor y la reconstrucción es más rápida. Un análisis que resulta muy pragmático.

También hay un factor social importante a tener en cuenta es que, en un país como Estados Unidos, gran consumidor de casas de entramado ligero de madera, la gente cambia unas tres o cuatro veces de casa a lo largo de su vida, se mueven mucho más, mientras que aquí la movilidad geográfica a consecuencia del trabajo no es tan alta. En consecuencia, ellos tienen un concepto de la casa más ligero, provisional, más voluble, en definitiva, algo que van cambiando y adaptando según las necesidades del momento presente. Por el contrario, en España si nos hacemos una casa, pensamos en ella como la casa de nuestra vida.

4.5. CASO FINLANDÉS

Puede ser interesante mencionar un caso como el finlandés, ver cómo ellos han adaptado el sistema de plataforma y la forma extrema en cómo gestionan el sistema constructivo que nos ocupa.

Para empezar puede ser interesante recordar, como se vio en el capítulo *Comportamiento mecánico*, que la madera finlandesa es de gran calidad y que se trata de un país en el que el Gobierno ha hecho mucho por convertir a Finlandia en una sociedad de la información a través, principalmente, del financiamiento de actividades de investigación y desarrollo (I+D) y educación. La identidad cultural y el fuerte sentimiento nacional parecen ser componentes esenciales del modelo de sociedad informacional, y esto Finlandia lo posee en un alto grado. La cooperación entre gobierno, empresas, gremios y organizaciones sociales, es un factor sustancial en la búsqueda y construcción de opciones superadoras en el caso de países con cierto nivel de desarrollo económico y social.

Durante la última década en Finlandia se ha avanzado sustancialmente en el desarrollo de nuevos métodos de construcción con madera. Este progreso se ha traducido en la acumulación de un conocimiento extensivo en la materia y en el aumento del uso de madera en la industria de la construcción. Después de experimentos iniciales con pequeños detalles dentro de empresas privadas, el resultado ha sido el desarrollo de un nuevo sistema de construcción con madera basado en la junta, abierta y industrialmente estandarizada, que se conoce como “The open timber construction system”. Este amplio y sencillo sistema no sólo concierne a lo relacionado con los productos, la información y los métodos de fabricación, sino que también incluye regulaciones y principios generales de diseño.

El sistema se basa en principios universales aprobados y al alcance de todos. Los detalles y los principios básicos de construcción no pueden ser patentados o registrados. Otras características importantes del sistema son la compatibilidad y la intercambiabilidad de sus partes o componentes. En cualquier momento, una parte del sistema o un producto en particular puede ser reemplazado por uno equivalente pero de distinto fabricante. Esto permite una libre competencia entre las diferentes partes y los distintos fabricantes.

El propósito de este sistema constructivo es el de proveer un método de producción competitivo y realista, que responda a las distintas necesidades según las situaciones y requerimientos del cliente. El sistema permite que las construcciones se diseñen y se realicen usando componentes de fabricación industrial de varios proveedores adquiridos por separado y trabajando conjuntamente.

El sistema es una interpretación finlandesa de construcción de la plataforma Norte-Americana. La apertura implica que las soluciones del sistema están disponibles para todos.

Además, también significa que el sistema es:

- Abierto a la competencia entre proveedores. Los componentes dentro del sistema son intercambiables
- Abierto para los ensamblajes alternativos
- Abierto para posibles cambios futuros
- Abierto para el intercambio de información
- Abierto para la integración de componentes y subsistemas

Las necesidades de los clientes definen la base del sistema de construcción. El objetivo del sistema abierto es el de promover un estándar, que actúa como marco de referencia para los diseñadores y constructores para que puedan satisfacer las necesidades de sus clientes, además de ser adecuado en términos de procesos de producción.

La compatibilidad de los subsistemas está avalada por la uniformidad de los siguientes aspectos:

- Lengua y terminología
- Dimensiones y tolerancias
- Las interfaces estructurales
- Principios de instalación y del modelo de servicios técnicos
- Modelo de conjuntos de componentes básicos
- Directrices de diseño
- Formatos de transferencia de datos

Estos son sistemáticamente utilizados por todas las partes implicadas. En consecuencia, el sistema sólo puede funcionar si es aceptado de manera uniforme y unívoca.

