



B-64849599

Cra. Nal. 152, C-17 (Pla d'ARENES s/n)
17520-Puigcerda
Tf.- 669 49 62 20

www.casasmadera.cc
www.construccionelabassa.com
email: info@construccionelabassa.com

EL SISTEMA ESTRUCTURAL DE PLATAFORMAS PARA VIVIENDAS CON ESTRUCTURA DE MADERA



MEMORIA BÁSICA
Noviembre de 2011

EL SISTEMA ESTRUCTURAL DE PLATAFORMAS PARA VIVIENDAS CON ESTRUCTURA DE MADERA

1- INTRODUCCIÓN

La construcción con madera es flexible, económica y ecológica.

En este proyecto se respetan las normas técnicas, el buen diseño y la construcción acordes al proyecto lo que da lugar a considerar la vivienda construida con estructura de madera como suficientemente "habitabile".

La construcción en madera puede llegar a ser de mejor calidad constructiva que la convencional, aspecto que se demuestra en Norteamérica (Canadá y EE.UU.), donde se utilizan de forma masiva desde el siglo XIX.

La madera como material constructivo es de los más antiguos, con una amplia gama de ejemplos en el desarrollo del hábitat humano. Los aspectos comparativos más ventajosos que ofrece este material son la calidez de los espacios interiores, la flexibilidad funcional al cambio, el aspecto económico y, finalmente, el ecológico, entre los más destacables.

En la década de 1960, pero sobre todo a mediados de 1970, se retorna el uso de la madera como material constructivo, en especial debido a la crisis energética que, en cierto modo, aún continúa con el añadido medioambiental (figura 2.1).

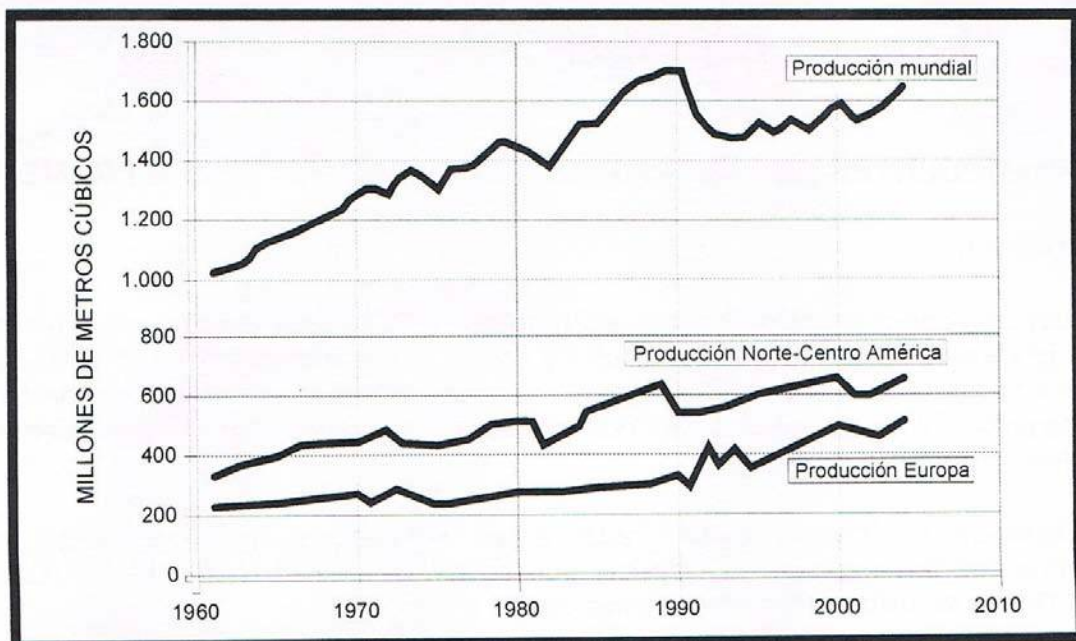


Fig. 2.1. Producción de madera industrial durante 1961-2004 (FAO, 2005)

Lo que caracteriza de manera positiva a las construcciones de madera es que los elementos constructivos se montan en seco e inmediatamente la estructura entra en servicio. De otro lado, el bajo peso relativo de los elementos estructurales de madera y sus derivados posibilita una fácil manipulación de los mismos sin necesidad de costosos equipos auxiliares de montaje y transporte. Los elementos estructurales y constructivos pueden ser fabricados "in situ".

La ventaja de realizarlos en fábrica implica su producción en serie con un control de calidad garantizado.

En el momento actual, el 90-95% de las viviendas en Canadá y EE.UU. están construidas con estructuras de madera. En los últimos años, en ambos países se construyen unas 2 millones de viviendas al año con estructuras de madera y, en particular, con el sistema de plataformas y entramado ligero (Platform frame).

La madera, como elemento estructural y constructivo, posee un amplio espectro de posibilidades técnicas que otros materiales convencionales lo tienen de forma parcial, como son la capacidad estructural, comportamiento higr-térmico, atenuación acústica, resistencia al fuego, estética, es fácil de trabajar, precio competitivo, montaje sencillo, posibilidad de desmontaje, multitud de usos como material, utilización independientemente de la climatología, largo tiempo de vida bajo condiciones de diseño, uso y mantenimiento adecuados, etc.

Para la edificación con madera existen varios sistemas estructurales o conformaciones constructivas, las cuales, a su vez, podrían dividirse en varios, terminando por tipos que utilizan más de un sistema, por lo que se definirían como mixtos.

2- SISTEMAS CON ESTRUCTURA DE MADERA

La forma geométrica de los elementos longitudinales (pilares, vigas, viguetas, etc.), cerramientos (forjados y particiones) o de toda la estructura de un edificio determinan 3 aspectos básicos de carácter específicamente estructural:

- La forma en que la 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 utilizado.

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, sobre todo en las últimas décadas. Muchas de ellas se prestan de modo particular a la construcción de edificio con luces medias y altas, si bien, en el momento actual, las luces son todavía limitadas en la edificación

residencial, pues éstas normalmente responden a estructuras pequeñas con elementos planos para techos, paredes incluso cubiertas.

3- ENTRAMADO LIGERO DE MADERA

Las estructuras de entramado ligero (Light framing) 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 o empotrados a éstos, 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, utilizando en este caso cerchas ligeras.

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

Actualmente es el sistema más difundido, ya que es sencillo, permite altos grados de prefabricación y rapidez de montaje. De otro lado, permite la construcción de un edificio de 4 plantas, gran diversidad de acabados, y no se conoce límite para la capacidad de los arquitectos a la hora de diseñarlos. Del 70 al 80 por ciento de los edificios construidos en Canadá, EE.UU., Finlandia y Suecia son de entramado de madera.

- Sistema de plataformas con entramado ligero de madera (Platform frame):

Es el sistema más extendido y el utilizado por la vivienda de entramado ligero de madera que responde al presente proyecto. No solamente se utiliza en Canadá y EE.UU., sino gran parte del mundo, aunque en España todavía no esté muy extendido.

A diferencia de otros sistemas de madera, los entramados responden a una sola altura, por lo que permiten más altura (hasta 4) y grados de prefabricación más eficaces y eficientes. Así, los forjados van apoyados sobre el entramado inferior.

La mejor característica del sistema frente al resto, tanto de madera como los ejecutados con técnicas tradicionales, consiste en su elevada versatilidad y variedad de soluciones, tal como iremos comentando y analizando.

4- ÁMBITO DEL APLICACIÓN

El uso intenso de la madera como elemento estructural base, sin perjuicio de los aspectos seguridad y economía, implica la construcción de edificios de baja y media altura.

Numerosas normativas sobre protección contra incendios en el ámbito geográfico donde abunda este sistema constructivo imponen ciertas restricciones sobre el uso de la madera a edificaciones residenciales. No obstante, salvo excepciones donde no se encuentra el Código Técnico de la Edificación, las restricciones aparecen conforme aumenta la altura de los edificios (altura de evacuación). De otro lado, otras consideraciones de tipo funcional y normativo favorecen la construcción de edificio en pocas alturas (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Uso potencial de la madera estructural según el tipo de edificio

Tipo de vivienda		Uso de la madera en elementos estructurales
Tipo	Nº Plantas	
Viviendas unifamiliares		
Viviendas aisladas	PB PB+1	Se pueden ejecutar, sin problema alguno, edificios donde todos los elementos estructurales son de madera.
Pareadas y adosadas	PB PB+1 PB+2	No existen inconvenientes, aún por aspectos relacionados con la compartimentación entre viviendas, las medianeras suelen ejecutarse con materiales tradicionales. No obstante, también podrán ejecutarse de madera, siempre que se aseguren las condiciones acústicas y de comportamiento frente al fuego.
Viviendas plurifamiliares		
Bloques	PB+1, PB+2 y PB+3	No existen restricciones técnicas al respecto. Sin embargo, aparecen problemas de tipo acústico y de protección contra incendios en ciertos elementos separadores entre viviendas, éstas y zonas comunes, locales de riesgo, otros sectores de incendios, etc.
	Superior a PB+4	Algunas normativas en Norteamérica prohíben el uso exclusivo de la madera en estos edificios. El uso alternativo de materiales y técnicas convencionales con madera estructural todavía no garantizan a costes razonables el cumplimiento de las normativas sobre edificación. Por tanto, si la madera se utiliza, suele ser para elementos estructurales poco cargados o sencillamente no resistentes.

En cuanto a la posibilidad de plantas bajo rasante, ya que éstas se ejecutan con materiales convencionales que no implican problema normativo alguno, sólo la ejecución del primer forjado con elementos de madera estructural puede presentar problemas al respecto. Será el uso, tanto de la planta bajo rasante como de la baja, los aspectos que determinen la idoneidad de poder realizarlo con materiales convencionales o de madera estructural.

Por tanto, podemos deducir que el sistema constructivo de plataforma con entramado ligero de madera a que nos referimos tiene un ámbito de aplicación limitado, pero muy eficaz, a la construcción de viviendas unifamiliares de una o dos plantas, con aprovechamiento o no del bajo-cubierta y con la posibilidad de disponer de planta de sótano

5- DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

E3 sistema de plataforma y entramado ligero de madera tiene dos partes diferenciadas:

- La realizada con materiales considerados tradicionales o convencionales en las formas de construir en España. Nos referimos al hormigón armado o muros de carga de albañilería (bloques, ladrillos, etc.). A estos sistemas responde el diseño de la cimentación y, eventualmente en casos muy contados, el primer piso o forjado sanitario.
- El resto del edificio estará ejecutado con el sistema en sí.

Dejando a un lado la cimentación, la utilización de productos normalizados (básicamente madera aserrada, sus derivados, fijaciones y herrajes metálicos) y la rapidez constructiva hacen de este sistema el de mayor industrialización para viviendas con estructura de madera. Su concepción estructural da lugar a una arquitectura diafragmada con elementos portantes trabados entre sí.

Tiene un menor uso de escuadrías. Emplea gran cantidad de pequeños elementos, normalmente normalizados y certificados, aunque de bajo mecanizado, que facilitan la modulación, inter-cambiabilidad y prefabricación, disminuyendo los tiempos de ejecución y los costes finales de obra, siempre y cuando la misma parta de un riguroso control de calidad de los elementos que la conforman, y una planificación muy detallada de todo el proceso constructivo, aspectos todos ellos que se cumplen en nuestro caso.

Como veremos, en las edificaciones construidas con el sistema de plataforma con entramado ligero, resultan fundamentales el esqueleto estructural, los cerramientos y los revestimientos. El esqueleto (pies derechos o montantes, viguetas de piso y cerchas de cubierta) conforman la estructura principal; el cerramiento (tableros de fachada, de entrevigado en forjados y de soporte en cubiertas) la estructura secundaria; y los revestimientos interiores (, cobertura de cubierta, revestimiento exterior de fachada, pavimentos y, habitualmente, placas de yeso laminado o similares para trasdosados y cielorrasos) brindan protección global a la vivienda.

6- ESTRUCTURA LIGERA DE MADERA

Podríamos afirmar que cualquier sistema estructural constituido esencialmente por piezas de madera puede considerarse ligero, ya que la madera es, lógicamente, un material bastante ligero si la utilizamos con fines estructurales, tal como se denota en la tabla 2.2 en comparación con otros materiales alternativos.

De otro lado, los elementos estructurales de madera del sistema a analizar, no son macizos como sería una fábrica de bloque o ladrillo, sino que responden a diseños de entramado huecos o con rellenos de lana mineral, tanto en elementos verticales como horizontales, lo que les proporciona de una gran ligereza.

Estas apreciaciones, conjuntamente con el hecho de que el sistema utiliza la madera de una forma muy eficaz y racional, haciéndola trabajar de manera óptima, acentúan la definición del sistema estructural como muy ligero.

Tabla 2.2. Comparación de densidades para los materiales estructurales más comunes

Material estructural		Densidad característica (kg/m ³)
Hormigones y cementos	Hormigón armado normal	2.400 – 2.600
	Hormigón en masa con árido normal	2.000 – 2.200
	Fábrica de bloque normal de cemento	1.200 – 1.600
Mampostería con mortero	Piedra compacta (basalto, granito y mármol)	2.500 – 3.000
	Piedra porosa (arenisca y calizas)	1.700 – 2.500
Metales	Acero	7.800
	Acero inoxidable	7.900
	Aluminio y sus aleaciones	2.700 – 2.800
Cerámicos	Fábrica de ladrillo perforado	1.500 – 1.600
	Fábrica de ladrillo macizo	1.800
	Fábrica bloque de termoarcilla	725 – 950
Otros	Fábrica de bloques Arliblock	720 – 825
	Fábrica de bloques Ytong/Siporex	400 – 550
Maderas	Aserrada estructural de frondosas	640 – 1080
	Aserrada estructural de coníferas	350 – 500
	Laminada encolada estructural	350 – 450
	Tablero contrachapado u OSB	500 – 650

La optimización en el funcionamiento de la estructura se realiza haciendo trabajar a la madera a flexión y a compresión paralela a la fibra, que es sin duda como mejor se comporta este material desde un punto de vista mecánico.

El sistema de plataforma con entramado ligero de madera está perfectamente normalizado por los códigos y estándares en origen (Canadá y EE.UU.), y la mayoría de sus componentes están certificados por alguna asociación u organismo competente, por ahora en Europa no ocurre lo mismo.

No obstante, en los últimos años se han ido desarrollando en Europa, por parte de la EOTA, una serie de guías para el desarrollo del DITE (Documento de Idoneidad Técnica) y DAU (Documento de Aptitud a la Función), sin olvidar el mercado CE.

Concretamente existe una guía referida a construcciones de entramado ligero (ETAG 07), así como otros que especifican elementos puntuales, como piezas lineales de madera compuestos (postes, vigas, viguetas, etc.) o muros entramados resistentes o autoportante prefabricados. En estos documentos se analizan todos los requisitos esenciales referidos a resistencia mecánica, estabilidad, seguridad en caso de incendio, salubridad y medio ambiente, seguridad de utilización, aislamiento termo-acústico, durabilidad, etc.

En el momento actual, existe un protocolo para la evaluación de la idoneidad técnica de las casas de madera en general. Se diferencia de los anteriores en que sólo afecta a los requisitos de resistencia mecánica y estabilidad, resistencia al fuego y durabilidad, durante 10 años, por lo que va dirigido a solucionar el tema del Seguro Decenal.

COMPORTAMIENTO SISMORRESISTENTE

1- INTRODUCCIÓN

Los movimientos sísmicos, normalmente denominados terremotos, no son otra cosa que una descarga súbita de energía originada por el desplazamiento de las placas geológicas de la corteza terrestre. En algunas regiones del globo terráqueo existe un riesgo alto de este tipo de fenómenos, como la Costa Occidental de Norteamérica, el Pacífico Oeste y ciertas áreas del Mar Mediterráneo.

Las construcciones en estas zonas deberán diseñarse para que sean capaces de resistir cierto grado de movimiento sísmico. La fuerza de éstos viene determinada por múltiples variables, destacando la intensidad, la distancia desde el epicentro, el tipo de fenómeno geológico que lo genera y la configuración geológica del terreno en los alrededores del edificio afectado.

Una estructura, según su grado de rigidez y estabilidad, podrá reaccionar de formas dispares frente a un terremoto. Durante un movimiento sísmico, los edificios están sometidos tanto a fuertes desplazamientos verticales como horizontales. Los de carácter horizontal, llamados laterales o de cortante, implican el verdadero problema en el momento de diseñar y calcular aquellas medidas preventivas frente a los movimientos sísmicos de los edificios.

2- COMPORTAMIENTO DE LA MADERA FRENTE A UN MOVIMIENTO SÍSMICO

Como material estructural, la madera y sus derivados presentan ciertas ventajas con respecto a otros materiales, como el hormigón armado, el acero o los muros de carga cerámicos.

La madera puede considerarse un material relativamente resistente si consideramos que también es ligero, por lo que los movimientos sísmicos no transmiten tanta energía a través de estructuras de madera como lo hacen en otros tipos. De otro lado, las estructuras de madera son más flexibles, por lo que absorben y disipan de forma más eficaz la energía transmitida desde el terreno.

De otro lado, se ha constatado que la resistencia de la madera depende del tiempo de aplicación de la carga a que se somete, de forma que cuando están sometidas a

cargas de larga duración (peso propio) tienen una resistencia del orden de un 60% de las debidas a cargas de corta duración (de 3 á 7 minutos), como las de sismo y viento. Este comportamiento los diferencia del resto del hormigón, acero, etc., donde este efecto es inapreciable. Por ello, se deduce que la madera estructural es un material idóneo ante cargas dinámicas, como el sismo y viento.

En el sistema estructural de plataforma, la viguetas, generalmente de 38 mm. de espesor, están separadas de 30 á 60 cm. (normalmente 40 cm.); los techos se ejecutan uno por uno, de tal manera que cada uno de ellos sirve de plataforma para el apoyo del superior por medio de los entramados de carga. A su vez, los entramados se arriostran verticalmente con un tablero estructural de madera machihembrados (tipo OSB o contrachapado, de 11 mm. de espesor mínimo), por lo que adquieren una gran resistencia lateral, pasando a convertirse en lo que viene a llamarse como sistema de pared a cortante. Esta, siendo muy ligera y resistente, es estructuralmente muy eficiente. Así, la estructura en su conjunto, adquiere gran resistencia frente a los efectos de la gravedad, a la acción del viento y a los terremotos.

Esta última aseveración es particularmente interesante en aquellas zonas con riesgos sísmicos moderados y bajos, como ocurre en prácticamente la totalidad del territorio español.

Además, el estudio reveló que sólo en contadas ocasiones se derrumban los edificios construidos con el sistema de plataforma. Los pocos casos registrados, fueron edificios de gran altura que, por lo general, mostraban debilidad en la planta baja. Muchas viviendas modernas, tienen grandes huecos en sus muros de cerramiento en la planta baja (ventanales, miradores y puertas de garaje), lo cual implica debilitar la resistencia de los cerramientos, cualquiera que sea su forma de construcción. Así, será el análisis de la planta baja lo que nos asegura la estabilidad de la estructura frente a los movimientos sísmicos, tal como se plantean en la numerosa normativa y legislación sismo resistente existente en zonas con cierto riesgo.

3- PRINCIPIOS DE DISEÑO SISMORRESISTENTE

- Medidas generales:

Ningún edificio tiene una resistencia absoluta frente a los movimientos sísmicos. Sin embargo, en las zonas con cierto riesgo sísmico, será fundamental considerar una serie de medidas y precauciones previas en la fase de proyecto, tendentes a que, en caso de movimientos sísmicos, la estructura se mantenga estable y los daños sean los mínimos o que sean reparables con un bajo costo económico.

Por tanto, habrá que actuar sobre la estructura en la fase de diseño y en las medidas previas a adoptar. Ambos principios, efectuados bajo la regulación de las normas sismo resistentes, deberán asegurar la supervivencia de la vivienda.

La norma española contiene disposiciones generales y particulares en relación directa con los requerimientos mínimos de diseño. Su filosofía se fundamenta en que las

estructuras no deben colapsar, aún podrán sufrir daños, pero en ningún caso colapsar".

La norma analiza básicamente tres aspectos que determinarán el grado antisísmico que pueda tener un edificio:

1. Lo primero será estudiar tanto la superestructura como la infraestructura, entendiendo ésta última como aquella que va a soportar la carga y evitar que la construcción sea literalmente arrancada, consecuencia del terremoto. Así, el tipo de suelo será un factor importante a considerar.