Los sistemas de información consisten en modelos de productos, bases de datos y sistemas de transferencia de información. Los modelos de productos se basan en los productos disponibles y en un formato uniforme de transferencia de datos. Los modelos de productos constituyen la definición de los atributos del producto. Las bases de datos consisten en un sistema jerárquico en el que cada nivel de datos se basa en el anterior. El primer nivel consiste en una base de datos general, como por ejemplo las normas de construcción actuales. El segundo nivel incluye los principios del sistema. El tercer nivel contiene las bases de datos que son particulares a cada empresa en cuestión. En consecuencia, y como resultado concreto, el sistema dispone de gestión de la información y mecanismos de transferencia, para el diseño y procesos de fabricación, que se derivan de los principios intrínsecos del sistema y de los productos.

El control de calidad en el sistema se basa en la evaluación y mejora continuas. El desarrollo del sistema se lleva a cabo de manera gradual y las normas industriales evolucionan en etapas.

Además, para gestionar todo esto correctamente existe una potente organización como es el *Consejo Finlandés de madera* (PUUINFO). Esta es una organización de promoción de ventas al servicio de los aserraderos y la industria de la madera. Los accionistas de la compañía son las empresas de la industria forestal y las organizaciones derivadas. Entre otras actividades, se encargan de crear campañas que giran en torno a la promoción de las exportaciones y las ventas nacionales.

CONCLUSIONES

Con la información aportada y el estudio elaborado hay argumentos suficientes para afirmar y concluir que el sistema de plataforma con entramado ligero de madera es un sistema que funciona y que además posee todos los requisitos para implantarse con éxito en España teniendo en cuenta su normativa, geografía, climatología...

Aunque nosotros, los españoles, empecemos a darnos cuenta ahora de que funciona, desde que tenemos una normativa que lo acepta, hay países, todos ellos vanguardistas en temas de innovación y desarrollo (Canadá, EEUU, Chile, Noruega, Suecia, Finlandia, Dinamarca, Japón, Alemania...), que llevan años y años demostrando que se trata de un sistema perfectamente testado y probado y que además da unos resultados impecables, sobretudo cuando se usa para viviendas unifamiliares de hasta dos o tres plantas con o sin sótano. Es importante mencionar que esta reciente normativa que parece que nos da confianza y ánimos para la utilización de la madera estructuralmente, no descubre nada nuevo en temas de madera, ya que esta completamente basada en el Eurocódigo 5, el cual lleva ya unos cuantos años aceptado y dando vueltas en la Unión Europea.

Nos encontramos en un momento importante y delicado en el que se ha conseguido que la madera sea reconocida desde las organizaciones y normativas. Es ahora cuando todos los colectivos profesionales dedicados al sector de la construcción e interesados en la madera han de hacer un trabajo exquisito para contagiar de este interés al resto de profesionales y ganarse la confianza de los promotores y consumidores finales con el objetivo de entrar en el abanico de posibilidades. Y se trata de eso precisamente, de ser una posibilidad más que el arquitecto, en el momento de abordar el diseño de una casa y que el cliente a la hora de hacer un encargo, contemplen la posibilidad de construir en madera sopesando los beneficios y complicaciones que puede presentar ya que en muchas ocasiones la balanza se inclinará hacia el lado de esta.

La estrategia a seguir en estos momentos desde las organizaciones debería de buscar cierta unificación y la correcta promoción e información. Pero sobretudo debería de ir encaminada a conseguir meter la madera en las escuelas de arquitectura para hacerse un hueco entre tanto hormigón y acero en los planes educativos.

Los romanos poseían una mentalidad abierta y receptiva que los llevo a copiar todo lo que consideraron útil de cualquier cultura, adaptándolo a su conveniencia y mejorando su uso. Quizá en estos momentos nos haga falta a nosotros un poco de esta mentalidad romana y sobretudo ahora, en periodos complicados que piden la reinvención.

6. REFERENCIAS GRÁFICAS

REFERENCIAS DE FIGURAS

- Figura 1** Basado en: Palma Carazo, Javier. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. 1ª edición. Madrid: Bellisco, 2008. Pag. 3. ISBN: 878-84-96486-72-0.
- Figura 2** Pita Carlos, Quintáns Carlos. Arquitectura y madera: estructura de troncos, ejemplos de uso. Santiago de Compostela. Publicación de "Cluster de la madera de Galicia". Pag. 6.
- Figura 3** Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 31. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 4** Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 38. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 5** Bestraten Sandra, Hormias Emili (2009). "Hacia una prefabricación sostenible". En: *II Congrés UPC Sostenible 2015*. Editorial Centre per la sostenibilitat. Disponible online en: <http://hdl.handle.net/2099/8208>.
- Figura 6** Pita Carlos, Quintáns Carlos. Arquitectura y madera: estructuras de vigas y pilares, ejemplos de uso. Santiago de Compostela. Publicación de "Cluster de la madera de Galicia". Pg. 9.
- Figura 7** Pita Carlos, Quintáns Carlos. Arquitectura y madera: sistemas de entramado pesado, ejemplos de uso. Santiago de Compostela. Publicación de "Cluster de la madera de Galicia". Pg. 3.
- Figura 8** Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pg. 91. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 9** Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pg. 91. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 10** Viljakainen, Mikko *et al.* The open timber construction system. 1ª edición. Wood Focus Oy, 2003. Pag. 6. ISBN: 952-15-0184-7.
- Figura 11** Santiago Inat. Basado en: Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 100. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 12** Fritz Durán, Alexander. Manual "La Construcción de Viviendas en Madera". CORMA, 2008. Pag. 185.
- Figura 13** Santiago Inat. Basado en: Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 101. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 14** Santiago Inat. Basado en: Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 105. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 15** Santiago Inat
- Figura 16** Santiago Inat

- Figura 17** Santiago Inat
- Figura 18** Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. ISBN: 84-87381-08-1. a) Pag. 254; b) Pag. 255; c) Pag. 257; d) Pag. 258; e) Pag. 261
- Figura 19** Dr. Wolman GmbH. *Infocenter wood – From tree to wood*. Disponible en Internet: <http://www.wolman.de>
- Figura 20** Guitarra Profesional. *Estudio sobre maderas para guitarras*. Disponible en Internet: <http://www.guitarraprofesional.com>
- Figura 21** Químicas Thai. La Madera: Propiedades. Disponible en Internet: <http://quimicathai.wordpress.com>
- Figura 22.** Santiago Inat, basado en: Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 94. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 23** Santiago Inat
- Figura 24** G. Wadel. “La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales”. Informes de la Construcción. Vol. 62, 517, 37-51, enero-marzo 2010 ISSN: 0020-0883
- Figura 25** G. Wadel. “La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales”. Informes de la Construcción. Vol. 62, 517, 37-51, enero-marzo 2010 ISSN: 0020-0883
- Figura 26** Santiago Inat
- Figura 27** Patrimonio de la humanidad. Iglesia de madera de Urnes. Disponible en: <http://www.sonferrer.info>
- Figura 28** Santiago Inat
- Figura 29** Santiago Inat
- Figura 30** Santiago Inat
- Figura 31** Santiago Inat
- Figura 32** Santiago Inat
- Figura 33** Santiago Inat
- Figura 34** Santiago Inat. Basado en: Labèrnia i Badia, Carles, Documento de aplicación del CTE. Ejecución control y mantenimiento. Confemadera. Pag. 29. ISBN: 978-84-693-1291-9
- Figura 35** Fritz Durán, Alexander. Manual "La Construcción de Viviendas en Madera". CORMA, 2008. Pag. 64.
- Figura 36** Hílam. Comportamiento al fuego. Arauco. Disponible en Internet en: <http://www.arauco.cl>.
- Figura 37** Santiago Inat. Basado en: Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 569. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 38** Santiago Inat. Basado en: Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 570. ISBN: 84-87381-08-1.