En terrenos duros o rocas, las ondas sísmicas de alta frecuencia se amplifican, dañando principalmente las estructuras más rígidas (convencionales de hormigón, muro de carga cerámico, etc.). Sin embargo, los terrenos blandos amortiguan las ondas de alta frecuencia y, por lo general, amplifican las ondas de baja frecuencia, por lo que en este caso las estructuras más afectadas serían las flexibles, como la del sistema de plataforma.

2. El peso de la construcción: Cuando un sismo afecta la base de una edificación se producen fuerzas de inercia que originan esfuerzos y deformaciones en la estructura. A mayor peso de la edificación, mayores son las fuerzas y sus efectos. Cuanto más alto esté el centro de gravedad, mayores serán los esfuerzos en los elementos para mantener el equilibrio. Por tanto, conforme menos peso y la vivienda sea más baja, mejor comportamiento frente a un movimiento sísmico.

La edificación de madera posee gran flexibilidad en sus elementos estructurales y además poco peso: esta característica le otorga grandes ventajas frente a la acción de un sismo. Sin embargo, se debe poner especial cuidado en otros elementos que constituyen la vivienda, sobre todo si son rígidos, previniendo posibles daños ocasionados por los desplazamientos del conjunto.

3. Finalmente, el propio diseño constructivo del edificio, forma y dimensiones, incluido el diseño de la estructura y no el material en sí, determinarán su comportamiento.

4- APLICACIÓN SEGÚN LA NORMA DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE NCSR-02

- Clasificación del edificio:

Ya que analizamos viviendas unifamiliares, se considera que en caso de terremoto su destrucción puede ocasionar víctimas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible para la comunidad ni pueda dar lugar a efectos catastróficos. Por tanto, estas construcciones se clasifican como de importancia normal.

Criterios de aplicación de la NCSR-02 según la información sísmica de la zona:

Si perjuicio de aplicar medidas antisísmicas adicionales, la Norma Sismorresistente no sería de aplicación en aquellas zonas geográficas donde la aceleración sísmica básica (a_b) sea inferior a $0,04g$, siendo g la aceleración de la gravedad.

Según el mapa de peligrosidad sísmica (figura 6.1), excepto el Sur, Ceuta y Melilla, costa catalana, franja pirenaica, mitad norte de Navarra, Guipúzcoa, centro y Este de Galicia, Islas Baleares y Canarias, el resto estaría exento del cumplimiento de la norma para viviendas ejecutadas con este sistema. (Nuestro caso en Bitoriano).

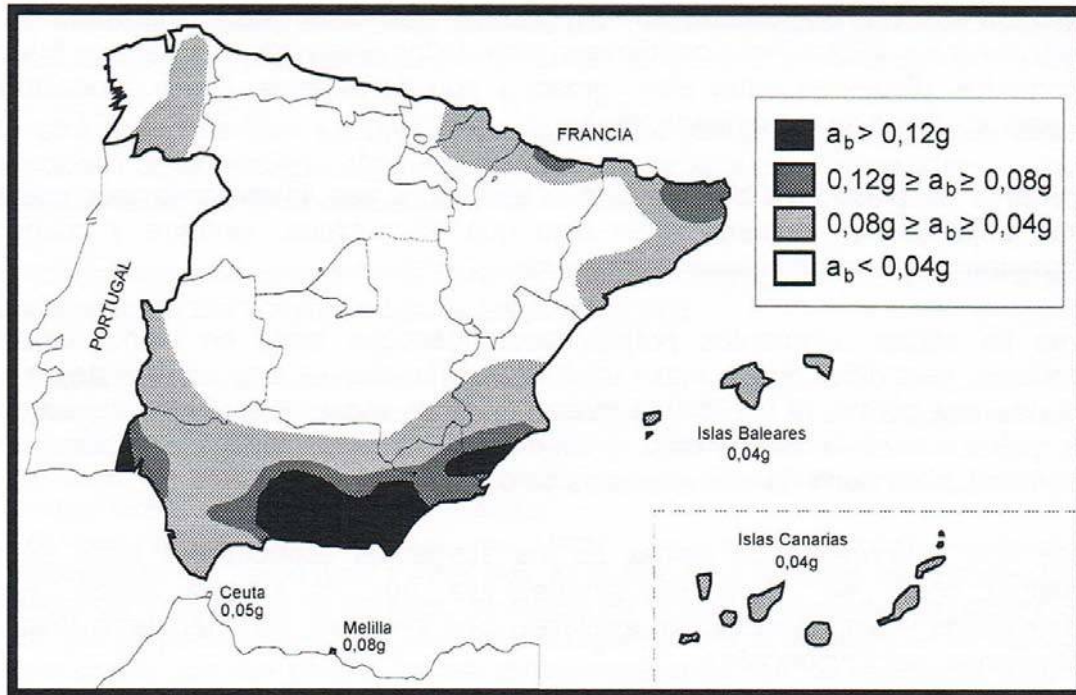


Fig. 6.1. Zonas con peligrosidad sísmica

De otro lado, la Norma indica que si los pórticos están bien arriostrados en las dos direcciones, tampoco se aplicaría la norma para aceleraciones inferiores a los 0,08g.

Según ensayos realizados en Canadá y Japón, con aceleraciones sísmicas de 0,08g o inferiores (en nuestro caso, casi todo el territorio nacional, excepto el Sureste, Huelva, Melilla, norte de Huesca y Gerona), una vivienda realizada con sistema de plataforma no sufre ningún desperfecto. Hasta 0,12g,

- Cumplimiento de la NCSR-02:

En definitiva, el Proyecto incluirá un apartado específico de "Acciones Sísmicas", justificándose su cumplimiento, o exención en caso de que cumpla las condiciones indicadas con anterioridad. De esta forma, cuando sea de aplicación, se indicarán los valores, hipótesis y medidas adoptadas en relación con las acciones, así como su incidencia en el diseño final de la vivienda.

Reglas de diseño:

La NCSR-02 indica una serie de medidas genéricas a aplicar para la forma y diseño de la vivienda que, en nuestro caso, se resumirían en las siguientes:

- La forma en planta y alzado de una vivienda unifamiliar construida con el sistema de plataforma suele ser regular, ya que se ejecuta con elementos prefabricados que permiten poca flexibilidad en las formas aún no en el diseño final.
- La composición estructural del sistema de plataforma no permite cambios bruscos en la rigidez de sus elementos estructurales, pues se suelen unificar las características de los elementos que la componen (dimensiones de las piezas de madera que forman los entramados, distancias entre ellas, grosor y tipo de tableros, tipo y dimensiones de viguetas así como su entrevigado, etc.).
- El sistema de plataforma permite que la estructura sea ligeramente más pesada en planta baja que en primera, y en ésta que en cubierta, siempre y cuando una disposición excesiva de huecos no lo impida.
- Como se utilizan elementos prefabricados idénticos tanto en planta baja como superiores, será difícil que la masa total de una de ellas exceda en más de un 15% la masa de otra planta, ni un 50% la masa media de todas ellas. En cualquier caso, la más pesada será la planta baja, y la más ligera la cubierta, sea habitable o no (recomendable a partir de aceleraciones de 0,12g).
- Existe una uniformidad de rigidez de los elementos estructurales tanto en planta (forjados) como en altura (entramados) ya que el sistema utiliza elementos prefabricados estandarizados con similares, sino idénticas, características (materiales, dimensiones, colocación, etc.).
- Como los esfuerzos horizontales a que se ve sometida la estructura se delegan básicamente en los tableros de arriostramiento de los entramados verticales, van colocados en dos direcciones ortogonales y en todo el perímetro del edificio, es decir, en todas las fachadas. En los suelos y techos, en caso de no colocar apoyos a sus juntas en perpendicular a las viguetas o pares de cerchas, se opta por tableros machihembrados. En los entramados no hace falta, pues todos los bordes del tablero estructural quedan clavados y, para optimizar su funcionamiento, podrán ir además encolados a montantes, travesaños, testeros o durmientes.
- Si por cuestiones de diseño existiesen elementos estructurales más pesados (hormigón armado, muros de ladrillo, etc.) siempre se localizarán en el centro de la planta de vivienda, o de manera regular (caso de medianeras en viviendas adosadas, por ejemplo).

Ya que la cimentación se ejecuta con técnicas convencionales, podrán aplicarse específicamente los criterios de diseño que la NCSR-02 indica para las cimentaciones.

No obstante, dado que se utilizan muros o muretes como apoyo de los entramados de carga, se garantiza que la cimentación quede atada en todo el perímetro. De otro lado, debido a las limitaciones en las luces a cubrir por las viguetas, y que éstas apoyan sobre entramados de carga, existirán otros muros o muretes interiores que arriostrarán toda la cimentación de forma ortogonal. Cuando la aceleración supere los 0,16g, estos muros o muretes serán obligatoriamente de H.A. En caso contrario, una solera

ligeramente armada, de 15 cm., sobre las zapatas corridas y acometiendo directamente contra el muro, sería suficiente.

En cuanto a los entramados de carga, la NCSR-02 no especifica aspecto alguno cuando son esqueletos de madera estructural. No obstante, podemos matizar algunos aspectos del sistema de plataforma que garantizan el cumplimiento para otro tipo de muros de carga.

Entre estos tendríamos los siguientes:

- El sistema de plataforma se caracteriza por utilizar entramados diferentes por cada planta (una sola altura), aspecto que garantiza su comportamiento sísmico resistente.
- De otro lado, siempre se utiliza la misma solución constructiva, pues rara vez se introducen otras, excepto algunos elementos puntuales que no influirían demasiado en el comportamiento de la estructura de la vivienda.
- Se tendrá especial cuidado a la hora de diseñar huecos en los entramados portantes, cumpliendo en todo caso las siguientes condiciones:
 - Distancia mínima entre dos huecos: 60 cm.
 - Distancia mínima entre un hueco y el extremo del entramado: 80 cm. En caso contrario, podrá colocarse una diagonal encastrada desde el testero superior hasta el inferior.
 - Refuerzo del dintel, y de la peana cuando sea un hueco de ventana. Podrá realizarse aumentando la sección o doblando la pieza.
 - Los pies derechos que delimitan una puerta nunca serán de cerco, es decir, siempre colocaremos una jamba junto a estos pies. En cuanto a las ventanas, se colocaran jambas por debajo de los extremos de la peana, reforzando así los pies que soportan las peanas.
- En zonas sísmicas con aceleración sea de 0,129 o superior, la ubicación de los huecos será lo más regular posible, incluso correspondiéndolos con los localizados en el resto de plantas.
- En el sistema de plataforma no existen rozas ni catas, por lo que el paso de instalaciones no debería disminuir la capacidad resistente del entramado. No obstante, se seguirán las condiciones de corte de los pies y travesaños para el paso de instalaciones (ver capítulo sobre montaje y ejecución del sistema).
- En el encuentro de las viguetas con los entramados, siempre existe un elemento de atado que recibe todas las viguetas. Cuando éstas sean paralelas al muro, se aconseja atar las tres primeras al muro mediante piezas en perpendicular.

5- MAYORACIÓN DE CARGAS GRAVITATORIAS SEGÚN LA ZONA SÍSMICA

Además de las medidas constructivas indicadas, la acción sísmica global para una vivienda unifamiliar ejecutada con sistema de plataforma se podrá obtener multiplicando la acción gravitatoria a considerar simultánea a ella por un coeficiente sísmico en función del tipo de terreno (coeficiente del terreno "C" según la NCSR-02), según al tabla 6.4. Coeficiente sísmico (C_s)

Tabla 6.4. Coeficiente sísmico (C_s)

Coeficiente del terreno "C" (1)	Aceleración sísmica básica (a _b) de la ubicación de la vivienda										
	0,04g	0,06g	0,08g	0,10g	0,12g	0,14g	0,16g	0,18g	0,20g	0,22g	0,24g
1,05 (buenos)	(2)	0,12	0,16	0,19	0,23	0,28	0,33	0,37	0,42	0,47	(3)
1,15 (normales)		0,14	0,19	0,21	0,26	0,30	0,35	0,40	0,44	0,49	
1,30 (flojos)		0,14	0,19	0,23	0,28	0,35	0,40	0,44	0,49	(3)	
1,60 (muy flojos)	0,12	0,19	0,23	0,28	0,35	0,40	0,47	(3)	(3)		

(1). El tipo de terreno se determinará mediante estudio geotécnico.
 (2). Sólo se cumplirán las prescripciones constructivas indicadas.
 (3). Se procede a un cálculo según la Regla General indicada en la NCSR-02.

Carga horizontal debida al sismo: $S \text{ (kN/m}^2\text{)} = C_s \times P$; donde "P" es la acción gravitatoria a considerar (con-carga y sobrecarga).

COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES FRENTE AL FUEGO: LA MADERA

El comportamiento frente al fuego de los materiales puede estudiarse desde dos puntos de vista: respecto a una forma activa o de reacción al fuego del propio material, o respecto a una forma pasiva o de resistencia al fuego de los elementos de los que dicho material forma parte (elementos constructivos). Por ello, fundamentalmente se estudiará el comportamiento al fuego de la madera en sí, y la reacción al fuego de los elementos constructivos de madera.

No obstante, dada la idiosincrasia del sistema de plataforma, otros materiales que disponen como imprescindibles para el comportamiento frente al fuego del edificio, también se analizarán.

1- COMPORTAMIENTO FRENTE AL FUEGO DE LA MADERA

- Comportamiento de la madera (reacción al fuego)

La reacción al fuego puede entenderse como el alimento que un material puede aportar al inicio, propagación y desarrollo de un incendio. A través de este concepto, puede analizarse la contribución de la madera y derivados al fuego, y la peligrosidad que representan.

La clasificación de los materiales en función de su reacción al fuego se regula por la norma UNE-EN 13238: 2002, en la cual se distinguen 7 clases según un índice general de comportamiento como material combustible e inflamable 28

Estas Clases serían:

- Las Clases A1 y A2 corresponden a los productos no combustibles, y representan a aquellos productos y materiales constructivos más seguros en materia de seguridad en caso de incendio.
- En término medio se sitúa la Clase B que, aún se define como combustible, su contribución al fuego se considera muy limitada.
- Las Clases C, D y E definen a materiales clasificados como combustibles. Luego, son materiales más peligrosos en caso de incendio con respecto a los anteriores.
- Finalmente, la Clase F son aquellos que no han sido sometidos a ningún tipo de evaluación en cuanto a sus prestaciones frente al fuego.

Exceptuando las Clases A1 y F, el resto se complementan con otras dos clasificaciones más (tabla 5.47):

- Clasificación relativa a la producción de humos.
- Clasificación relativa a la generación de gotas o partículas inflamadas.

Tabla 5.47. Clasificación para la opacidad a los humos y presencia de gotas inflamadas

Clases (UNE-EN 13238: 2002)	A1	A2	B	C	D	E	F
Nivel de opacidad a los humos		X	X	X	X	X	
Nivel de producción de gotas inflamadas		X	X	X	X		
Clase de opacidad a los humos	s1	s2		s3			
	Cantidad y velocidad de emisión baja	Cantidad y velocidad de emisión media		Cantidad y velocidad de emisión elevada			
Clase de producción de gotas inflamadas	d0	d1		d2			
	No se producen gotas inflamadas	No hay gotas inflamadas de duración superior a 10 segundos		Productos que no se clasifican como d0 ó d1			

El comportamiento frente al fuego de la madera depende esencialmente de dos parámetros: su espesor y la especie botánica que, en esencia, viene condicionada por su densidad.

En general, la madera y sus derivados siempre con espesores no inferiores a los 9 mm., suponiendo no tienen tratamiento ignífugo alguno, se clasifican con la letra D (combustible e inflamable), media o elevada producción de humos según donde se localice, en suelos o paredes-techos respectivamente (si y s2) con y sin posibilidad de caída de gotas o partículas inflamables (según espesor y existencia de cámara de aire posterior), según la tabla 5.48.

Tabla 5.48. Clasificación de la madera en función de sus propiedades de reacción frente al fuego

Producto	Localización	Densidad Kg/m ³	E (mm.)	Clase	
				No suelos	suelos
OSB	Cualquiera	≥ 600	3 á 9	E	E _{FL}
Contrachapado		≥ 400			
OSB	Sin espacio de aire detrás, pero directamente sobre lana mineral A1 (≥ 10 Kg/m ³) y madera D-s2, d2 (≥ 400 Kg/m ³)	≥ 600	≥ 9	D-s2, d0	D _{FL} -s1
contrachapado		≥ 400	≥ 12		
Madera maciza					
OSB	Con cámara de aire no superior a los 22 mm. al interior del tablero y, después, lana mineral A1 (≥ 10 Kg/m ³)	≥ 600	≥ 9	D-s2, d2	-
contrachapado		≥ 400	≥ 12		
Madera maciza					
OSB	Con cámara de aire superior a los 22 mm. al interior del tablero	≥ 600	≥ 15	D-s2, d0	D _{FL} -s1
contrachapado		≥ 400		D-s2, d1	
Madera maciza				D-s2, d0	
OSB	Con cámara de aire abierta al interior del tablero	≥ 600	≥ 18	D-s2, d0	
contrachapado		≥ 400			
Madera maciza					

Con tratamientos ignífugos (pinturas, revestimientos o impregnantes) se puede llegar a clases B y C con similares características en cuanto a la presencia de humo y caída de partículas inflamadas que la madera sin tratar.

Comportamiento de los elementos constructivos de madera (resistencia al fuego): La resistencia al fuego de un elemento constructivo de madera, o derivados, se valora como el tiempo durante el cual es capaz de seguir cumpliendo su función, bien sea estructural, de estanqueidad o aislamiento.

Los elementos constructivos se clasifican en función de las exigencias en varias categorías (capacidad portante 'R', integridad 'E', aislamiento 'I' y otros). A cada elemento constructivo según su función, se le pide más o menos exigencias. En el caso de viviendas unifamiliares, dicha combinación de exigencias se pueden simplificar en 4 grupos, definidas de la siguiente manera:

- **R:** Exigencia de capacidad o estabilidad estructural, que se aplica a cualquier elemento estructural sin función de separación contra el fuego.
- **RE:** Exigencias de capacidad portante y de estanqueidad al fuego. Se aplica a elementos estructurales que tengan función de separación frente al fuego, como paredes, suelos y cubiertas.
- **EI:** Exigencias de estanqueidad y de aislamiento al fuego. Se aplica a elementos
- Constructivos con funciones de separación frente al fuego, pero sin capacidad estructural, como las particiones no portantes que compartimentan sectores o locales de riesgo, incluidas fachadas y cubiertas.
- **REI:** Exigencias de capacidad estructural, estanqueidad y aislamiento al fuego. Se aplica a elementos estructurales con funciones de separación frente al fuego.

Todas estas exigencias se establecen conforme a una escala de tiempos que van desde los 30 minutos a los 240 minutos.

2- EL FUEGO Y LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MADERA

Las propiedades físicas de la madera son aquellas que determinan su comportamiento ante los distintos factores que intervienen en el medio, sin que se produzca ninguna modificación química de los materiales. Entre estos factores se encuentra el fuego, por lo que nos interesará el conocimiento de las características termo-físicas (básicamente la conductividad, calor específico y densidad) para poder determinar su comportamiento durante un fuerte calentamiento o acción directa de la llama.

Combustibilidad y carbonización de la madera:

La madera es un material formado principalmente por carbono, en un 50% para las coníferas, hidrógeno (6%), oxígeno (41%), nitrógeno (0,10%) y cenizas (0,50%), por lo que en presencia del oxígeno atmosférico (comburente) y una energía de activación (fuente de ignición) es muy combustible.

Sin embargo, en el inicio de un incendio, es fácil que la madera no sea el primer material en arder. Ello se debe a varias razones, empezando por el hecho de que en

una vivienda existen otros materiales mucho más combustibles, a menudo pertenecientes al mobiliario.

La combustibilidad de la madera depende de la relación que existe entre su superficie expuesta al fuego y el volumen de la pieza, de forma que cuando mayor es esa relación, más fácil es la ignición y más rápida la propagación de las llamas, aspecto que sucede con piezas de pequeña escuadría o tableros estructurales, todos ellos característicos del sistema de plataforma.

De otro lado, también la presencia de aristas vivas, secciones estrechadas o fendas aumenta el riesgo, aspectos éstos que también aparecen en el sistema constructivo analizado, por lo menos en los elementos lineales de madera aserrada.

Cuando la madera se encuentra expuesta en un incendio en pleno desarrollo, inicialmente se produce una combustión rápida de la superficie de la madera y se crea una capa carbonizada. Debajo de esta capa existe otra en la que se produce la pirólisis de la madera, y finalmente bajo esta capa aparece la madera sin afectar por el fuego (figura 5.46).