- Figura 39** Santiago Inat. Basado en: Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 571. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 40** Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 572. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 41** Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 573. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 42** Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 573. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 43** Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 574. ISBN: 84-87381-08-1.
- Figura 44** Lignum Facile. Madera y fuego. Los productos de la construcción de madera y su comportamiento frente al fuego. Santiago de Compostela. Pag. 9. Disponible en Internet en: <http://www.lignumfacile.es/>
- Figura 45** Lignum Facile. Madera y fuego. Reacción. Santiago de Compostela. Pag. 4. Disponible en Internet en: <http://www.lignumfacile.es/>.
- Figura 46** Brigit Östman. Fire safe timber buildings (Nordic design guidelines) SP Trätekt. Wood technology Stockholm. Tallin (2005)
- Figura 47** Brigit Östman. Fire safe timber buildings (Nordic design guidelines) SP Trätekt. Wood technology Stockholm. Tallin (2005)
- Figura 48** Santiago Inat
- Figura 49** Santiago Inat
- Figura 50** Santiago Inat
- Figura 51** Santiago Inat. Basado en: Palma Carazo, Javier. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. 1ª edición. Madrid: Bellisco, 2008. Pag. 342-343. ISBN: 878-84-96486-72-0.
- Figura 52** Santiago Inat
- Figura 53** Santiago Inat
- Figura 54** Work. Saunders architecture. Disponible en: <http://www.saunders.no/>.
- Figura 55** Work. Saunders architecture. Disponible en: <http://www.saunders.no/>.
- Figura 56** Work. Saunders architecture. Disponible en: <http://www.saunders.no/>.
- Figura 57** Santiago Inat
- Figura 58** Santiago Inat
- Figura 59.** Work. Saunders architecture. Disponible en: <http://www.saunders.no/>.
- Figura 60.** Work. Saunders architecture. Disponible en: <http://www.saunders.no/>.
- Figura 61.** Work. Saunders architecture. Disponible en: <http://www.saunders.no/>.
- Figura 62.** Work. Saunders architecture. Disponible en: <http://www.saunders.no/>.
- Figura 63.** Trada. All about timber. Timber frame 2000. Disponible en Internet: <http://www.trada.co.uk>

REFERENCIA DE GRÁFICOS

- Gráfico 1** G. Wadel. “La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales”. Informes de la Construcción. Vol. 62, 517, 37-51, enero-marzo 2010 ISSN: 0020-0883

REFERENCIA DE TABLAS

- Tabla 1** Australian goverment forest and wood products. “Enviromental Properties of Timber”. 2004 Forest & Wood Products Research & Development Corporation.
- Tabla 2** Australian goverment forest and wood products. “Enviromental Properties of Timber”. 2004 Forest & Wood Products Research & Development Corporation.
- Tabla 3** Australian goverment forest and wood products. “Enviromental Properties of Timber”. 2004 Forest & Wood Products Research & Development Corporation.
- Tabla 4** Santiago Inat. Basado en: Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 559. ISBN: 84-87381-08-1.
- Tabla 5** Santiago Inat. Basado en: Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 559. ISBN: 84-87381-08-1.
- Tabla 6** Santiago Inat. Basado en: Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 561. ISBN: 84-87381-08-1.
- Tabla 7** Santiago Inat. Basado en: Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 562. ISBN: 84-87381-08-1.
- Tabla 8** Peraza Sánchez, Jose Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. Pag. 96. ISBN: 84-87381-08-1.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPÍTULO 1

➤ Libros y publicaciones

- Palma Carazo, Javier. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. 1ª edición. Madrid: Bellisco, 2008. ISBN: 878-84-96486-72-0.
- Pita Carlos, Quintáns Carlos. Arquitectura y madera: estructura de troncos, ejemplos de uso. Santiago de Compostela. Publicación de "Cluster de la madera de Galicia"
- Pita Carlos, Quintáns Carlos. Arquitectura y madera: estructura de vigas y pilares, ejemplos de uso. Santiago de Compostela. Publicación de "Cluster de la madera de Galicia"
- Pita Carlos, Quintáns Carlos. Arquitectura y madera: sistemas de entramado pesado, ejemplos de uso. Santiago de Compostela. Publicación de "Cluster de la madera de Galicia"
- Pita Carlos, Quintáns Carlos. Arquitectura y madera: entramados ligeros, ejemplos de uso. Santiago de Compostela. Publicación de "Cluster de la madera de Galicia"
- Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. ISBN: 84-87381-08-1.