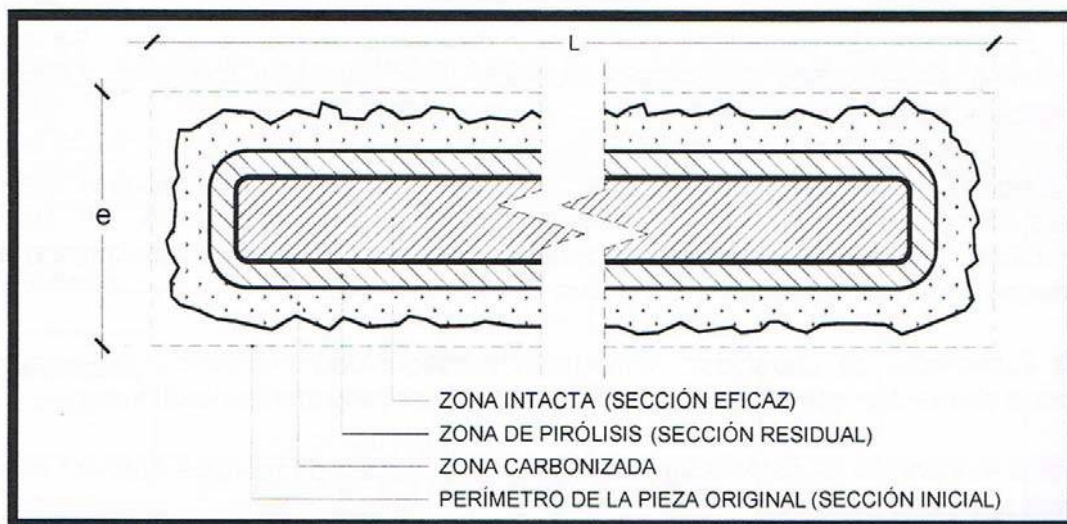


Fig. 5.46. Cambios en una pieza de madera bajo la acción del fuego

De forma pormenorizada, el comportamiento de la madera sometida a un foco calorífico varía en relación con el incremento de la temperatura que alcanza, pudiéndose diferenciar cuatro etapas a lo largo del proceso de deterioro:

- Desde el inicio del incendio hasta los 200 °C: la madera sufre una deshidratación interna, desprendiendo CO₂, vapor de agua, ácidos acético y fórmico, etc. Se produce una rápida pérdida de peso y, cerca de los 100 °C, puede generarse una leve carbonización. Aún se producen reacciones de oxidación ligeramente exotérmicas, no son suficientes como para provocar la ignición de la madera. Aún la temperatura exterior sea superior a los 100 °C, si la madera todavía tiene humedad en su interior, estará a no más de 100 °C.

- Temperatura entre los 200 °C y 280 °C: las reacciones de oxidación comienzan a ser realmente exotérmicas, apareciendo las primeras llamas aproximadamente a los 275-280 °C (punto de inflamación de la madera, siendo un factor importante el tiempo durante el cual es calentada). En este instante, el fenómeno de la pirolisis es aún lento, pero comienza a crecer de forma considerable, desprendiéndose del interior de la madera los primeros gases de combustión.
- Temperatura entre los 280 °C y 500 °C: se produce una importante pirolisis con elevado desprendimiento de calor y emanación de grandes cantidades de gases y vapores a través de la capa carbonizada superficial, la cual continúa creciendo. Tras la aparición de la llama superficial en la madera (entre los 280 °C y 400 °C según sea la llama directa o no), la formación y desarrollo de la capa carbonizada la hace disminuir incluso llegando a desaparecer, hasta que una cantidad suficiente de calor pase a través de ella para seguir con la pirolisis de las capas más profundas.

Al principio de esta fase, la mezcla de gases y vapores podría ser incombustible debido a la presencia de CO₂, vapor de agua, etc., pero el incremento posterior de temperatura provoca una mezcla combustible de CO, metano, formaldehídos, ácidos acético y fórmico, metanoj, hidrógeno, y partículas inflamadas de alquitrán, las cuales ayudan a que progrese la pirolisis. A partir de aquí, se produce un incremento de la capa carbonosa de muy baja conductividad térmica (hasta 6 veces menor que la madera), que retrasa la penetración del calor actuado como escudo térmico.

La temperatura de la madera en el curso de la combustión está comprendida entre los 400 y 500 °C aproximadamente. Esta temperatura es la mínima necesaria para continuar la combustión, por supuesto en presencia de suficiente oxígeno.

- Temperatura a partir de los 500°C: en la fase anterior el oxígeno va ganando superficie carbonizada, la cual comienza a arder a los 500 °C (aparece un color cereza) hasta consumirse. Este proceso continua hasta que se alcanzan los 1000 °C (color rojo amarillento), siendo el consumo de la capa carbonosa proporcional al de penetración en zonas de la madera con alta temperatura. Así continuaría, hasta su destrucción total.

Los tableros OSB y contrachapados convencionales, sin tratamientos especiales, inician la ignición en el orden de los 270 °C con exposición directa de la llama. Por encima de los 400 OC se produce la combustión espontánea.

De esta forma, el interior de la pieza de madera se mantiene fría por un periodo de tiempo y, por tanto, con sus propiedades físicas y mecánicas sin alterar. Así, la disminución de la Capacidad portante de la pieza sólo se debe a la pérdida de sección y no a las características resistentes de la madera en sí.

El espesor de la capa carbonizada depende, evidentemente, de la duración del incendio, de su intensidad y de la especie de madera (coníferas) o naturaleza del tablero derivado.

- Densidad de la madera:

Conforme una madera es menos densa, mayor facilidad tiene en comenzar a arder, pero con una combustión más lenta. Esto explica el variado comportamiento de las diferentes especies de madera frente a la presencia de fuego.

Por ello, los tableros estructurales tendrán un comportamiento diferente en función de la especie botánica con la que fueron manufacturados, naturaleza de otros componentes como los adhesivos, densidad, etc. En términos generales, el comportamiento de los tableros contrachapados y OSB son muy similares.

- Humedad de la madera:

La madera contiene agua (:5 19-20% de humedad relativa en piezas estructurales), y antes de que la superficie de la madera se inflame, será necesario que esa agua se evapore.

Por ello, la humedad de la madera hace que ésta no sobrepase los 100 °C cuando está sometida al fuego, hasta que toda se evapora. Pero no toda el agua se evapora, sino que una porción de ella fluye hacia el interior de la madera, enriqueciendo así las partes internas de las piezas estructurales.

No obstante, este intervalo de protección es mínimo, por lo que a efectos prácticos en un cálculo estructural simplificado y de protección frente al fuego se desprecia como tal.

- Calor específico de la madera:

También llamado capacidad calorífica específica, es la cantidad de calor necesaria para elevar a una cierta temperatura una determinada masa de sustancia, y se expresa en julios por kilogramo y grado Kelvin (J/Kg.K) según el Sistema Internacional

El calor específico de la madera es bajo, variando de los 1.250 a los 2.100 J/Kg.K según el contenido de humedad y la temperatura, siendo prácticamente independiente de la densidad. Para piezas estructurales manufacturadas a partir de coníferas, con humedad relativa inferior al 19-20%, podemos considerar un valor medio de 1.460 J/Kg.K.

Tal como observamos en la tabla 5.49, el calor específico de la madera es más alto que en el hormigón, ladrillos cerámicos o acero, incluso que para los aislantes térmicos normalmente utilizados en edificación. Por ello, con una misma masa e incremento de temperatura, para calentar la madera se necesita más calor que para otros materiales.

- Dilatación de la madera:

La dilatación es el aumento que experimenta un cuerpo en todas sus dimensiones cuando está sometido a calor, que suele ser, en la mayoría de los materiales, proporcional al incremento de la temperatura. Ese factor de proporcionalidad se define como el coeficiente de dilatación (medido en grados K⁻¹, equivalente a °C⁻¹) bien lineal,

superficial o cúbico 31, determinando el aumento de longitud, área o volumen, experimentado por el cuerpo por unidad de temperatura.

Los coeficientes de dilatación aproximados de la madera, así como de los diferentes materiales utilizados en el sistema de plataforma, son los indicados en la tabla 5.49.

Por tanto, el efecto de la dilatación de la madera será el aumento de dimensiones y consiguientes disminución de la densidad, siempre que esté libre de ligaduras. En caso contrario, se producen sobre-tensiones en los elementos estructurales o en otros adyacentes.

El coeficiente de dilatación de la madera en dirección paralela a las fibras, es decir, en la dirección en la que trabaja, es muy pequeño, por lo que las piezas de madera estructural bajo la acción del fuego se dilatan poco y, como consecuencia, no contraen al enfriarse. Esta ausencia de movimientos elimina los desplazamientos en apoyos, por lo que disminuye la posibilidad de derrumbe.

Tabla 5.49. Calor específico y Coeficiente de dilatación de los materiales de construcción

Material		Calor específico		Coeficiente dilatación (α)
		Kcal/Kg.°C	J/Kg.K	K ⁻¹
Aceros	De construcción	0,120	502	11 – 14 x 10 ⁻⁶
	Inoxidable y aleaciones Cr ó Ni	0,120	510	17 – 19 x 10 ⁻⁶
	Galvanizado	0,115	480	11,6 x 10 ⁻⁶
Metales	Hierro	0,110	445	12 x 10 ⁻⁶
	Cobre	0,094	393	16 – 19 x 10 ⁻⁶
	Bronce	0,086	360	
	Aluminio	0,220	900	23 – 25 x 10 ⁻⁶
Ladrillos cerámicos	Densidad: 1400 á 1600 Kg/m ³	0,220	920	5 x 10 ⁻⁶
	Densidad: 2000 Kg/m ³	0,200	835	9 x 10 ⁻⁶
Hormigón	Normal	0,170	710	9 – 13 x 10 ⁻⁶ (10 x 10 ⁻⁶ según EHE)
	Armado en una dirección	0,210	880	
	Armado en dos direcciones	0,240	1000	
	Enfoscado y mortero de cemento	0,200	836	14 x 10 ⁻⁶
Yesos	Enfoscado de yeso	0,220	925	-
	Panel cartón – yeso	0,240	1020	15 x 10 ⁻⁶
	Panel yeso - fibras	0,260	1100	10 x 10 ⁻⁶
Vidrio	Densidad de 2.500 Kg/m ³	0,199	830	9 x 10 ⁻⁶
Plásticos	Polipropileno (PP)	0,470	1965	18 x 10 ⁻⁶
	Poliamida (PA)	0,400	1675	12 x 10 ⁻⁶
	PVC termoresistente	0,250	1046	70 x 10 ⁻⁶
	PVC duro	0,350	1464	
	Polietileno de Alta Densidad	0,540	2260	20 x 10 ⁻⁶
	Polietileno de Baja Densidad	0,550	2300	10,3 x 10 ⁻⁶
	Polietileno Reticulado PEX			20 – 22 x 10 ⁻⁶
Aislantes	Poliestirenos y poliuretanos	0,360	1500	8 – 9 x 10 ⁻⁶
	Lanas minerales (roca y vidrio)	0,228	950	6 – 7 x 10 ⁻⁶
	Poliuretanos	0,350	1450	-
Madera	Roble	0,570	2385	2 – 9 x 10 ⁻⁶ , en dirección paralela a las fibras
	Abedul	0,330	1381	
	Arce	0,310	1297	
	Haya	0,380	1590	
	Chopo	0,320	1340	
	Pino	0,310	1297	30 – 70 x 10 ⁻⁶ , en dirección perpendicular a las fibras
	Pino blanco	0,350	1464	
	Alerce	0,380	1590	
	Tableros derivados	0,400	1674	

Nota: Estos valores son aproximados. Por tanto, serán las casas comerciales que suministren el material las que indiquen los valores exactos.

- Difusividad de la madera:

La difusividad térmica de la madera es una propiedad poco valorada que interpreta la velocidad con que un material se calienta puesto en contacto con una fuente de calor, en nuestro caso un incendio. En la madera es muy baja si se compara con cualquier otro tipo de material, como el acero u hormigón

- Resistencia de la madera:

La resistencia mecánica de cualquier material varía con su temperatura.

Indiferentemente de que un incendio evolucione a 500 o a 1200 °C, la madera permanece intacta algo más de un centímetro por debajo de su superficie. En comparación, el acero comienza a perder resistencia a partir de los 400 a 450 °C, mientras que la resistencia a compresión del hormigón se reduce a 213 a 650 °C, efecto que se acelera al enfriarse rápidamente al mojarse por los medios de extinción.

En cuanto a ciertos productos derivados de la madera, como los encolados y laminados, la resistencia al fuego también dependerá de la calidad del encolado y de los adhesivos utilizados. Si estos no son los correctos, los elementos se separan rápidamente y el elemento pierde todas sus características resistentes. Si el encolado resiste, la pieza se comporta incluso mejor que si fuese de madera maciza.

Luego, la pérdida de resistencia de la madera se debe a una pérdida de sección, y no a otros aspectos. Por tanto, dos pueden ser las estrategias a seguir:

- Aumento de la sección de la pieza de madera para que, considerando el fenómeno de Carbonización, la sección residual sea resistente durante el tiempo mínimo requerido.
- Protegerlas para que no se produzca esa pérdida de sección durante el tiempo requerido.

Sin embargo, en el sistema de plataforma, donde los elementos estructurales son múltiples y muy delgados, el aumento de sección estaría en contradicción con el principio del propio sistema: su ligereza y bajo uso de material estructural.

Por tanto, que en los edificios construidos con estructuras de madera con secciones pequeñas, éstas deberán ser revestidas y protegidas para retardar la exposición directa al fuego. Para responder a la normativa de protección contra incendios será necesario tener todos los datos disponibles sobre el comportamiento teórico del conjunto de los materiales utilizados en el sistema (madera, derivados, aislantes termo-acústicos, paneles trasdosados y cielorrasos, herrajes, etc.), pero sobre todo el tipo de protección de tipo de los elementos estructurales, más que de cual material se compone la propia estructura (madera y sus derivados).

Con respecto a los impregnantes u otras aplicaciones ignífugas podrían ser útiles en ciertos casos, aún nunca suponen soluciones definitivas para proporcionar la seguridad más adecuada. En realidad, como veremos, se trata de medidas adicionales

2. PROTECCIÓN DE LA MADERA ESTRUCTURAL

El uso de los tableros de madera o derivados no es la única forma en que el sistema de otro tipo plataforma delega la protección pasiva de los elementos estructurales de madera, sino que existen otros componentes que, además y conjuntamente con los tableros, se utilizan con dicha finalidad.

Estos materiales de protección pasiva deberán de poseer las siguientes características:

- Estabilidad a temperaturas elevadas.
- Baja conductividad térmica.
- Óptima aplicabilidad y fijación a la madera, directamente o mediante accesorios que también cumplan estas características.
- Resistencia y durabilidad mecánicas.

TRATAMIENTOS RETARDADORES DEL FUEGO

Los tratamientos de ignifugación de la madera tienen dos finalidades:

- Corregir su comportamiento al fuego.
- Retrasar su combustión, lo cual implica aumentar su tiempo de resistencia.

Cuando la madera arde, se quema a razón de 0,5 á 1 mm/minuto según el tipo. La madera tratada con retardantes de fuego podrá apuntar un cierto tiempo su combustibilidad, por lo que aumenta la resistencia y, como tal, la estabilidad de la estructura.

A la hora de elegir el retardante, debemos de tener en cuenta su clasificación, métodos de aplicación y el acabado estético, compatibilidad con otras piezas que se unirán a la madera (metales, adhesivos, etc.).

Existen dos categorías generales: pinturas y barnices ignífugos, e impregnantes. Éstos a su vez, se sub-dividen en superficiales y en profundidad, o aplicados sobre la madera o directamente en los compuestos secundarios durante el proceso de fabricación, como en los adhesivos de los tableros derivados de la madera.

Pinturas y barnices ignífugas:

Entre los procedimientos más frecuentes utilizados en la protección de la madera estructural, destacamos aquellos que ofrecen una protección superficial con pinturas y barnices. No obstante, dadas las peculiaridades del sistema de plataforma, rara vez se utilizará este método si no es para piezas vistas.

Son pinturas (opacas) y barnices (traslúcidos incluso transparentes, siendo el más utilizado el de cloro-caucho), éstos menos eficaces, de aplicación superficial, cuya protección frente al fuego las clasifica en tres tipos:

- Pinturas intumescentes, que reaccionan hinchándose y espumándose, formando así una capa encostrada aislante entre la llama y la madera estructural.
- Pinturas extintoras o sublimantes, las cuales en contacto con el fuego desprenden gases amonios extintores que podría colaborar en apagarlo.
- Pinturas ignífugas mixtas. Son aquellas que conjugan en una los dos efectos anteriores. Se espuman por acción de la llama y desprenden un producto químico que colabora a la extinción del fuego.

Podrán ser hidrosolubles (ambientes interiores), aún existen otros a base de disolventes orgánicos tóxicos, bien para exteriores (protección a la intemperie) o para acabados estéticos.

Se aplican directamente a la madera limpia previamente lijada, normalmente con pistola airless, incluso brocha y rodillo (reparaciones) con o sin una imprimación previa que podrá consistir en la propia pintura pero más diluida. Finalmente, tras 2 horas de secado, dejan un aspecto de acabado tosco e irregular que, trascurridas una 24 horas, alcanza su régimen de dureza de empleo.

Si la madera presenta nudos, previamente se sellarán con goma-laca u otro producto tradicional. Esto podrá optimizarse si previamente al sellado, se sangra el nudo haciendo exudar la resma, calentándola con lamparilla o soplete y rascando la resma que aflore.

El rendimiento del producto, aún varía según el fabricante, suele estar en los 2,2 Kg/M2 cada milímetro de espesor, con una imprimación previa de 0,12-0,13 Kg/m2.

El espesor de dicho protector irá en función de la estabilidad al fuego deseada y el tipo de elemento que se va a proteger (factor de forma o masividad, considerando las caras expuestas). A tal efecto, la tabla 550 expone los espesores necesarios según la masividad y tiempo de resistencia al fuego de una pintura en particular.

Tabla 5.50. Espesor en micras (10^{-6} mm), de la pintura

	Factor de forma (m^{-1})							
	≤ 70	70-80	80-90	90-100	100-110	110-120	120-130	130-140
30 min.	350							
60 min.	550	655	750	840	920	995	1065	1130

Nota 1: Para una protección de 30 minutos, con un espesor de 350 micras es suficiente hasta piezas con un factor de forma de $240 m^{-1}$

Nota 2: El espesor máximo a considerar es de 1.340 micras, con el cual se consiguen protecciones de 60 minutos en piezas con un factor de forma no superior a los $180 m^{-1}$

Por encima de los 1.340 pm., la capa sería demasiado gruesa, con los consiguientes problemas de adherencia al soporte y posterior desprendimiento. Por tanto, podrán implicar mejoras o ayudas, pero la protección de cualquier pieza estructural nunca podrá delegarse únicamente en esta estrategia.

Estos protectores normalmente también se utilizan como decorativos. Sin embargo, la mayoría de estos tratamientos no son idóneos para ambientes exteriores en presencia de la radiación UV, y por supuesto con alta humedad o agua, pues tienden a deteriorarse, lavarse y desprenderse rápidamente, por lo que exigirían de un alto mantenimiento.

Ya que se trata de productos industrializados, dispondrán de un Documento de acreditación técnica que incluya un certificado expedido por un laboratorio autorizado en el que se establezca el tiempo de resistencia al fuego en función del espesor de aplicación.

Impregnantes para la ignifugación de la madera:

La ignifugación de la madera con impregnantes siempre se realizará con productos de naturaleza inorgánica (fundamentalmente sales), que introduciéndolos en la pieza de madera, actúan interrumpiendo la cadena de reacciones en una o varias fases de la combustión.

- Los mecanismos de actuación de los ignifugantes pueden resumirse en los siguientes: Eliminación del calor o enfriamiento del combustible.
- Aumentar la temperatura de pirolisis.
- Descender la temperatura de pirolisis para así fomentar la formación rápida de la carbonilla vegetal y otros productos no inflamables, como las sales minerales.
- Fusión superficial de materiales que impiden el acceso de aire al interior de la madera, cortando la cadena de reacciones.
- Interferencia en las reacciones de oxidación, motivando el incremento de la temperatura de este proceso. Generalmente los ignifugantes crean gases que desplazan el oxígeno atmosférico en las cercanías de la pieza de madera.

Así, este tratamiento permitirá que la madera, material a priori que no cumple ningún requisito de comportamiento al fuego, pueda ser contemplada como material base de la estructura de un edificio y, en nuestro particular, de viviendas unifamiliares.

Al igual que para los tratamientos de durabilidad, existen dos tipos de impregnación según el método de aplicación y, en consecuencia, su eficacia: en superficie o en profundidad.

El tratamiento en superficie podrá aplicarse en obra o en fábrica, por pincelado, pulverización, etc. El tratamiento en profundidad se aplica en fábrica, con idénticos métodos a los utilizados para los protectores contra ataques bióticos y abióticos, es decir, por inmersión en caliente o en autoclave (ver capítulo sobre conservación de la madera).

Los productos secundarios de los que se compone un derivado de la madera, como los adhesivos, podrán incorporar de fábrica algún tipo de retardador de fuego.

Estos aditivos modifican las características de la madera, mejorándolas en cuanto al fuego se refiere, pero a veces empeorándolas en cualidades estéticas, de fragilidad, adherencia, etc., y, evidentemente, incrementando su costo.

En el momento actual, el mercado ofrece una amplia variedad de impregnantes para la madera. Destacan las sales inorgánicas con bases de borato, fosfato o sulfato, que actúan en fase sólida, provocando menos procesos combustibles y más carbonizaciones.

Por tanto, será otra vez la sal de bórax, o borato, el compuesto encargado de impregnar la madera para dotarle de cierta resistencia adicional al fuego. Este tratamiento tendrá una función múltiple, desde la protección contra agentes bióticos hasta el de ignifugación.

No obstante, y al igual que con las pinturas y barnices, dada la peculiaridad del sistema de plataforma, la resistencia y estabilidad estructural al fuego no se puede delegar únicamente en este tipo de protección, siendo en todo caso de carácter adicional.

A tal efecto, según la bibliografía consultada, mediante un tratamiento de sal de bórax para la protección frente a los ataques bióticos con Clase de Riesgo 2, la protección adicional frente al fuego es sólo de 10-15 minutos como máximo, insuficiente por sí solo para el cumplimiento de los requerimientos normativos.

A diferencia de otros compuestos inorgánicos, la sal de bórax permite aplicar acabados superficiales mediante pinturas, y no modifica el contenido de humedad del producto final.

RECUBRIMIENTOS CON MATERIALES AISLANTES

El aislamiento térmico con materiales de recubrimiento será el sistema básico de protección de la estructura utilizado en el sistema de plataforma con entramado ligero de madera.

Esto podrá realizarse con varias técnicas y múltiples materiales, entre las cuales destacamos los siguientes:

Morteros ligeros de perlita y vermiculita:

Para la confección de morteros aislantes y ligeros suelen utilizarse productos inorgánicos como la perlita y vermiculita expandida, incluso una mezcla de ambos, utilizando como ligazón tanto yeso, cemento como silicatos.

La vermiculita, que pertenece a la familia de la mica, se compone básicamente de silicatos de aluminio, hierro y magnesio. La perlita es una roca volcánica con un alto contenido en dióxido de silicio y óxidos metálicos.

Para su empleo en construcción, ambos compuestos se someten a un proceso físico de expansión consistente en calentarlos a altas temperaturas una vez triturados, aumentando su volumen hasta 20 veces, dada la aparición de bolsas internas de aire, aspecto éste que le confiere la alta capacidad aislante térmica y de resistencia al fuego tal como se indica en la tabla 5.51.

Tabla 5.51. Propiedades físicas de la perlita y vermiculita expandida

Propiedades	Perlita	Vermiculita
Densidad aparente (peso a granel), según granulometría	40 – 120 Kg/m ³	60 – 140 Kg/m ³
Punto de ablandamiento	870 – 1.100 °C	1.250 °C
Punto de fusión	1.260 – 1.340 °C	1.370 °C
Calor específico	837 J/Kg.K	835 J/Kg.K
Conductividad térmica	0,04 á 0,06 W/m.K	0,053 W/m.K
Nota: Los tipos de perlitas y vermiculitas expandidas se comercializan según su granulometría y densidad.		

El producto ya ligado se presenta como árido, mortero seco o húmedo, generalmente mezclado con otros componentes minerales que le dotan de mejores características mecánicas, físicas y químicas. Así, en el mercado existen múltiples tipos, dependiendo de su forma de aplicación (proyectado o no), mezcla de componentes, densidades o destino específico que, en nuestro caso, será el de protección frente al fuego (tabla 5.52).

Tabla 5.52. Características físicas del mortero aislante de perlita y vermiculita

Propiedad		Mortero de perlita y vermiculita
Espesores		10 á 60 mm.
Densidad	Perlita	400 á 600 Kg/m ³
	Vermiculita	300 á 650 Kg/m ³
Color		Blanco o grisáceo
Coeficiente de conductividad térmica	Perlita	0,08 á 0,12 W/m.K
	Vermiculita	0,12 á 0,22 W/m.K
Comportamiento al fuego		A1
Resistencia al fuego (aproximado)		60 min (10 mm.); 90 min (15 mm.); 120 min (20 mm.)
Nota: Estas características pueden variar bastante según el tipo de mortero, mezcla de sus componentes, etc., por lo que será la casa comercial que suministre el producto quién facilite los datos técnicos específicos.		

No obstante, en caso de utilizarlo, se contemplarían paralelamente sus otras características:

- Aislamiento termo-acústico y baja densidad con respecto a los morteros convencionales.
- Resistencia a la erosión del aire y fácil aplicación como solera, revoco o proyectado. • En caso de incendio, no genera gases de combustión o subproductos tóxicos. Sin embargo, presentan ciertos inconvenientes:
- Dudosa calidad de la adherencia a la madera, incluso utilizando adhesivos. Este problema podría resolverse utilizando mallazos metálicos, lo que originaría un encarecimiento de la actuación y su ejecución.
- Al aplicarse mezclados con agua podrían afectar a las piezas de madera estructural, incorporando grados de humedad que no garantizarían la

resistencia y durabilidad de las piezas. Habrá que proteger previamente la madera o el tablero con algún tipo de pintura o lámina impermeabilizante.

- Su densidad mínima, de 380 á 400 Kg/m³ (según los tipos, material ligazón y aditivos utilizados), implica cierta sobrecarga adicional para ciertas aplicaciones, en particular cuando tengan que cargar en un elemento no portante (falsos techos y trasdosados de cartón-yeso, por ejemplo).

En conclusión, excepto para recrecidos o losas flotantes (20 á 50 mm. de espesor) como estrategia paralela a la atenuación de ruidos de impacto, no parece una técnica idónea aplicable al sistema de plataforma.

Proyección de morteros:

Existen morteros, a base de áridos ligeros (vermiculita y/o, perlitas), ligantes hidráulicos y aditivos especiales, así como otros de fibras minerales, cerámicas o de fibrocemento sin asbestos, que mediante proyectado proporcionarían a las piezas estructurales de madera una protección de hasta 240 minutos.

En el mercado existen numerosos productos que responden a estas características. A tal efecto, en la tabla 4.53 se exponen las características de uno de ellos.

Tabla 4.53. Datos técnicos de un mortero proyectado para la protección contra el fuego

Reacción al fuego	A1
Densidad	800 Kg/m ³
Rendimiento	9,5 Kg/m ² cada centímetro de espesor.
Imprimación previa	0,12-0,13 Kg/m ²
Coefficiente de transmisión térmica	0,15 W/m.K

La superficie de la pieza a proteger deberá estar limpia para, en un principio, aplicar algún tipo de imprimación antes de proyectar. Esta capa previa debería de ser impermeable, para así impedir el humedecimiento de la madera. Una vez proyectado, el acabado permite pinturas y todo tipo de revestimientos finales.

Cuando el espesor del proyectado supere los 50 mm. se recomienda colocar una malla metálica o de otro material idóneo.

Al igual que cualquier tipo de protección, dependerá tanto del espesor como del factor de forma (masividad) de la pieza a proteger.

Su mayor inconveniente radica en la ligera pero no despreciable sobrecarga que aporta donde, aún tratándose de morteros ligeros, sería de 40-50 Kg/m² para 50 mm. de espesor.

Proyección de lanas minerales:

Frente al anterior tipo de proyectado, las lanas minerales ofrecen ventajas para este tipo de como sistema constructivo, pero siempre basadas en el principio del

aislamiento térmico de las piezas de madera o tableros estructurales. Es decir, el material impide la transmisión de calor a la pieza estructural.

Son tratamientos insensibles a la humedad, y necesitan de superficies secas para su perfecta adherencia, tal como se encuentran las piezas de madera estructural, pues casi nunca estarán expuestas a la intemperie.

De otro lado, la proyección con lana mineral procura al edificio de una aislamiento acústico e higr-térmico adicional, por lo que los tres tratamientos podrían unificarse en uno solo.

Esto implicaría reducciones en los costes de ejecución.

En el proceso de proyección no se utiliza agua, por lo que no se aporta humedad a las piezas de madera estructural.

Su conductividad térmica (0,038 - 0,047 W/m.K) es 3 ó 4 veces inferior a los morteros proyectados. Es incombustible y, como su densidad es baja (30 á 150 Kg/m³), no implica sobrecarga apreciable.

Sin embargo, tiene dos grandes inconvenientes con respecto a los proyectados de vermiculita o perlita:

- Tiene una resistencia al roce muy baja, por lo que los proyectados de lana tendrían que estar protegidos a los impactos y choques.
- Con un espesor de 15 mm. de lana mineral conseguimos una resistencia al fuego de 30 minutos según la densidad, a priori suficiente para los elementos estructurales de una vivienda unifamiliar. Sin embargo, para ese tiempo, los proyectados de morteros ligeros sólo necesitan un espesor de 10 mm., tal como se indica en la tabla 5.54.

Tabla 5.54. Resistencia aproximada al fuego de la madera con proyecciones continuas

Material/Espesor	10 mm.	15 mm.	20 mm.	35 mm.	55 mm.	70 mm.
Lana mineral	20 min.	30 min.	35 min.	60 min.	90 min.	120 min.
Perlita - vermiculita	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	240 min.	360 min.

Yesos y escayolas:

El yeso es un material de gran importancia en el recubrimiento para la protección pasiva contra incendios.

Es totalmente incombustible y bastante resistente al fuego. Ello se debe a que al exponerse al calor se produce una gradual expulsión del agua de cristalización que contiene, liberalizándose en forma de vapor, lo cual retrasa la elevación de la temperatura absorbiendo el calor. Durante este proceso, no se emanan gases tóxicos hasta su descomposición a los 960 °C aproximadamente. De esta forma, aumenta muy poco su temperatura y proporciona un excelente aislamiento térmico.

Dejando a un lado las placas con base de yeso, que veremos más adelante, el yeso se utilizará a menudo como mortero para el relleno o fijación de elementos, o sellado de paso de canalizaciones de las instalaciones potencialmente generadoras de incendios.

De otro lado, a la hora de utilizar protecciones con paneles o placas con base de yeso, el yeso será un material auxiliar imprescindible, dada su compatibilidad y ligereza.

A la masa de yeso podría añadirse aditivos como la propia perlita o vermiculita que, además de unas características adicionales acústicas, dotaría al mortero de mayor resistencia a fuego. A tal efecto, si un enlucido de yeso tiene una conductividad térmica de 0,40-0,57 W/m.K, cuando se le añade perlita y/o vermiculita, el valor se reduce a la mitad.

La resistencia al fuego adicional que puede aportar el yeso debería comprobarse mediante ensayo. No obstante, y a modo indicativo, los revestimientos de yeso en elementos de hormigón armado se consideran aportan una resistencia al fuego de 1,8 veces la del hormigón para un mismo espesor. Esto vendría a decir que, con espesores de 10-20 mm. sobre cualquier elemento protegido se garantizaría una protección de 30-60 minutos (tabla 5.55).

Tabla 5.55. Resistencia al fuego de morteros de yeso según el espesor y aplicación

Mortero	30 min.	60 min.	90 min.
Aplicación vertical			
Yeso y arena 1:1, sobre malla metálica	15 mm.	30 mm.	43 mm.
Yeso y vermiculita 1:4, sobre malla metálica	18 mm.	25 mm.	33 mm.
Yeso y perlita 1:25, sobre malla metálica	13 mm.	20 mm.	30 mm.
Aplicación horizontal			
Yeso y arena 1:1, sobre malla metálica	10 mm.	25 mm.	40 mm.
Yeso y vermiculita 1:4, sobre malla metálica	15 mm.	20 mm.	30 mm.
Yeso y perlita 1:25, sobre malla metálica	10 mm.	20 mm.	30 mm.
Yeso armado con fibra de vidrio	10 mm.	15 mm.	20 mm.

Su inconveniente radica en que como su aplicación es en capas, durante el incendio se producen desprendimientos por láminas. Para solucionarlo, se aplicarían aditivos (cemento y dextrina, por ejemplo), utilizando anclajes como una malla metálica, de fibra de vidrio, etc., aspectos que, evidentemente, encarecerían y dificultarían la ejecución de la obra.

PROTECCIÓN CON EL AISLAMIENTO TERMO-ACÚSTICO

La manta de lana mineral de vidrio:

Además de las características antes citadas para la lana mineral, su uso será uno de los procedimientos utilizados en el sistema de plataforma para la protección pasiva frente al fuego. Ello se debe a las siguientes razones:

- 1- El sistema constructivo incorpora la manta de lana mineral como elemento básico de relleno de los entramados verticales, de los forjados de viguetas y de la cubierta de cerchas. Por ello, además de su función termo-acústica, se utilizarán como elemento de protección contra el fuego.
- 2- Aún los elementos estructurales no quedan totalmente protegidos por las mantas de lana mineral, sino están de forma parcial, y en particular, las caras más desfavorables y más sensibles en caso de exponerse al fuego (montantes horizontales, testeros y travesaños de los entramados, laterales y almas de las viguetas, etc.).
- 3- Las cerchas se calculan de manera que sólo el cordón inferior, o tirante, aguantaría todas las solicitaciones de carga y sobrecarga trabajando a flexión, despreciando al condición de flecha. Así, en caso de incendio, aún el resto de cordones de la cercha perderían su capacidad resistente, los tirantes aguantarían los 30 minutos que exige la normativa para el desalojo de los ocupantes. Para ello, y previendo un fuego exterior (ya que la cámara de bajo-cubierta suele estar ventilada), la manta de lana mineral cubre todos los tirantes.
- 4- Con grosores de 89-140-200 mm. de lana mineral de vidrio de densidad 10 á 12,5 Kg /M3, se consiguen protecciones superiores a los 18-32-48 minutos respectivamente, tiempos a los que habría que sumarle el resto de protecciones (tableros, placas, impregnantes, etc.).

Madera con protección de manta de lana mineral de vidrio:

El Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico sobre Seguridad en caso de un Incendio (estructuras de madera) nos indica cómo ayuda la manta de lana de vidrio en la protección de piezas estructurales de madera.

En particular, indica que el caso de que exista otra protección con manta de lana de vidrio (en nuestro caso, todos los entramados y forjados de la envolvente térmica y, eventualmente, el resto de forjados por consideraciones acústicas), la madera protegida inicia su carbonización según la expresión:

Tais (minutos) = 0,07 x (e ais - 20) X p ais 112; tal que:

e ais: espesor del aislante (mm.), por delante de la cara protegida
p.i.: densidad del aislante (Kg/m3)

En este caso, la protección con aislante afecta a aquellas caras de las piezas que están protegidas, como los laterales internos en los entramados, almas de viguetas y cordones inferiores de las cerchas de cubierta por su parte superior. Estos tiempos de protección conociendo las características del aislamiento serían los indicados en la tabla 5.56.

Tabla 5.56. Tiempo de inicio de la carbonización con protección de manta de lana de vidrio

Elemento protegido	e_{ais} (mm.)	ρ_{ais} (Kg/m ³)	T_{ais} (min)
Viguetas, cabeceros, atado perimetral, etc.	200	10 á 12,5	39 – 45
	140		26 – 30
	89		15 – 17
	45		5,5 – 6
Esqueleto de entramados, sean portantes o no.	140		26 – 29,5
	89		15 – 17
Cordón inferior de las cerchas	200		39 – 44,5

Por tanto, una superficie protegida por lana de vidrio aporta un tiempo adicional de protección, por lo que se considerará conjuntamente con el tiempo de protección de los tableros, placas de yeso laminado y otras técnicas o materiales utilizados a tal efecto.

Colocación y fijación de la manta de lana de vidrio:

Para que la manta de vidrio tenga consideración de protector de la madera, deberá de fijarse de aquel modo en que garantice un mínimo de sujeción en caso de desprendimiento de los cielorrasos y trasdosados.

Ya que utilizamos mantas minerales de baja densidad (10 á 12,5 Kg/m³), literalmente encajadas por fricción en el hueco entre piezas de madera, será aconsejable disponer de elementos adicionales que garanticen su estabilidad, tales como mallazos de fibra de vidrio metálicos o mediante piezas auxiliares de madera.

PLACAS Y PANELES

Trasdosados y cielorrasos interiores como elementos de protección:

La utilización de paneles y placas permite aislar cualquier pieza de madera estructural, ya que el sistema de plataforma no contempla que ninguna parte de la estructura quede expuesta a las llama o, en cualquier caso, al ambiente, sea interior o exterior. Siempre está protegida.

Cuando se empleé dicho sistema, tendremos en cuenta los siguientes aspectos:

- Los coeficientes de dilatación del elemento protegido, la madera, y del protector y/o sus elementos de fijación, deberán ser similares. De esta forma se evitará la aparición de deformaciones y grietas.
- El material protector (placas o paneles y sus elementos de fijación) deben ser ligeros, de manera que no generen sobrecargas a la estructura que pretendemos proteger.

- El material de recubrimiento (placas y paneles) será resistente al chorro de agua y agentes extintores, para así evitar fisuras cuando, por la acción de las medidas activas contra incendios, se vean sometidos a los mismos.

En el mercado existen varios tipos de placas y paneles rígidos más que aceptables, cuya composición básica es muy variada: yeso laminado con y sin armado de fibras (los más comunes), silicato cálcico (específicamente como resistente al fuego), fibrocemento sin asbestos, escayolas, vermiculita prensada, perlita-fibras, lanas minerales rígidas, y así un largo etcétera , incluso tableros ignífugos derivados de la madera.

Con todos ellos se consigue que la estructura protegida tenga una resistencia, y estabilidad, al fuego, nunca inferior a los 30 minutos. A partir de este valor, hasta prácticamente los 240 minutos, existen varios materiales, gamas y modelos comercializados que cumplirían con los requisitos de seguridad, pero con ciertos sobre- costes a considerar.

Placas de yeso laminado:

Sin embargo, por razones prácticas (son muy ligeros), de viabilidad económica y disponibilidad en el mercado, a menudo se utilizarán los paneles de yeso laminado (cartón- yeso) tanto para trasdosado de paredes como para los cielorrasos.

También podrán utilizarse como capa adicional en el entrevigado, por encima de los tableros, para aumentar la resistencia al fuego de un forjado por su cara superior.

El cartón-yeso, o yeso laminado, es una placa de alma de yeso revestida en sus dos caras por una lámina de cartón que, en su gama estándar, podrá utilizarse en cualquier local interior libre de humedad 33. En estos casos, con los espesores comerciales y utilizando una o dos placas, se consiguen resistencias al fuego nunca inferiores a los 30 minutos (tabla 5.57).

Tabla 5.57. Resistencia al fuego según número y espesor de las placas de yeso laminado estándar

Espesores (mm.)	13	15	19	2 x 13	13 + 15	2 x 15	15 + 19	2 x 19	3 x 13
Tiempo (min)	30	30	60	60	60	90	90	120	120

Si se quiere conseguir un mejor comportamiento al fuego, o bien no utilizar grandes espesores o doble placa, existen placas con el alma de yeso mezclada con fibras de vidrio de 3 á 30 mm. (0,2% de su peso). Ahora, con grosores de 12 ¿ 19 mm., se consiguen resistencias superiores a los 30 minutos, incluso hasta los 240 minutos según el tipo y masividad (factor de forma considerando las caras expuestas) de la pieza a proteger (tabla 5.58).

Tabla 5.58. Resistencia al fuego según el número y espesor de placas tipo FOC (Pladur)

T min	Masividad de la pieza a proteger (m-1)						
	≤ 50	50 á 60	60 á 70	70 á 110	110 á 120	120 á 140	140 á 160
Viguetas de forjado							
15	13 mm.						
30	13 mm.						
60	13 mm.					15 mm.	
90	15 mm.	2 x 13 mm.					
120	13 + 15 mm	15 + 15 mm.		3 x 13 mm.			
Esqueleto interno de los entramados verticales, portante o no.							
15	13 mm.						
30	13 mm.						
60	13 mm.					15 mm.	
90	13 mm.	15 mm.	2 x 13 mm.				
120	2 x 13 mm.	13 + 15 mm.	2 x 15 mm.		3 x 13 mm.		