CAPÍTULO 2

➤ Libros y publicaciones

- Palma Carazo, Javier. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. 1ª edición. Madrid: Bellisco, 2008. ISBN: 878-84-96486-72-0.
- Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. ISBN: 84-87381-08-1.
- Viljakainen, Mikko *et al.* The open timber construction system. 1ª edición. Wood Focus Oy, 2003. ISBN: 952-15-0184-7.
- Fritz Durán, Alexander. Manual "La Construcción de Viviendas en Madera". CORMA, 2008.
- Hugues Teodor; Steiger Ludwig; Weber Johann. Timber construction. 1ª edición. Munich: Institut für internationale, 2004. ISBN 3-7643-7032-7.

CAPÍTULO 3

SECCIÓN 3.1

➤ Libros y publicaciones

- Queipo de Llano Moya, Juan *et al* Documento de aplicación del CTE. Conceptos básicos de la construcción con madera. Confemadera. ISBN: 978-84-693-1291-9.
- Palma Carazo, Javier. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. 1ª edición. Madrid: Bellisco, 2008. ISBN: 878-84-96486-72-0.
- Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. ISBN: 84-87381-08-1.
- Cristo, Antonio. Guía de la madera: para la construcción el diseño y la decoración. 1ª edición. AITIM, 1994. ISBN: 84-87381-07-3.
- Jimenez Peris, Francisco Javier. La madera: propiedades básicas. 1ª edición. Madrid: GET (Grupo de estudios técnicos), 1999. ISBN 84-922283-9-3.
- Ministerio de Vivienda. CTE-DB-SE-M. Boletín oficial del estado. Madrid (2006). ISBN: 84-340-1639-7
- Fritz Durán, Alexander. Manual "La Construcción de Viviendas en Madera". CORMA, 2008.

➤ Artículos

- Artiaga, Francisco. El comportamiento sísmico de las casas de madera. Boletín de información técnica AITIM 209 (2001). Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>
- Earthquake-resistant Housing. Forintek Canada Corp (2002). Disponible en Internet en: <http://www.forintek.ca>.

SECCIÓN 3.2

➤ Libros y publicaciones

- Queipo de Llano Moya, Juan *et al* Documento de aplicación del CTE. Conceptos básicos de la construcción con madera. Confemadera. ISBN: 978-84-693-1291-9.
- Palma Carazo, Javier. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. 1ª edición. Madrid: Bellisco, 2008. ISBN: 878-84-96486-72-0.
- Australian goverment forest and wood products. "Enviromental Properties of Timber". 2004 Forest & Wood Products Research & Development Corporation.

- Ministerio de Vivienda. CTE-DB-SE-HE. Boletín oficial del estado. Madrid (2006). ISBN: 84-340-1633-8.
- Fritz Durán, Alexander. Manual "La Construcción de Viviendas en Madera". CORMA, 2008.

➤ Artículos

- G. Wadel. "La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales". Informes de la Construcción. Vol. 62, 517, 37-51, enero-marzo 2010 ISSN: 0020-0883
- Barroso, Jorge. Materiales de construcción e impacto ambiental. Boletín de información técnica AITIM 209 (2001). Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>
- Beltran, Joaquin. Eficiencia energética de viviendas de madera. Boletín de información técnica AITIM 188 (1997). Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>
- WWF y los bosques Finlandeses. Boletín de información técnica AITIM 194 (1998). Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>
- Finlandia líder en certificación. Boletín de información técnica AITIM 191 (1998) Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>.
- Finlandia un país forestal abierto al mundo. Boletín de información técnica AITIM 226 (2003) Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>.
- Greenpeace frente a PEFC. Boletín de información técnica AITIM 210 (2001) Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>.
- Greenpeace órdago a la madera tropical. Boletín de información técnica AITIM 253 (2008) Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>.
- Selvicultores europeos y el sello FSC. Boletín de información técnica AITIM 188 (1997) Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>.
- Stora Enso y Botnia denunciadas en Rusia. Diario el argentino. Disponible en Internet en: <http://www.diarioelargentino.com>