Finalmente, los paneles de silicato cálcico integrado en una matriz mineral, específicamente para la protección contra el fuego, aportan mayor defensa que los anteriores utilizando únicamente un panel. Con un espesor de 12-15 mm. se consiguen protecciones de más de 60 minutos. Con paneles de 18-20, prácticamente los tiempos superan los 120 minutos, siempre en función del factor de forma de la pieza a proteger.

PROTECCIÓN FRENTE AL RUIDO

1- EXIGENCIAS FRENTE AL RUIDO DEL CTE-DB-HR PARA VIVIENDAS UNIFAMILIARES

El CTE-DB-HR establece exigencia a ruido aéreo exterior, aéreo interior y de impacto. Exigencias en los niveles de aislamiento a ruido aéreo interior:

Se establece un límite mínimo al aislamiento entre recintos expresado mediante el valor D_{nAT} en función de la clasificación del recinto emisor y del receptor (protegido o habitable), tal como se indica en la tabla 5.30.

Tabla 5.30. Exigencias de aislamiento al ruido aéreo interior en particiones y forjados

Elemento constructivo	Local emisor	Local receptor en vivienda		Identific. CTE
		Local habitable	Local protegido	
Podrá ser un tabique o un forjado	Mismo usuario (tabiquería)	$D_{nAT} \geq 33$ dBA		E_A
	Otro usuario	$D_{nAT} \geq 45$ dBA	$D_{nAT} \geq 50$ dBA	D_A
	Zona común			C_A
	Recinto de instalaciones		$D_{nAT} \geq 55$ dBA	B_A
	Actividad diferente			A_A
Nota 1: Se supone que en viviendas unifamiliares y bi-familiares no existen zonas comunes o locales destinados a actividades diferentes al uso residencial-vivienda, como las comerciales.				

- Exigencias en los niveles de aislamiento a ruido de impacto:

Se establece un límite máximo a la transmisión de ruido de impacto hacia recintos locales siempre protegidos, expresado mediante el valor $L'_{nT,w}$ (en dB) en función del recinto emisor, tal como indica la tabla 5.31.

Tabla 5.31. Exigencias de aislamiento al ruido de impacto (Nivel a ruido de impacto)

Elemento constructivo	Local emisor	Local receptor en vivienda		Identific. CTE
		Local protegido		
Forjados	Cubierta transitable	$L'_{nT,w} \leq 65$ dB		-
	Otro usuario			B_I
	Zona común			-
	Recinto de instalaciones	$L'_{nT,w} \leq 60$ dB		-
	Actividad diferente			A_I
Nota 1: Se supone que en viviendas unifamiliares y bi-familiares no existen zonas comunes o locales destinados a actividades diferentes al uso residencial-vivienda, como las comerciales.				

- Exigencias en los niveles de aislamiento a ruido aéreo exterior:

En cuanto al aislamiento al ruido aéreo exterior, es decir, en fachadas y cubiertas, siempre con respecto a recintos protegidos, se marcan una serie de exigencias en función del Índice de Ruido durante el día (L_d). Este dato, en caso de no poder determinarse según datos reales suministrados por la administración competente, podrá cotejarse con los indicados en el CTE-DB-HR, de la forma en que se indica a continuación (tabla 5.32).

Tabla 5.32. Valores de aislamiento acústico a ruido aéreo ($D_{tr,2m,nAT}$), en dBA, entre recintos protegidos y el exterior, según el Índice de Ruido Día (L_d) para edificios residenciales

Índice de Ruido Día (L_d), en dBA	Tipo de área acústica (uso predominante)	Exigencias mínimas	
		Dormitorios	Estancias
$L_d \leq 60$	Residencial, docente, sanitario y cultural.	30	30
$60 < L_d \leq 65$	Terciario, que no sean recreativos y de espectáculos.	32	30
$65 < L_d \leq 70$	Industriales, o terciarias recreativas y de espectáculos	37	32
$70 < L_d \leq 75$	-	42	37
$L_d > 75$	-	47	42

Nota 1: Cuando una fachada sea de patio interior y se considere no le afectan ruidos de tráfico de cualquier tipo o aquél procedente de una actividad industrial, los valores del Índice de Ruido Día podrán reducirse en 10 dBA.

Nota 2: De igual forma, si existen ruidos procedentes de tráfico aéreo, según los mapas de ruido correspondientes, los Índices de Ruido Día se incrementarán en 4 dBA.

En cuanto a las medianeras, el CTE introduce otro cambio sustancial, diferenciando cuando existe, en el momento de su ejecución, otro edificio adosado o no (pero que se prevé algún día pueda construirse), y siempre y cuando el local receptor sea protegido, tal como se indica en la tabla 5.33.

Tabla 5.33. Exigencias de aislamiento al ruido de aéreo en medianeras

Definición de la separación	Aislamiento exigido
Medianera entre edificios	$D_{nAT} \geq 50$ dBA
Medianera con el ambiente exterior	$D_{2m,nAT} \geq 40$ dBA

Dicho procedimiento tendrá como finalidad alcanzar los niveles de aislamiento al ruido aéreo, de impacto, de instalaciones y, en algunos casos, no superar una valores límite de tiempo de reverberación.

Para ello, el CTE indica una serie de verificaciones, las cuales se exponen a continuación:

1. Cumplimiento de las condiciones de diseño y de dimensionado del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto de los recintos del edificio; esta verificación podrá llevarse a cabo mediante dos opciones: simplificada y general.

Independientemente de la opción escogida, el CTE exige el cumplimiento de una serie de condiciones de diseño de las uniones entre los elementos constructivos.

2. En el caso que se exija o, recomendado en nuestro caso, se verificarán las condiciones de diseño y dimensionado del tiempo de reverberación y de absorción acústica de los recintos afectados.

3. Cumplimiento de las condiciones de diseño y dimensionado referentes al ruido y vibraciones de las instalaciones.

4. Finalmente, se cumplirán las condiciones relativas a los productos de construcción, condiciones de construcción y condiciones de mantenimiento y conservación.

Para la justificación de las soluciones aportadas, cada proyecto incluirá en su memoria las fichas justificativas necesarias.

2- JUSTIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DEL CTE

Opción general:

Se trata de un procedimiento simplificado a partir de un modelo detallado en la norma UNE

EN 12354 partes 1 (ruido aéreo entre recintos), 2 (ruido de impacto entre recintos) y 3 (ruido exterior en fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el ambiente exterior) que consiste en considerar, además de las transmisiones directas, las indirectas y por flancos.

1. Determinar las características acústicas de los elementos constructivos utilizando valores aparentes realizados "in situ". No obstante, a efectos de justificación a nivel de proyecto, se aplican los ensayados en laboratorio o calculados a partir de formulaciones matemáticas.

2. Características geométricas de los locales afectados. Aquí se consideran aspectos relacionados con la superficie de los elementos constructivos (área susceptible de vibrar), tiempos de reverberación (uso del local, tipo de revestimientos y superficies) y longitud de las intersecciones entre elementos constructivos.

3. Análisis de los tipos de unión entre elementos constructivos. La interacción acústica de un elemento constructivo en relación a otro se puede evaluar mediante un coeficiente de unión entre ambos, que representa la capacidad de provocar una vibración en los elementos vecinos cuando el primero es excitado.

Los índices o niveles globales se calculan a partir del índice o nivel de los elementos de separación y laterales afectados, superficies del elemento, mejoras inducidas por el tratamiento de las superficies en los lados del elemento (local emisor y receptor), índices K de reducción de vibraciones o rigidez, etc.

Una vez realizados los cálculos, los resultados permiten ver, no sólo que las prestaciones acústicas son satisfactorias, sino también la posibilidad de detectar cual de las vías es determinante, y por tanto, sobre cuál de ellas es prioritario actuar con la finalidad de mejorar el comportamiento del conjunto, o qué vías son despreciables y no necesitan actuación alguna.

Otro inconveniente es el grado de incertidumbre que los índices K de reducción de vibraciones introducen en la apreciación del aislamiento entre locales (Anejo D del CTE-DBHR).

Opción simplificada:

Ésta proporciona unas soluciones que dan conformidad a las exigencias de aislamiento al ruido aéreo y de impacto, a partir de unos valores ensayados en laboratorio.

A una solución se le define como al conjunto de todos los elementos constructivos que conforman un recinto (elementos de separación verticales y horizontales, tabiques, medianeras, fachadas y cubiertas) y que influirán en la transmisión del ruido y vibraciones entre recintos adyacentes, superpuestos o en contacto con el exterior.

Sin embargo, el CTE indica que, aunque la opción simplificada es válida para cerramientos de separación verticales utilizando elementos de entramado autoportante (Ee) con la cámara rellena de material absorbente, sólo permite forjados y cubiertas denominadas convencionales (de hormigón, con o sin elementos ligeros, o mixtos de hormigón y acero). No considera como idóneos para esta opción los forjados y techos que utiliza el sistema de plataforma, pues son ligeros con una masa que, en cualquier caso, difícilmente superaría los 300 Kg/m².

De otro lado, siempre que no existan elementos horizontales de separación entre usuarios diferentes, o que se compartan, caso de una vivienda unifamiliar aislada y, casi siempre, las adosadas, el CTE-DB-HR permite la aplicación de la opción simplificada (Anejo J para las adosadas). A tal efecto, tendríamos las siguientes condiciones a cumplir:

- Tabiquería interior de la vivienda de entramado autoportante: RA > 33 dBA. .
Medianeras en viviendas adosadas:
 - Siempre formadas por un elemento de doble hoja (doble entramado con o sin muros intermedios de otra naturaleza, como de ladrillo u hormigón). En tal caso, a cada hoja, o entramado, se le exige un RA > 45 dBA, o bien, 50 dBA si se consideran ambos entramados y una hoja intermedia de obra húmeda.
 - Los equipos potencialmente generadores de ruidos y vibraciones de una vivienda, nunca se colocarán en recintos adosados a locales protegidos de la otra vivienda o, al menos, el aparato no se ubicará en la medianera.
 - Se supone que las viviendas unifamiliares adosadas nunca comparten aparato alguno. Sus salas de instalaciones, si existen, son independientes.
- Elementos de separación horizontal: dos viviendas adosadas no deben de compartir en ningún momento la estructura horizontal, es decir, un forjado. En tal caso, la opción simplificada no sería viable, al exigirse un forjado pesado convencional.
- Fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el aire exterior: El CTE marca una serie de condiciones que deben cumplir tanto los huecos como la parte ciega de

una fachada, cubierta o suelo en contacto con el ambiente exterior (vuelo, porche, etc.) y, en caso de existir, los aireadores y las cajas de persianas.

Estas condiciones van en función del valor límite de aislamiento acústico que se le exige a un recinto protegido con el exterior según la tabla 5.32 y del porcentaje de huecos expresado como la relación entre la superficie del hueco y la superficie total del cerramiento visto desde el interior de cada recinto (parte ciega más el hueco).

Los parámetros acústicos que definen los componentes de una fachada, cubierta o suelo en contacto con el exterior son los siguientes:

- Índice global de reducción acústica, ponderado A (dBA), de la parte ciega (R_A).
- Índice global de reducción acústica, ponderado A (dBA), para ruido exterior dominante (tráfico rodado, aéreo, etc.) del hueco ($R_{A,tr}$).
- Diferencia de niveles normalizada, ponderada A (dBA), para ruido exterior dominante (tráfico rodado y aéreo) de los aireadores ($D_{n,e,Atr}$).

A partir de aquí, la tabla 5.34 indica los parámetros acústicos de fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el exterior de los recintos protegidos en viviendas

Tabla 5.34. Parámetros mínimos a cumplir en fachadas, cubiertas y suelos en contacto con el exterior

$D_{2m,nT,Atr}$ según tabla 5.32	Parte ciega (R_A)		Huecos (porcentaje de huecos) $R_{A,tr}$ de la ventana y caja de persiana, y $D_{n,e,Atr}$ del aireador				
	100%	≠ 100%	≤ 15%	16 – 30%	31 – 60%	61 – 80%	≥ 80%
≥ 30 dBA	33 dBA	35 dBA	26 dBA	29 dBA	31 dBA	32 dBA	33 dBA
		40 dBA	25 dBA	28 dBA	30 dBA	31 dBA	
		45 dBA	25 dBA	28 dBA	30 dBA	31 dBA	
≥ 32 dBA	35 dBA	35 dBA	30 dBA	32 dBA	34 dBA	34 dBA	35 dBA
		40 dBA	27 dBA	30 dBA	32 dBA	34 dBA	
		45 dBA	26 dBA	29 dBA	32 dBA	33 dBA	
≥ 37 dBA	39 dBA	40 dBA	35 dBA	37 dBA	39 dBA	39 dBA	39 dBA
		45 dBA	32 dBA	35 dBA	37 dBA	38 dBA	
		50 dBA	31 dBA	34 dBA	37 dBA	38 dBA	
≥ 42 dBA	44 dBA	50 dBA	37 dBA	40 dBA	42 dBA	43 dBA	44 dBA
		55 dBA	36 dBA	39 dBA			
		60 dBA	36 dBA	39 dBA			
≥ 47 dBA	49 dBA	55 dBA	42 dBA	45 dBA	47 dBA	48 dBA	49 dBA
		60 dBA	41 dBA	44 dBA	47 dBA	48 dBA	
		-	-	-	-	-	

Esta opción es más que suficiente para justificar el cumplimiento del CTE para viviendas unifamiliares construidas con el sistema de plataforma, sobre todo si son aisladas. Para las adosadas, se tendrán que cumplir una serie de condicionantes de diseño y constructivos.

Por tanto, a continuación exponemos ejemplos de métodos constructivos relacionados con el sistema de plataforma y entramado ligero de madera, donde podemos apreciar cómo se pueden ir mejorando los índices de aislamiento acústico de los cerramientos,

es decir, de los valores R_w y $L_{n,w}$ ensayados en laboratorio. A partir de aquí, y en una situación real de proyecto donde conocemos los demás datos (ante todo, los coeficientes correctores a ruido rosa y ferroviario "C" y a ruido de tráfico rodado y aéreo "Ctr"), podríamos calcular los índices y valores exigidos por el CTE.

3- AISLAMIENTO DE TECHOS Y FORJADOS DEL SISTEMA DE PLATAFORMA AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO

- Disposición de los materiales:

El diseño de un techo o forjado de viguetas de madera se basa en cuatro actuaciones que, combinándolas, conseguiremos mayor o menor confort acústico. Estas cuatro medidas, en orden de importancia, son las siguientes:

- Relleno de las cavidades y recubrimiento de las viguetas con el material absorbente, de forma que el posible puente acústico que genera la vigueta, se rompe en sus laterales, tal como se indica en la figura 5.22.

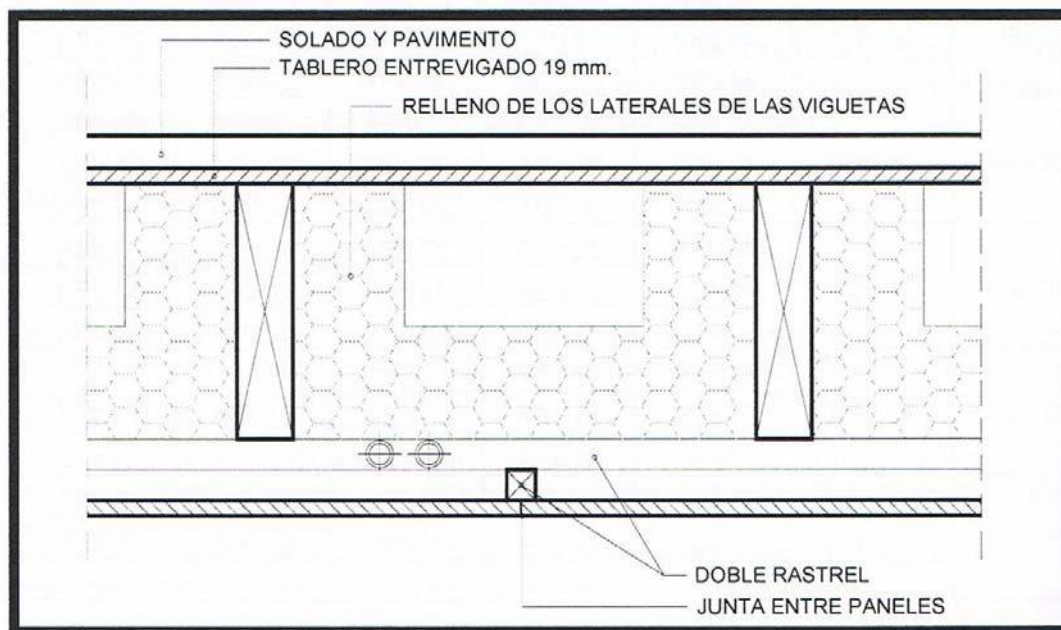


Fig. 5.22. Relleno de aislante cubriendo los laterales de las viguetas

- Frente a las viguetas de madera de sección rectangular, las viguetas en doble T con alma de tablero tienen una canal de transmisión acústico más delgado y menos homogéneo (madera-derivado, partes encoladas, etc.). Si las viguetas son de celosía, y el relleno absorbente se efectúa correctamente, los puentes acústicos se reducen al máximo.

- Forjadillos independientes o cielorrasos, tal como los falsos techos de yeso laminado fijados en doble o simple rastrel, sean o no resilentes.

La labor del techo es doble: por un lado mejora el comportamiento acústico del recinto emisor si se selecciona un material absorbente, y además, si se monta adecuadamente se incrementa el aislamiento al ruido aéreo del forjado.

- Mejora del aislamiento a ruido de impacto, y paralelamente al aéreo, mediante el tratamiento superficial de los solados y uso de suelos o losas flotantes.

- Mediante la disposición de losas flotantes de mortero u hormigón ligero, según la ley de masas, se incrementa el aislamiento al ruido aéreo.

El sistema de plataforma se basa fundamentalmente en el relleno de las cavidades entre viguetas con lana de vidrio de unas características absorbentes excelentes. Además, el cielorraso sobre rastreles mejora el comportamiento final del cerramiento horizontal. Se recomienda que el cielorraso quede separado de las viguetas, al menos, en 5 cm. si son de madera maciza. Cuando sean metálicos, el descuelgue irá en función del tipo comercial.

A partir de aquí, las variaciones desde esta solución constructiva básicas son múltiples.

Así, un forjado de viguetas separadas 40 cm., con relleno de lana de vidrio de 50175 mm., cubriendo el lateral de las viguetas, con tablero de entrevigado de 19 mm. (Contrachapado u OSB), con un cielorraso de 15 mm. De cartón-yeso fijado a unos listones de madera blanda, de 30 x 50 mm. Perpendiculares a las viguetas, tiene un aislamiento global mínimo frente al ruido aéreo de 44 dB, independientemente del los materiales de solado a colocar (figura 5.23).

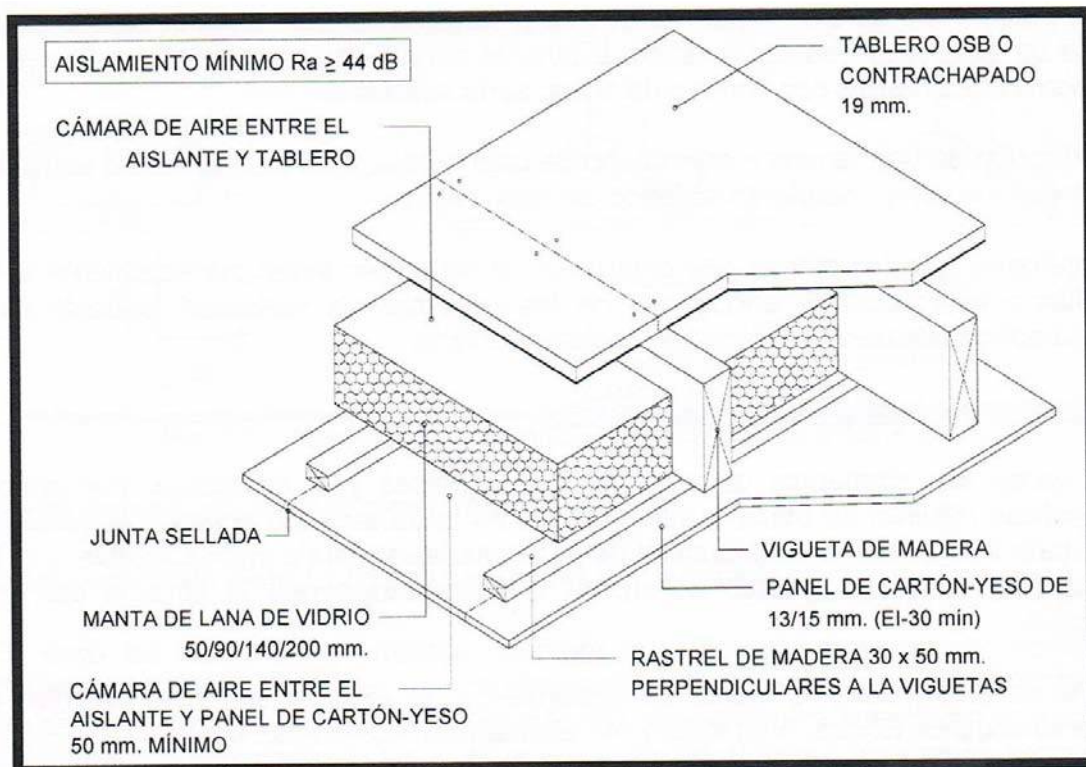


Fig. 5.23. Aislamiento al ruido aéreo de un techo-forjado tipo

Este nivel de aislamiento sería superior suponiendo que los espesores de la manta de lana de vidrio fuesen de 89,140 y 200 mm. Tal como plantea el sistema de plataforma.