➤ Webs

- <http://www.credibleforestcertification.org/>
- <http://www.greenpeace.org/>

SECCIÓN 3.3

➤ **Libros y publicaciones**

- Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. ISBN: 84-87381-08-1.
- Palma Carazo, Javier. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. 1ª edición. Madrid: Bellisco, 2008. ISBN: 878-84-96486-72-0.
- Larsen Hans and Unjily Vahik. Practical design of timber structures to Eurocode 5. 1ª edición. Londres: Thomas Telford, 2009. ISBN: 978-0-7277-3609-3
- Pita Carlos, Quintáns Carlos. Arquitectura y madera: tratamientos, ejemplos de uso. Santiago de Compostela. Publicación de "Cluster de la madera de Galicia"
- Ministerio de Vivienda. CTE-DB-SE-M. Boletín oficial del estado. Madrid (2006). ISBN: 84-340-1639-7
- Fritz Durán, Alexander. Manual "La Construcción de Viviendas en Madera". CORMA, 2008.

➤ **Artículos**

- Moisture and durability. Forintek Canada Corp (2002). Disponible en Internet en: <http://www.forintek.ca>.

SECCIÓN 3.4

➤ **Libros y publicaciones**

- Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. ISBN: 84-87381-08-1.
- Palma Carazo, Javier. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. 1ª edición. Madrid: Bellisco, 2008. ISBN: 878-84-96486-72-0.
- Ministerio de Vivienda. CTE-DB-SI. Boletín oficial del estado. Madrid (2006). ISBN: 84-340-1632-X
- Fritz Durán, Alexander. Manual "La Construcción de Viviendas en Madera". CORMA, 2008.
- Queipo de Llano Moya, Juan *et al* Documento de aplicación del CTE. Conceptos básicos de la construcción con madera. Confemadera. ISBN: 978-84-693-1291-9.
- Vega Catalán, Luis *et al*. Documento de aplicación del CTE. Comportamiento frente al fuego. Confemadera. ISBN: 978-84-693-1290-2

- Hílam. Comportamiento al fuego. Arauco. Disponible en Internet en: <http://www.arauco.cl>

➤ Artículos

- Brigit Östman. Fire safe timber buildings (Nordic design guidelines) SP Träteak. Wood technology Stockholm. Tallin (2005)
- Estabilidad frente al fuego. Boletín de información técnica AITIM 194 (1998) Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>.
- Wood-frame Construction, Fire Resistance and Sound Transmission. Forintek Canada Corp (2002). Disponible en Internet en: <http://www.forintek.ca>.
- Lignum Facile. Madera y fuego. Los productos de la construcción de madera y su comportamiento frente al fuego. Santiago de Compostela. Disponible en Internet en: <http://www.lignumfacile.es/>.
- Lignum Facile. Madera y fuego. Reacción. Santiago de Compostela. Disponible en Internet en: <http://www.lignumfacile.es/>.
- Lignum Facile. Madera y fuego. Resistencia. Santiago de Compostela. Disponible en Internet en: <http://www.lignumfacile.es/>.

SECCIÓN 3.5

➤ Libros y publicaciones

- Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. ISBN: 84-87381-08-1.
- JSI user guide. Technical data for proper use and installation of JSI products. Disponible en internet en: <http://www.jagerewp.com/>.
- Ministerio de Vivienda. CTE-DB-HR. Boletín oficial del estado. Madrid (2006).
- Palma Carazo, Javier. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. 1ª edición. Madrid: Bellisco, 2008. ISBN: 878-84-96486-72-0.
- Fritz Durán, Alexander. Manual "La Construcción de Viviendas en Madera". CORMA, 2008.