- Recubrimiento del entrevigado:

Los tableros de entrevigado siempre irán recubiertos por los materiales que conforman el solado o cubierta. En cualquier caso, la sencilla colocación de un mortero o adhesivo y un pavimento de cualquier material, garantizan niveles de aislamiento al ruido aéreo de 50 dB sin considerar otras medidas como los rastreles resilientes en el cielorraso. Ambas medidas granizarían los 52-55 dB según los materiales y técnicas utilizadas para el cuelgue.

A partir de aquí, la colocación de materiales de diferente naturaleza entre el tablero de entrevigado y el pavimento implican mejoras acústicas de diferente rango: aumento de masa mediante un recocado o loseta de hormigón sobre el tablero de entrevigado previamente impermeabilizado, láminas resilientes entre el tablero y el pavimento (fieltros, paneles XPS, dobles tableros de diferente naturaleza, capas de arena seca sobre impermeabilizante, así como la combinación entre más de una de estas soluciones). Con estas técnicas constructivas, se pueden conseguir fácilmente niveles de aislamiento al ruido aéreo superiores a 55 dB.

- Suelos y losas flotantes:

Aún esta técnica va dirigida a reducir el ruido de impacto, también implican ciertos niveles de atenuación para los ruidos aéreos, debido tanto a la atenuación de vibraciones que pasarían a convertirse en ondas aéreas, como al aumento de masa del forjado.

4- AISLAMIENTO AL RUIDO DE IMPACTO

- Exigencias de nivel de ruido al impacto y disposición de los materiales:

Los golpes que se producen en la superficie de un forjado provocan su vibración y, por tanto, pasan a convertirse en un foco de ruido aéreo tanto al local inferior como adyacentes a través de los tabiques. Esta transmisión será mayor conforme más rígida sea la superficie del suelo y, en menor medida, del resto de materiales del forjado y de la unión entre el suelo y tabiques.

Luego, por nivel de ruido de impacto entendemos aquél que se recibe en un recinto receptor de la vivienda durante la excitación, normalmente, del techo superior a éste. Por tanto, cuando mayor sea el valor de recepción máximo permitido, mayor será el nivel de exigencia.

El CTE sólo exige niveles de ruido a impacto entre propietarios diferentes ($L'_{TT,W} < 65$ dBA) y cuando existan salas de instalaciones ($L'_{nT,W} < 60$ dBA) y el recinto afectado sea protegido. Por tanto, el CTE no se lo exige a viviendas unifamiliares, aún por consideraciones de confort acústico, analizaremos la situación cuando exista una sala

de instalaciones adyacente a un recinto protegido, pues afectaría a través de la conexión suelo-tabique.

En forjados dentro de una misma unidad de uso, es decir, una misma vivienda, no se exige aislamiento alguno. No obstante, en nuestro caso analizaremos el problema con independencia de su exigencia o no, también por consideraciones de bienestar acústico.

El aislamiento a ruido de impacto de un forjado constituido por viguetas de madera con relleno absorbente, tablero de entrevigado tipo contrachapado u OSB de 22 mm. fijado mediante clavazón, y un falso techo de cartón-yeso de 15 mm. ó doble de 13 mm. con rastreles resilientes de acero galvanizado, podrá variar según los siguientes aspectos:

- Según la distancia de entrevigado, pues son las viguetas el único puente acústico posible. Existirá mayor aislamiento conforme la distancia sea mayor. Como el sistema utiliza inter-ejes de 30 á 60 cm., serán los 60 cm. la distancia aconsejada.
- Tipo de vigueta, siendo preferible por orden de eficacia la de celosía, en doble T, maciza micro-laminada LVL, PSL o LSL y, finalmente, la maciza de madera aserrada. También su altura, que determina la longitud del único puente acústico posible.
- Materiales de cobertura, solados y pavimentos.

En condiciones normales, un forjado de este tipo, con falso techo y rastreles resilientes, puede tener un aislamiento a ruido de impacto de forma que los niveles de presión en el local receptor serían de 65-75 dBA con un pavimento cerámico o de madera pegado directamente al tablero, cifra que podríamos considerar como suficiente para forjados entre recintos que pertenecen a un mismo usuario. A partir de aquí, irá optimizándose su comportamiento según la vigueta utilizada, su altura y la distancia entre ellas. Sin embargo, dado que estos aspectos dependen más de cuestiones estructurales, serán los materiales de cobertura colocados por encima del tablero estructural los que determinen un notable aumento de la atenuación acústica del forjado al ruido de impacto.

Las soluciones más comunes, y viables en viviendas unifamiliares, son de dos tipos según la estrategia seguida:

- Reducir al máximo la cantidad de energía transmitida por el impacto al pavimento. En este caso, debe preverse una superficie de material elástico o blando de forma que la energía del choque se destine a deformar el pavimento. De otro lado, la cantidad de flujo energético que penetra en el pavimento se transmitirá a su través, por lo que disminuye la energía transmitida al forjado.

A su vez, esta opción permite actuar directamente sobre el revestimiento del pavimento y sobre sus bases o elementos de apoyo en contacto con el forjado. En cualquier caso, la propia complejidad de esta solución puede dar lugar a confusiones con respecto a los suelos flotantes.

- Colocar obstáculos en el camino de las ondas y vibraciones que se propagan por el forjado tras recibir el impacto. Para ello, se realiza un corte material con un elemento resiliente de reacción a la onda, y de conformación y densidad los más opuestas

posibles al material impactado. En cualquier caso, sean pavimentos cerámicos, pétreos o de madera, optamos por materiales elásticos de baja densidad, pero suficientemente rígidos para ser portantes (40 á 150 kg /M3 máximo).

El elemento elástico nunca se colocará entre las viguetas y el tablero estructural de entrevigado, ya que la unión entre estos dos elementos resistentes, que componen el forjado, debe ser rígida. Los inconvenientes que implican son el aumento del espesor del forjado, el encarecimiento de la obra y el sobrepeso.

En realidad, el grado de complejidad de un suelo blando puede derivar en un suelo flotante, y éste a su vez en una losa flotante.

Además, mediante el uso de un falso techo de cartón-yeso de 15 mm. o dos de 12113 mm., se obtienen notables mejoras al ruido de impacto (10 dBA), sobre todo si entre placas se coloca una lámina plástica resiliente.

- Suelos blandos o revestimientos flexibles:

Entre los suelos blandos englobamos tres grupos: pavimentos de láminas delgadas plásticas, textiles y de corcho, cada uno de ellos con sus peculiaridades. Todos ellos responden a un grado de industrialización muy alto, por lo que se garantiza un control de calidad en origen.

Aún no suelen ser utilizados en viviendas unifamiliares de nuestro entorno, en el momento actual y un futuro próximo podrían plantearse como tal, ya que el sector ofrece una amplia gama de posibilidades, entre los que destacan su excelente comportamiento acústico.

De otro lado, dada la amplia gama comercial existente, será la propia información técnica y comercial la que, a priori y como dato normalizado pero no aparente, suministre la capacidad de atenuar los ruidos de impacto del propio material, así como la forma de colocación en obra que garantice tales propiedades.

Dentro del nombre genérico de suelos plásticos o resilientes, encuadramos los realizados con linóleo, vinilo y caucho.

El linóleo es un material consistente básicamente en una pasta resinosa de materias primas vegetales, fabricado con aceite de linaza, residuos de madera o corcho, resinas sintéticas, cargas minerales y pigmentos sobre un tejido de yute o de fibras sintéticas que actúa de soporte. Fijado directamente al tablero mediante adhesivos, y con espesores de 2,5 á 3,5 mm. se consiguen reducciones a impactos de 2-3 dBA. Podrá incorporar una base adicional de corcho o fieltro donde, con espesores de 4 mm. se consiguen atenuaciones de 14 dBA.

Los pavimentos de PVC, que podrán ser homogéneos o heterogéneos (pues incluyen otro material diferente al PVC) presentan una amplia gama de posibilidades estéticas y funcionales. En general, los espesores son de 1,5 mm. á 4 mm. con atenuaciones acústicas de 2 dBA a ruido de impacto. No obstante, el mercado ofrece variantes con

bases de otro material como fieltro sintético, corcho o espuma de PVC, para mejorar las condiciones de absorción de sonido o de pisado, conocidos como tapices vinílicos. Se presentan con espesores de PVC de 0,50-0,70 mm. y base de 3 á 3,5 mm. En estos casos, las reducciones a ruido de impacto pueden llegar a ser de 19 dBA., además de atenuaciones a ruido aéreo similares.

Con caucho natural o sintético, últimamente reciclado, con materiales de relleno minerales y pigmentos colorantes, se fabrican pavimentos con espesores que varían desde los 2 á 10 mm. con atenuaciones a ruido de impacto muy altos, hasta los 20 dBA.

Las moquetas son pavimentos de naturaleza textil muy blandos y delgados que, aún presenta inconvenientes de tipo higiénico, aportan ventajas entre las que destaca el incremento de absorción del recinto y la atenuación al ruido de impacto, estimado en los 16 dBA. De otro lado, se puede suministrar con fieltros y soportes de PVC autoadhesivo o de espuma de polietileno. En este último caso, la atenuación a ruido de impacto puede llegar a ser de 25-30 dBA con espesores de 7-10 mm., fijados directamente al tablero estructural con adhesivos. Sólo con fieltros, conseguiríamos unos 20-22 dBA de reducción.

Los pavimentos de corcho, llamados parqués de corcho, están formados por aglomerado de ese material con o sin láminas decorativas, barnizadas o no. Tienen grosores de 4 mm. á 10 mm. formado a menudo por más de una capa de corcho y fibra de madera para darle rigidez. Estos pavimentos, fijados con adhesivo, implican incrementos al ruido de impacto de 10 dBA.

Tabla 5.35. Resumen de las posibles mejoras a ruido de impacto de los pavimentos blandos

Tipo de pavimento y base	Espesor (aprox.)	Mejora ruido de impacto (máximos según espesores)
Linóleo fijado directamente al forjado	2,5-3,5 mm.	2-3 dBA
Linóleo con base de corcho y fieltro	4 mm.	14 dBA
PVC homogéneo fijado directamente al forjado	1,5-4 mm.	2 dBA
PVC reciclado fijado directamente al forjado	10 mm.	6 dBA
PVC homogéneo con base de corcho o fieltro	3-3,5 mm.	7-10 dBA
PVC homogéneo con base de espuma de PVC	3-3,5 mm.	11-19 dBA
Caucho natural, sintético o reciclado	2-10 mm.	20 dBA
Moqueta directamente sobre el forjado	3-4 mm.	16 dBA
Moqueta sobre fieltro	7-10 mm.	20 dBA
Moqueta sobre espuma de polietileno	7-10 mm.	22 dBA
Pavimento de corcho con tablero de fibra de madera	4-6 mm.	10 dBA
Nota: Las mejoras son medias de las frecuencias de octava, siendo en todo caso inferiores a frecuencias bajas y superiores a las altas.		

- Suelos y losas flotantes:

La mejor opción para minimizar el ruido de impacto dentro de los procedimientos comunes en el ámbito de la edificación y de las mediciones realizadas "in situ", consiste

La supresión de la unión rígida entre la superficie impactada, que podrá ser dura o blanda el entramado resistente del forjado y tabiques, normalmente mediante elementos Esto no es otra cosa que aplicar la solución constructiva de suelos flotantes que permiten disminuir la transmisión de vibraciones de la superficie impactada y la estructura de la vivienda.

El suelo flotante consiste en colocar una material que impide la transmisión ere d pavimento con el resto del forjado, en nuestro caso y en un principio, sobre el 'estructural.

5- AISLAMIENTO DE TABIQUES DEL SISTEMA DE PLATAFORMA

- INTRODUCCIÓN

Los tabiques interiores, sean de carga o sencillamente autoportantes, responde a la tipología de particiones secas constituidas exclusivamente por elementos blandos a flexión, es decir, placas de yeso laminado entre los cuales se instala un material absorbente poroso como la lana de vidrio. Su ventaja acústica deriva en la obtención de valores de aislamiento acústico a ruido aéreo elevados a partir de soluciones de reducido peso y espesor.

Al igual que sucede con cualquier cerramiento mixto, el aislamiento de un entramado de madera relleno de lana de vidrio aumentará en función del espesor y número de placas de trasdosado en ambas caras, así como el método de unión de éstas al esqueleto interno de madera.

Ya que el sistema constructivo analizado no permite la alternancia de los pies o montantes interiores de madera, con vistas a la rotura del puente acústico, estos tabiques sólo dependerán de 4 factores para poder garantizar el aislamiento acústico (figura 5.37):

Espesor de la cavidad y, no tanto, del material absorbente. En este caso, estamos condicionados a las dimensiones estandarizadas del sistema, por lo que se nos presentan cavidades de 89 mm. Para los tabiques que no son de carga, y de 140 mm. para los que tienen características resistentes. Por tanto, tendremos espesores máximos de 89 y 140 mm. para la lana mineral, aún con 50 mm. Sería suficiente. No obstante, bien por motivos de ejecución y montaje en obra, o térmicos, generalmente la cavidad viene, casi en su totalidad, rellena de la manta de lana de baja densidad.

En un entramado básico, de 38 x 89 mm. Con placa de cartón-yeso a ¿cada lado, clavadas directamente al esqueleto de madera, y con relleno absorbente d'e 50 mm., sustituir las placas mínimas de 12113 mm. Por otras de 15116 mm, implica incrementos de aislamiento de 5 dB como mínimo.

Siguiendo el principio de la Ley de Masas, el tipo, espesor y número de paneles que se colocan como trasdosado en ambas caras determina el nivel de aislamiento. A tal

efecto, partiendo de soluciones sencillas de un panel de cartón-yeso de 12113 mm. a ambos lados, podremos aumentar el espesor de cada panel o doblarlos en número.

Sólo colocando un panel de 15116 mm. A cada lado frente a los de 12113 mm., garantiza aumentos de de 1-2 dB.

Doblando el panel en un lado, 2 x 12113 mm. Frente a uno de 12113 mm., se consiguen aumentos de 3-5 dB. Sin embargo, colocando dos a cada lado, no implica incremento de aislamiento perceptible.

Colocando una lámina o membrana plástica entre dos paneles, también se consigue optimizar el comportamiento acústico del tabique en algún decibelio.

Se debe garantizar la unión entre paneles y su estanqueidad, también con los del techo y materiales de solado, siendo el revestimiento final (tipo de pintura) un aspecto decorativo que nada influye en el aislamiento acústico, aún algo en la absorción superficial (reverberación).

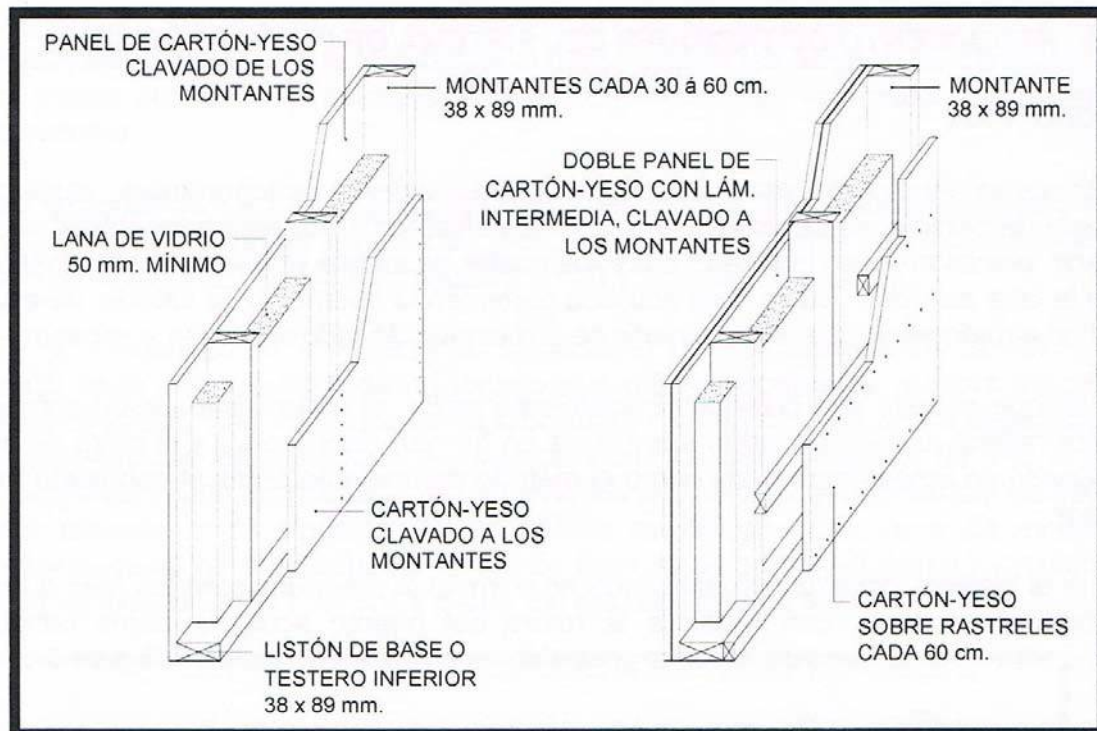


Fig. 5.37. Tabique interior: Solución básica y materiales adicionales

Tipo de unión de los paneles al esqueleto de madera del entramado. Nos referimos al sencillo clavado directo al entramado hasta unirlos mediante rastreles de madera en horizontal, resilentes metálicos, mixtos de metal-caucho-goma o de madera-cauchogoma.

A su vez, se pueden colocar doble rastrel, de forma que le puente acústico se reduce a puntos (cruces entre rastreles perpendiculares).

Los rastreles resilentes originan mejoras de hasta 10 dB.

La distancia entre rastreles deberá ser lo mayor posible, recomendándose, sin perjuicio de lo indicado por la firma comercial que suministre el material, unos 60 cm.

Ya que son los pies o montantes de madera los únicos canales acústicos que pudieran presentar problemas, la separación entre éstos influye en el aislamiento del tabique. Conforme estén más separados (60 cm. máximo), el aislamiento aumentará, pues mayor proporción del tabique irá relleno del material fonoabsorbente.

La unión entre tabiques, o éstos y el forjado no deben ser rígidos, sobre todo si se hacen coincidir dos piezas de madera estructural de diferentes elementos separadores. A tal efecto, siempre se colocarán bandas elásticas en dichos encuentros, solapados cuando se pueda a la lámina para-vapor plástica existente en la cara interior de los elementos que componen la envolvente térmica de la vivienda (cubierta y fachada).

- SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

En cualquier caso, el aislamiento de los tabiques deberá evaluarse mediante ensayo, teniendo en cuenta que la existencia de huecos y transmisiones indirectas (uniones con otros cerramientos mal solucionadas), los índices de aislamiento pueden variar sustancialmente. No obstante, a continuación exponemos una serie de ejemplos contrastados a partir de la bibliografía consultada, a menudo de origen norteamericano.

En la figura 5.38, exponemos el tabique básico que comúnmente va a utilizarse como divisoria interior entre recintos, siempre sin función estructural de carga dado su espesor.

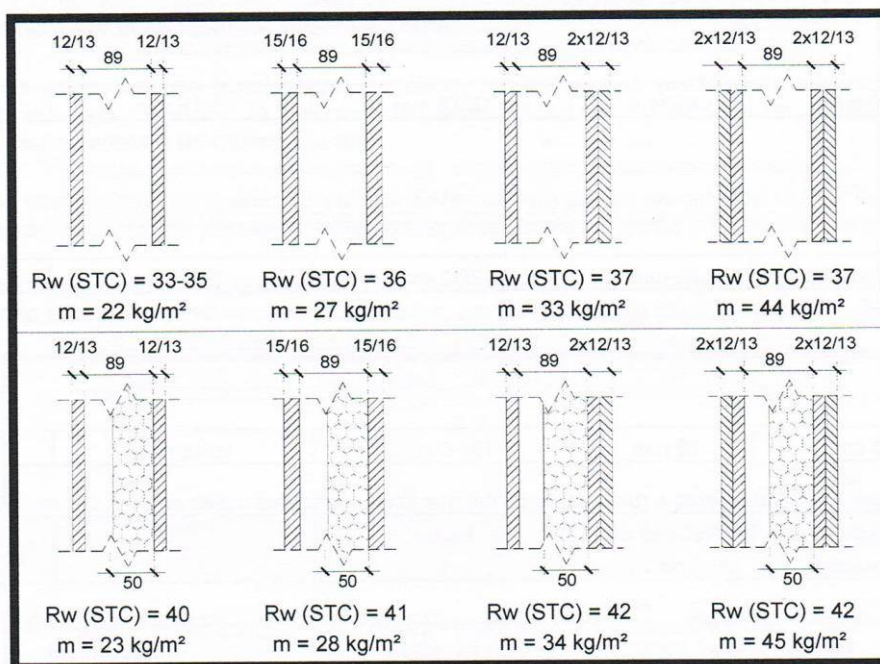


Fig. 5.38. Tabique interior: Solución básica y materiales adicionales

Partiendo de un entramado formado por pies derechos de 38 x 89 mm., con una placa de cartón-yeso de 12113 mm. a cada lado clavado al esqueleto de madera, el nivel global de aislamiento a ruido aéreo puede contabilizarse en 33-35 dB según la separación de los montantes (30 á 60 cm.). En caso de rellenar la cavidad con una manta de lana mineral de vidrio de baja densidad, de 50 mm. de espesor mínimo, el aislamiento sería de 40 dB.

Sustituyendo las placas de yeso laminado por otras de espesor 15116 mm. los aislamiento son de 36 dB y 41 dB sin o con relleno absorbente respectivamente.

Finalmente, colocando doble placa sólo en un lado, se consiguen mejoras de 2-4 dB. Colocando en ambos lados, no se consiguen incrementos perceptibles en el aislamiento.

Mediante otro ejemplo bibliográfico, podemos exponer los siguientes casos siempre con entramados formados por pies o montantes derechos de 38 x89 mm., variando la separación entre éstos (40 ó 60 cm.) y el espesor de los trasdosados (tablas 5.38 y 5.39):

Tabla 5.38. Aislamiento a ruido aéreo de tabiques con montantes o pies de 38 x 89 mm (I)

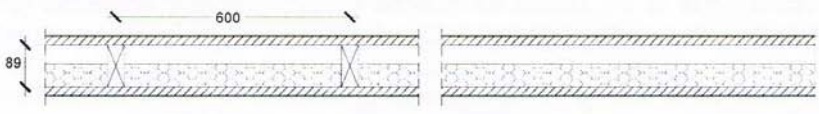
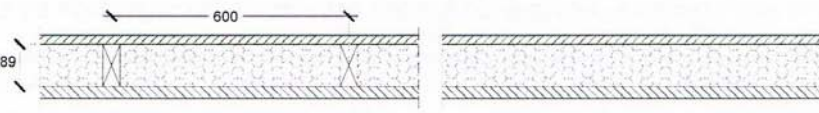

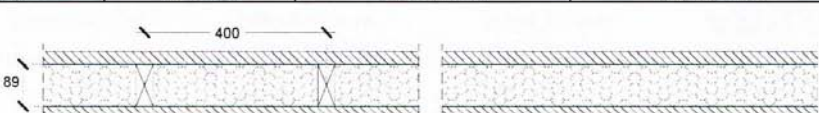
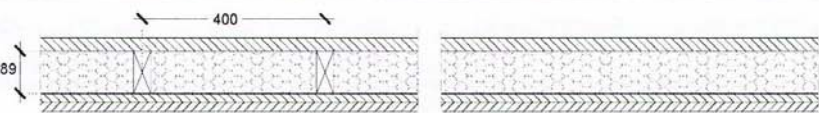

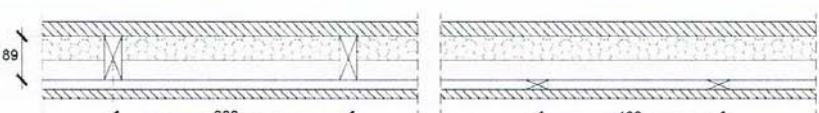
Separación entre montantes	Relleno de lana de vidrio	Placa 1	Placa 2	Rw (STC)
				
60 cm.	50 mm.	12/13 mm	12/13 mm.	45
				
60 cm.	89 mm.	12/13 mm.	15/16 mm.	48
				
40 cm.	89 mm.	12/13 mm.	15/16 mm.	41
				
40 cm.	89 mm.	15/16 mm.	15/16 mm.	42

Tabla 5.39. Aislamiento a ruido aéreo de tabiques con montantes o pies de 38 x 89 mm. (II)

Separación entre montantes	Relleno de lana de vidrio	Panel 1	Panel 2	Rw (STC)
				
40 cm.	89 mm.	15/16 mm.	2 x 12/13 mm.	47
				
60 cm.	50 mm.	12/13 mm.	15/16 mm. con rastrel resilente cada 40 cm.	54
				
60 cm.	50 mm.	12/13 mm. con rastrel resilente cada 40 cm.	15/16 mm.	52

Para terminar con los tabiques interiores, a continuación se exponen 5 ejemplos siempre utilizando placas de yeso laminado con fibras, de 15/16 mm. de espesor (figura 5.39).

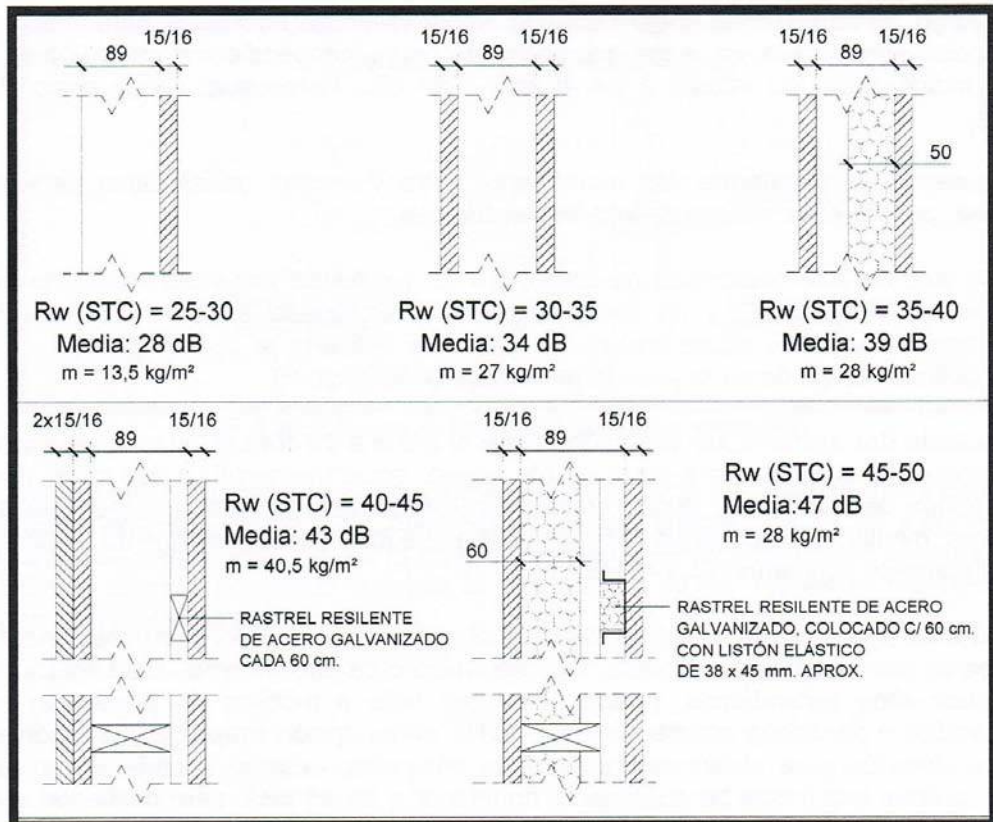


Fig. 5.39. Tabique interior: Solución básica y materiales adicionales

Partiendo de una solución sin relleno absorbente de un entramado con montantes de 38 x 89 mm. Separados 40 cm., trasdosando una o dos de sus caras, se obtienen transmisiones de 25 á 35 dBA respectivamente.

Si se procede al relleno con lana de vidrio (50 mm. de espesor), se aumenta el aislamiento de a ruido aéreo en 5 dB.

Al final se indican dos ejemplos con rastreles resilientes, con o sin doble placa a una lado, y con o sin relleno de lana de vidrio: frente a una solución genérica de un entramado con paneles de 15116 mm. Clavados a ambos lados y relleno de lana, los rastreles implican mejoras de hasta 10 dB.

3- MEDIANERAS Y FACHADAS EN EL SISTEMA DE PLATAFORMA MEDIANERAS

Con respecto a la antigua NBE-CA-88, el CTE introduce un cambio cualitativo sustancial en el aislamiento acústico de medianeras al ruido aéreo: además de exigir valores mínimos más restrictivos y obtenidos mediante ensayos en obra, diferencia entre una medianera entre dos edificios ejecutados, o una medianera en contacto con

el ambiente exterior, que presumiblemente será ocupada por otro edificio en un futuro (50 dBA y 40 dBA respectivamente).

Sin embargo, de otro lado, el Anejo J 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 los 45 dBA. Por ello, aparecerán varias posibilidades al respecto.

En el sistema de plataforma, las medianeras entre viviendas unifamiliares pareadas o adosadas, podrán solucionarse de tres formas básicas:

- Mediante un solo entramado de carga, por lo que forma parte estructural de ambas viviendas. Este caso, y de forma imperativa, el forjado es continuo, estando el entramado apoyado sobre aquel. Por tanto, se aplicaría la opción general, pues la simplificada exige de un forjado de gran masa ($k \ 300 \text{ Kg}(m^2)$).
- Mediante dos entramados separados entre sí (de 2 á 10 cm.). A su vez, esta solución permite que el forjado sea continuo (de nuevo, opción general), o que cada vivienda disponga de uno propio, donde ambas estructuras fuesen totalmente independientes. Ahora, mediante la opción simplificada habría que justificar un aislamiento de cada hoja o entramado no inferior a los 45 dBA.

Mediante una solución mixta, es decir, igual que el caso anterior pero colocando entre ellos un muro de fábrica húmeda, bien cerámico o de otro material. Esta solución, aún implica altos aislamientos, podría responder más a motivos de protección contra incendios o de diseño arquitectónico. El CTE, en su opción simplificada, no contempla esta situación para viviendas unifamiliares adosadas, excepto si cada entramado de por sí tiene una índice de aislamiento no inferior a los 45 dBA, pero omitiendo el muro húmedo intermedio (excepto si fuese de dos hojas, y cada una de ellas correspondería a cada una de las viviendas).

En conclusión, deberemos de justificar un índice global de 40 ó 50 dBA por la opción general, o 45 dBA en cada una de las dos hojas por la opción simplificada.

Cuando se opte por una sola hoja formada por un entramado de carga con montantes de 38 x 140 mm. Con relleno de lana de vidrio de 140 mm. de espesor, deberemos de conseguir niveles de aislamiento de 50 dBA. A tal efecto, optaríamos por soluciones con trasdosados de doble placa de yeso laminado fijada con rastreles más o menos resilentes.

En caso de doblar el entramado, el aislamiento dependerá del espesor de ambos entramados y del nivel de continuidad del forjado.

En cualquier caso, la solución de doble entramado necesita de la colocación de uno o dos tablones o viguetas rectangulares de forma transversal a las viguetas de piso, cubriendo su cara exterior con la manta de lana de vidrio (si existe), rompiendo el puente acústico del tablero de entrevigado con una junta elástica, o dejando un espacio sin tablero, y colocando una lámina plástica resilente en la base y cabeza de los entramados, solapándolas en algún punto (láminas verticales en los entramados, como los para-vapor, con una lámina bajo el pavimento flotante, etc.), tal como se indica en la figura 5.40.

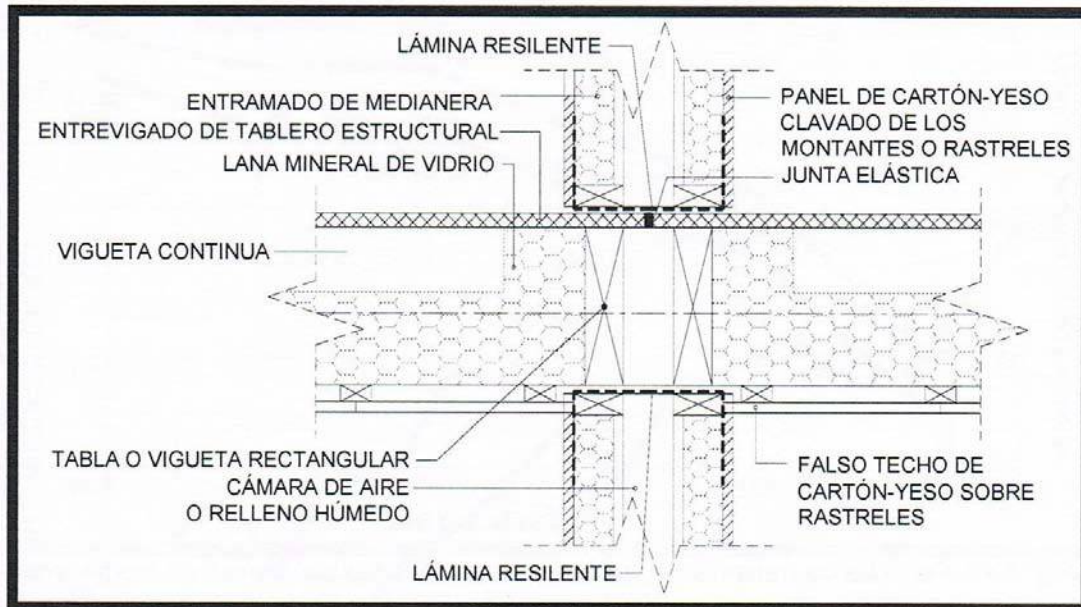


Fig. 5.40. Solución de medianera con doble entramado

En la tabla 5.40 se exponen algunos ejemplos constructivos que utilizan doble entramado como medianera entre viviendas. Observamos que con entramados de 38 x 89 mm. con trasdosados de cartón-yeso de 15/16 mm. se cumplen los requerimientos exigidos por el CTE-D13-HR, siempre previendo que tras la ponderación de los índices de aislamiento, se consigan cifras superiores a los 50 dBA.

Tabla. 5.40. Doble entramado como elemento de medianera entre viviendas

Definición del muro medianera	Rw
Muro A: Dos entramados de montantes de 38 x 65 mm. colocados cada 40 cm., ambos entramados separados entre sí 6,5 cm., y rellenos de lana de vidrio, con paneles de cartón-yeso de 12/13 mm. a ambos lados de tabique doble.	55 dB
Muro B: Dos entramados de montantes de 38 x 89 mm. colocados cada 40 cm., ambos entramados separados entre sí 2,5 cm., y rellenos de lana de vidrio, con paneles de cartón-yeso de 15/16 mm. a ambos lados del tabique, es decir, en las caras externas	57 dB
Muro C: Idéntica solución a la anterior, pero utilizando doble panel de cartón-yeso de 15/16 mm. sólo a ambos lados de la medianera, dejando uno sólo en el interior de cada entramado.	64 dB

En cuanto a las pérdidas de transmisión por frecuencias para las soluciones B y C, observamos como el aislamiento crece con la frecuencia, siendo limitado a bajas frecuencia (figura 5.41).

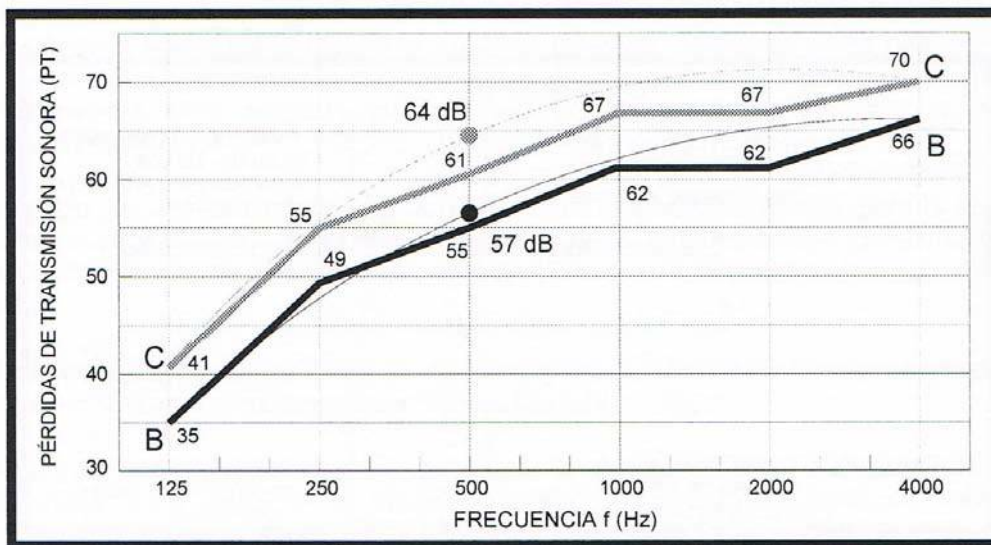


Fig. 5.41. Pérdidas de transmisión por frecuencias para dos soluciones de medianera

Aún las soluciones anteriores pueden perfectamente satisfacer los requerimientos normativos, vemos como son las frecuencias bajas las problemáticas.

A tal efecto, en caso de optar por la tercera solución, los elementos duros o húmedos, como las fábricas de elementos cerámicos o de hormigón implican atenuar aún más los niveles de ruido a frecuencias bajas, sin olvidar que los entramados serían estructurales (38 x 140 mm.), es decir, de mayor espesor. Además del gran aumento de masa que implica la solución, al alternar obra húmeda y seca ligera, se impide el acoplamiento en las frecuencias críticas de ambos, al funcionar como un trasdosado con 140 mm. de lana de vidrio a ambas caras de un muro. A partir de aquí, colocando rastreles resilientes y dobles placas de cartón-yeso, los niveles de atenuación acústica a ruido aéreo pueden aumentarse aún más.

No obstante, sólo por cuestiones de diseño o de protección contra incendios, se procedería a ejecutar los muros medianeros con esta solución constructiva

4- FACHADAS, CUBIERTAS Y SUELOS EN CONTACTO CON EL AMBIENTE EXTERIOR

Sin lugar a dudas, desde el punto de vista acústico, las soluciones de entramado portante y de forjado, ambos rellenos de material fonoabsorbente, con un añadido más pesado como revestimiento final al exterior (trans-ventilado para fachadas, y coberturas para cubiertas), son unas de las mejores opciones, ya que ambas hojas (ligera y pesada) tienen frecuencias críticas muy distintas.

Aún a simple vista no parece exista un incremento notorio entre las exigencias de la NBECA-88 y el CTE con respecto a las fachadas y cubiertas, salvo la verificación 'in situ', y que los valores de aislamiento a ruido aéreo se matizan según la zonificación acústica del área donde se asiente la vivienda, tal como introdujo la Ley del Ruido 24

- Factores condicionantes del aislamiento acústico de fachadas:

Las fachadas de una vivienda unifamiliar constituyen elementos compuestos cuyo aislamiento acústico depende de varios factores:

- El aislamiento acústico de cada uno de sus componentes:
- Partes ciegas
- Partes acristaladas y otros huecos como las puertas sin acristalamiento.
- La superficie de sus componentes, es decir, la proporción de parte acristalada con respecto al total (parte ciega más acristalada).
- La hermeticidad o estanqueidad del encuentro entre los componentes.

A partir de aquí, y según la opción simplificada, el CTE introduce un método que permite determinar el aislamiento mínimo que deben tener tanto la parte ciega como los acristalamientos (incluyendo la carpintería), en función de la relación superficial entre ambas partes, para así cumplir los requerimientos mínimos a ruido aéreo de la fachada.