➤ Artículos

- Esteban Herrero, Miguel. Acústica en edificios de madera de media altura. Boletín de información técnica AITIM 198 (1999) Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>.
- Wood-frame Construction, Fire Resistance and Sound Transmission. Forintek Canada Corp (2002). Disponible en Internet en: <http://www.forintek.ca>.

SECCIÓN 3.7

➤ Libros y publicaciones

- Peraza Sánchez, José Enrique. Casas de madera. 1ª edición. AITIM, 1995. ISBN: 84-87381-08-1.
- Palma Carazo, Javier. Sistema de plataforma con entramado ligero de madera. 1ª edición. Madrid: Bellisco, 2008. ISBN: 878-84-96486-72-0.
- Fritz Durán, Alexander. Manual "La Construcción de Viviendas en Madera". CORMA, 2008.

CAPÍTULO 4

➤ Libros y publicaciones

- Peraza Sánchez, José Enrique. Productos de madera para la arquitectura. 1ª edición. AITIM, 2008. Disponible en internet en: <http://www.infomadera.net>
- Viljakainen, Mikko *et al.* The open timber construction system. 1ª edición. Wood Focus Oy, 2003. ISBN: 952-15-0184-7.

➤ Artículos

- Cartas finlandesas. Boletín de información técnica AITIM 203 (2000) Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>.
- Casas de madera en España. Boletín de información técnica AITIM 256 (2008) Disponible en Internet en: <http://www.infomadera.net>.
- Nuere, Enrique. "Construir con madera". Informes de la Construcción. Vol. 49, 453 (1998).
- Timber frame 2000. Trada. Disponible en Internet en: <http://www.trada.co.uk>.
- Esteban Herrero, Miguel. "Estado actual de la investigación sobre madera estructural en España". Informes de la Construcción. Vol. 59, 506, 15-27, abril-junio 2007. ISSN: 0020-0883.
- Gonzalez Rodrigo, Beatriz. "La madera en la construcción de entramados inclinados de viviendas unifamiliares. Situación actual en España". Informes de la Construcción. Vol. 59, 507, 59-68, julio-septiembre 2007 ISSN: 0020-0883.
- Vahik Enjily. The performance of timber structures, elements and components. COST Action E24, Oct. 2001, Denmark.

➤ **Otros documentos**

- Apuntes de estructuras de madera I y II “Tecnologías de la Madera Aplicadas al Diseño de Estructuras” del departamento de tecnología educativa de la universidad pedagógica nacional francisco Morazón. Disponible en internet en: <http://www.upnfm.edu.hn/>

AGRADECIMIENTOS

Como ya he dejado entrever en alguna ocasión es un tema que me entusiasma y al que le tengo mucho amor. Así que a la primera persona que quiero agradecer este trabajo es a Olli Ilveskoski por introducirme en el tema y al programa Erasmus por permitirme salir de España a conocer otras maneras de hacer las cosas y las casas.

Pero con quienes he aprendido realmente lo que significa una casa de madera ha sido con Todd Sauders, Klaus Bo Christensen y May Britt Christensen, infinitas gracias por el tiempo en Noruega, por todo, por las horas pasadas en el estudio y fuera de ella.

En lo relativo a este trabajo son muchas a las personas que tengo que agradecerles su ayuda: Lino Trillo, Enrique Peraza, Maria Celia, Victoria Bonet, Miguel Nevado, Manuel Muelas, Santiago Muelas Jose, Xulio, Inmaculada, Luis Palle, Jose Antonio Gonzalez y Miria Martinez. Gracias a todos por atenderme y encontrar un minuto por contestar a mis insistentes mails.

Por supuesto gracias a Emili Hormias por su paciencia, por encontrar siempre un momento aunque fuera a horas un poco complicadas y por sus acertados consejos.

Y para acabar, gracias, un millón de gracias a Clara por estar a mi lado apoyándome y mojándose incluso, cuando ha sido necesario. Por leerse desde la primera a la última pagina de este trabajo y por tus comentarios y criticas. De verdad, me haces sentir en una posición de deuda que no se como pagar.