Tal como se indicó en la tabla 5.34, dichos requerimientos mínimos van en función de la diferencia de niveles normalizada para el ruido exterior dominante. Por ello, suponiendo la típica urbanización residencial, o área rural, donde se asienta una vivienda unifamiliar, el ruido dominante sería el de tráfico rodado. A partir de aquí, exponemos la tabla 5.41 donde, en función de la relación entre la superficie de huecos y la total de la fachada, aparecen los índices globales mínimos tanto para la parte ciega como para la acristalada.

Es evidente que con soluciones de entramado de madera con montantes de 38 x 140 mm., con relleno de lana de vidrio de 140 mm. De espesor, trasdosado de panel de yeso laminado de 12/13/15/16 mm. Sobre un doble enlistonado, con tablero OSB o contrachapado de 11 mm. al exterior, las correspondientes láminas plásticas impermeables y estancas al aire, y retardadoras de la difusión del vapor de agua y, finalmente, un revestimiento trans-ventilado al exterior, la parte ciega siempre cumplirá. Ello se debe a que, en las condiciones más desfavorables, con carpinterías y vidrios acordes con las exigencias térmicas, se le exige un aislamiento de 45 dBA, cifra fácil de cumplir con el sistema propuesto sea cual sea el revestimiento final de fachada.

Por tanto, será la elección de las carpinterías, así como la unión de éstas con la parte ciega, los factores determinantes que influirán en el nivel global de aislamiento a ruido aéreo de la fachada.

Tabla. 5.41. Aislamiento mínimo de las partes de la fachada según la superficie de huecos

Parte ciega ($R_{A,ir}$)		Huecos (porcentaje de huecos) $R_{A,ir}$ de la ventana y caja de persiana, y $D_{n,e,Atr}$ del aireador				
100%	≠ 100%	≤ 15%	16 – 30%	31 – 60%	61 – 80%	≥ 80%
33 dBA	35 dBA	26 dBA	29 dBA	31 dBA	32 dBA	33 dBA
	40 dBA	25 dBA	28 dBA	30 dBA	31 dBA	
	45 dBA	25 dBA	28 dBA	30 dBA	31 dBA	

Nota: Las superficies se miden por el interior de la fachada.

- Factores condicionantes del aislamiento acústico en cubiertas:

De igual forma a las fachadas, la cubierta tenga o no huecos, se analizará según la tabla anterior. Por ello, utilizando las combinaciones de forjados anteriormente descritos, será fácil conseguir índices globales de aislamiento de 45 dBA en el peor de los casos, y de 33 dBA cuando la cubierta no disponga de hueco alguno (bajo-cubierta ventilado, por ejemplo).

Para cubiertas transitables, también las soluciones comentadas para las diferentes combinaciones de materiales a partir de un forjado estándar, cumplen fácilmente los requerimientos al ruido de impacto ($L_w < 65$ dB).

- Parte ciega:

La fachada tipo del sistema de plataforma con entramado ligero de madera, combina frecuentemente materiales de obra húmeda, como parte externa, con otros que constituyen el tabique blando a flexión, esta vez con espesores de 140 mm., siendo el trasdosado exterior de tablero de OSB o contrachapado. Esta combinación permite que sea difícil que se produzca un acoplamiento en las frecuencias críticas de los dos elementos que conforman la fachada, por lo que resulta muy eficaz desde el punto de vista del aislamiento acústico.

Suponiendo revestimientos externos de ½ pie de ladrillo cara vista, LHD-8 cm. con revoco, o aplacado de piedra de 2 cm. de espesor, todos ellos fijados con rastreles, tendríamos frecuencias de resonancia de 78, 80 ó 96 Hz respectivamente, todas ellas fuera del espectro especialmente audible por el ser humano.

Tanto el relleno como el espesor y número de placas del trasdosado interno permitirán mayor o menor aislamiento acústico. En nuestro caso, por cuestiones térmicas, optamos por el relleno de toda la cavidad, 140 mm., con un trasdosado de yeso laminado de 12 á 16 mm. De espesor sobre doble enlistonado de madera.

Paralelamente, conforme más pesado sea la hoja externa de la fachada, debido a la Ley de Masas, también será mayor el aislamiento acústico.

Para finalizar, toda la fachada dispone de una doble envolvente de ciertas características resilientes, con todas las uniones perfectamente solapadas y selladas con silicona acústica. Nos referimos tanto a la impermeabilización externa, colocada entre el revestimiento transventilado y el tablero externo del entramado, y la barrera

para-vapor de agua al interior, entre la manta de lana de vidrio y el trasdosado interior (figura 5.43).

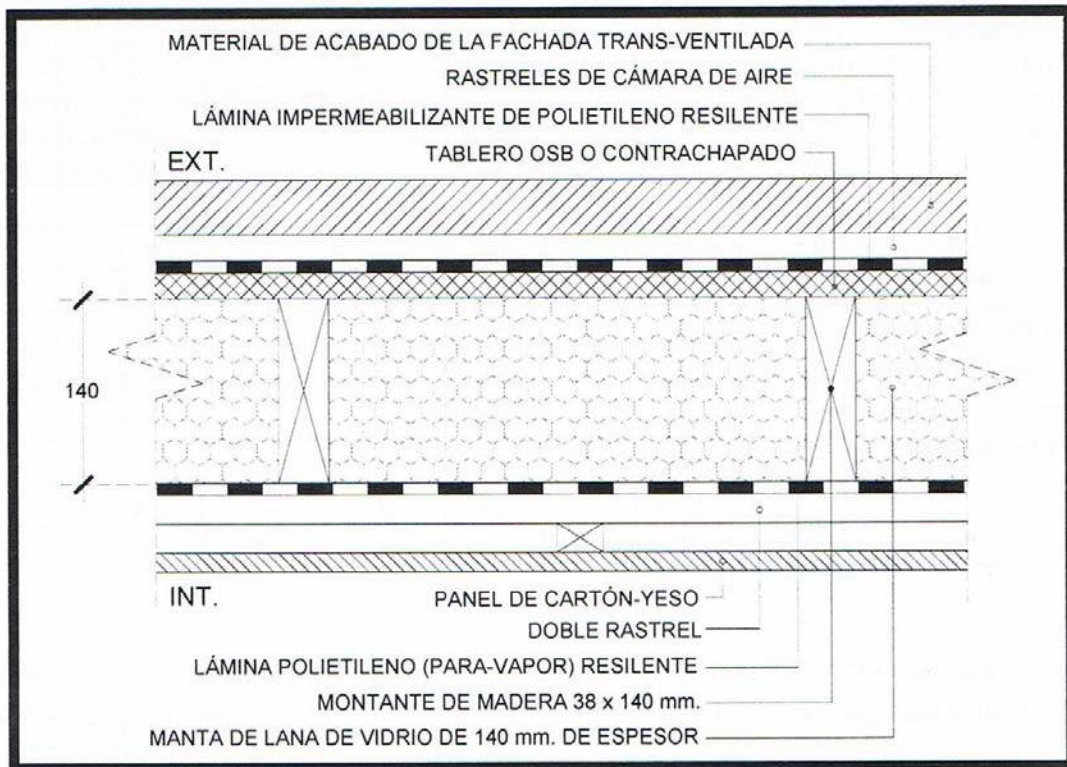


Fig. 5.43. Láminas plásticas como barreras resilentes

Al atarse de barreras continuas de naturaleza plástica con cierta densidad (generalmente a base de polietileno, aún muy delgadas), ayudan a atenuar cualquier tipo de ruido al romper los posibles canales acústicos entre los materiales que conforman la fachada.

Paralelamente, el encolado de las piezas de madera introduce otra capa o barrera de naturaleza resilente.

5- RUIDO DE INSTALACIONES INTRODUCCIÓN Y NORMATIVA APLICABLE

El ruido de instalaciones previsible en este tipo de edificaciones vendrá determinado por la existencia de aparatos de climatización y aire acondicionado, calderas, etc., pero sobre todo por las inevitables canalizaciones hidráulicas y, en ocasiones, de aire acondicionado.

A tal efecto, frente a la ambigüedad de la antigua NBE-CA-88, el CTE contempla de forma particularizada este tipo de ruido.

Tabla 5.43. Nivel de Presión Sonora (L_w), en dBA, procedentes de equipos de uso en viviendas

Maquinaria y aparatos electrodomésticos	Efecto	Nivel
Bomba de impulsión en sala de instalaciones	Límite tolerable	90
Vehículos (automóviles, camionetas, etc.)	Límite tolerable	80-90
Moto de alta cilindrada	Límite tolerable	84-86
Radio, televisión y despertador	Muy molesto	80
Motocicleta de baja cilindrada	Muy molesto	78-80
Caldera y quemador en sala de instalaciones	Muy molesto	70-80
Llenado y vaciado de aparatos sanitarios	Muy molesto	75
Lavaplatos y lavadoras centrifugadoras	Molesto	70-75
Fluorescentes con reactancias inductivas mal colocados	Molesto	70-75
Aspiradora y aire acondicionado modelo no silencioso	Alguna molestia	50-60
Frigorífico	Interfiere el sueño	40-50
Aire acondicionado modelo silencioso	Puede interferir el sueño	45
Rejillas de impulsión de aire	Umbral de la relajación	40
Reloj (tic-tac)	Sueño tranquilo	20-30

En caso de instalaciones térmicas de cierta potencia, el nuevo Reglamento de Instalaciones Térmica de los Edificios (RITE-2007) indica la necesidad de que éstas, en condiciones normales de uso, no provoquen ruidos o vibraciones susceptibles de provocar molestias y afecciones. Por tanto, a nivel de proyecto, se deberá verificar y justificar la calidad acústica de aquellos aparatos que, por sus características, se vean afectados por dicho reglamento y por el CTE-D13-HR.

Por tanto, comentaremos las actuaciones necesarias en caso de que existan salas de instalaciones, aparatos de aire acondicionado posiblemente colocados en fachada o cubierta, así como las que repercuten en las instalaciones de fontanería.

- Dentro de una vivienda, pueden originarse ruidos de instalaciones de dos tipos:
- Ruidos estacionarios, que son continuos y estables en el tiempo. Corresponden a los procedentes de instalaciones de aire acondicionado, ventiladores, compresores, bombas impulsoras, calderas, quemadores, rejillas de aire, etc. Suelen generar ruidos a baja frecuencia.

Para este tipo de ruidos, el CTE permite un máximo nivel sonoro equivalente, ponderado A, $Leq(A)$, de inmisión a ruido aéreo así como el procedente de los equipos individuales de una vivienda, de los valores indicados en la tabla 5.44:

Tabla 5.44. Valores máximos de inmisión del Nivel Sonoro Continuo Equivalente en viv. unifamiliares

Local	Durante el día (8-22 h)	Durante la noche (22-8 h)
Salón-comedor y salas de estar	40 dBA	35 dBA
Dormitorios	40 dBA	30 dBA
Servicios y cocina	50 dBA	-

- Sucesos sonoros, o ruidos procedentes de la descarga de sanitarios, relés, apertura y cierre de grifos, acondicionamiento de puertas, evacuadores de basura, ascensores, etc.

En este caso, el Nivel recomendado por el CTE no deberá exceder, sólo en recintos protegidos (salones y dormitorios) de 65 dBA por el día, y de 55 dBA durante la noche.

- SALAS DE INSTALACIONES Y MÁQUINAS

Actuaciones directas sobre la maquinaria:

Las máquinas generadoras de ruido estacionario podrán estar situadas en una sala de instalaciones, en un recinto interior (cocina) o al exterior (fachada y cubierta).

En cualquier caso, siempre que se pueda, nunca se colocarán cerca o adosadas a un cerramiento que delimite un recinto protegido. Efectivamente, no se plantean máquinas que ocasionen ruidos en recintos protegidos (salones y dormitorios), excepto quizás para unidades interiores de aire acondicionado.

Los fabricantes que suministran, tanto los propios equipos que generan ruido como los elementos auxiliares y accesorios de la instalación (canalizaciones, dispositivos elásticos, canalizaciones, etc.) deberán suministrar las magnitudes que caracterizan el ruido y vibraciones que puedan ocasionar o atenuar.

Cualquier máquina ruidosa deberá de tener un mantenimiento periódico según indique el fabricante, a fin de que su nivel sonoro sea aquel para el que fue diseñada.

- Salas de instalaciones:

En realidad, independientemente del sistema constructivo, la estrategia a seguir será la de crear una "caja independiente" que reduzca al máximo el ruido aéreo y estructural hacia otros recintos de la vivienda.

Se recomienda aumentar el espesor del cielorraso y trasdosado, es decir, de la placa de yeso laminado, por lo que, como mínimo, se dispondría una placa de 15 mm. Mínimo o dos placas más delgadas con o sin lámina elástica flexible de gran densidad entre ellas. A partir de aquí, la placa o panel podría tener características acústicas además de ignífugas.

Este aspecto es aún más importante en techos si por encima de la sala de instalaciones se encuentra un local habitable (salón o dormitorio), por lo que sería interesante colocar listones resilientes o amortiguadores que fijen el falso techo al forjado de viguetas de madera.

Independientemente de las necesidades térmicas, el forjado y tabiques que delimiten la sala de instalaciones y comuniquen con recintos habitables, llevarán imperativamente relleno de lana de vidrio de espesor mínimo 50 mm.

En cuanto al suelo de la sala, siempre será interesante optar por soluciones constructivas que amortigüen los ruidos de impacto (pavimentos blandos, suelos y losas flotantes), siempre que sean necesarios según los requerimientos de confort acústico. En cualquier caso, la máquina irá fijada al suelo con elementos anti-vibraciones y, si es pesada, con bancada de inercia y amortiguadores al suelo. De esta forma, se evita la transmisión de ruido a través del suelo. Los vanos de la sala de instalaciones deberán de estudiarse perfectamente. A tal efecto, podremos optar por puertas con ciertas características acústicas (las puertas resistentes al fuego los son), y diseñar los canales de ventilación, sea mediante hueco al exterior o shunt a cubierta, siempre continuos y, como tal, silenciosos.

AHORRO ENERGÉTICO

1- COMPORTAMIENTO HIDROTÉRMICO DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

Dejando a un lado las técnicas bioclimáticas, inherentes a toda actuación, pero que no afectan ni condicionan directamente al análisis del sistema constructivo en sí, a la hora de estimar la calidad de una vivienda será importante cuantificar los aspectos energéticos de ésta, es decir, si el sistema constructivo empleado resuelve o no un confort mínimo, proveniente básicamente de un buen nivel de aislamiento térmico.

Las características de los materiales constructivos, tanto su cualidad térmica como sus posibilidades de composición, son puntos fundamentales a tener en cuenta, de forma que se genere el menor impacto negativo al medio ambiente exterior, se consiga la mejor estabilidad frente a las alteraciones ambientales que caracterizan nuestra climatología y se logre el menor consumo de energía que sea posible.

En el momento actual están en vigor numerosas políticas sobre ahorro energético plasmadas en varios planes y normas que conforman un conjunto de medidas con las que se pretende conseguir un uso más racional de la energía, ya sea actuando sobre la demanda, o promoviendo nuevas formas de oferta energética (básicamente referidas a las fuentes renovables). Nosotros añadimos una apuesta más y mucho más económica, que consiste en la construcción de viviendas, en particular, con estructura de tipo plataforma con entramado ligero de madera (Platform frame), las cuales alcanzan un gran rendimiento energético basado fundamentalmente en el alto grado de aislamiento de su envolvente. Para convencernos de ello tenemos que pensar que el problema radica en que hoy día es posible mantener unas buenas condiciones ambientales constantes y eficaces a base de un elevado gasto energético. Sin embargo, será más conveniente hacerlo a costa del aprovechamiento eficiente de las características del sistema constructivo y los materiales que lo conforman.

Es el Código Técnico de la Edificación (CTE), en su Documento Básico "Ahorro Energético", la norma que regula estos temas que, mediante unos condicionantes de partida basados en la localización geográfica, uso del edificio, orientaciones, etc., marca unas transmutación límite (y máximas) según el tipo cerramiento. Para este análisis se consideran los coeficientes de conductividad térmica de cada material que componen cada cerramiento, y conocidos los espesores de éstos se pueden calcular las transmutación térmicas junto a los cuales se especifican los marcos y

acristalamientos necesarios para dicho cumplimiento. Llegados a este punto, la estimación sobre el confort debe incluir la eficiencia de las instalaciones de producción de calor, tipos de combustibles utilizados, las pérdidas del sistema de distribución, etc., para llegar a un cálculo de energía neta, de consumo de combustible y de emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera.

De otro lado, tampoco debemos olvidar que la ejecución de la obra puede tener desorientaciones o equívocos significativos, y es por este motivo por el que siempre tendremos en cuenta la comprobación de la ejecución correcta de aislamientos, prevención en la posible existencia de puentes térmicos, sobre todo en las uniones de los cerramientos, o excesivas infiltración de aire, y examinar las instalaciones de producción de calor.

En cuanto al sistema constructivo que nos ocupa, consiste en una estructura ligera formada por paneles de entramado de madera con aislamiento de lana de vidrio en su interior, forjados de viguetas de madera con lana entre ellas, cubierta con cerchas prefabricadas también del mismo material, con relleno de lana sobre y entre los tirantes, todo ello con apoyo sobre cimentación corrida de hormigón armado y muro de arranque, bien como elementos que conforman la planta de sótano, bien como soporte de forjado sanitario.

Este tipo de vivienda presenta grandes ventajas pues prácticamente suprime los puentes térmicos en los frentes de forjado y mochetas de ventanas, manteniendo un nivel de aislamiento elevado incluso para condiciones climáticas muy extremas.

Ello se debe a que la distribución de los pies derechos de los entramados verticales deja libre entre ellos de 300 á 600 mm. de anchura, con 89 ó 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 a 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.

Es preciso poner de manifiesto la importancia de una esmerada instalación de la manta de lana mineral. Al carecer de rigidez existe el peligro de que con el tiempo se vaya desplomando y anulando su función. Este fenómeno podría acelerarse en el caso de que exista humedad en el interior de cerramiento, ya que se trata de un material muy higroscópico, por lo que suele asegurar convenientemente la sujeción de la manta con mallas de plástico, piezas de madera o incluso cables.

Toda la envolvente dispone de una capa retardadora de la difusión del vapor de agua en la parte caliente de los cerramientos. Otra lámina, al exterior, garantiza la impermeabilización y estanqueidad al aire, y permiten cierta difusión de vapor de agua (hacia la estructura, pero no hacia el interior de los recintos habitables). La existencia de carpinterías practicables y de los elementos de ventilación exigidos por el CTE en su Documento Básico "Salubridad", la renovación y calidad del aire en el interior se garantizan.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, además del análisis de los coeficientes de transmisión térmica de los elementos que forman los cerramientos de la vivienda, es el comportamiento de éstos en cuando a la existencia o no de puentes térmicos y los resultados frente a análisis de tipo termo-gráfico, termo-flujométrico o de infiltraciones de aire, mas adelante comentado, que determinarían definitivamente o no la validez de este sistema.

Los análisis termo-gráficos nos demuestran la minimización de las pérdidas de calor en frentes de forjado en fachada empleando este sistema constructivo que, rematado por los paneles exteriores de contrachapado u OSB, elimina aún más estas pérdidas.

En cuanto a un análisis termo-flujométrico para la medición real de la transmutación térmica de un cerramiento, se han realizado pruebas en viviendas de este tipo obteniendo cifras levemente superiores a las estimadas en proyecto.

En un análisis del nivel medio de infiltración de aire exterior se llega a la conclusión de la gran estanqueidad de la vivienda. Incluso manteniendo un bajo nivel de renovaciones/hora.

Por todo ello podemos apostar por 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 propio comportamiento térmico de la madera y derivados, más que aceptable.

Tanto en forjados, techo como entramados, podríamos considerar los puentes térmicos ocasionados por las propias piezas de madera estructural, es decir, por las viguetas, cerchas y montantes interiores del entramado. No obstante, a efectos de cálculo se van a despreciar, considerando a tal efecto los siguientes comentarios:

- En cubiertas con cerchas, la manta de lana de vidrio cubre el cordón inferior o tirante, por lo que los puentes térmicos a través de los cordones y diagonales que conforman la cercha se minimizan.
- Finalmente, los pies o montante interiores de los entramados, de 50-150 mm. de espesor, y separados de 30 á 60 cm., implican puentes térmicos muy bajos, pues de igual forma a las viguetas de sección rectangular, sólo afectan a un 7-12% de la superficie del entramado.

2- LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA (CTE-DB-HEI)

- CUBIERTA INCLINADA (C1):

El sistema propuesto generalmente utilizará cubiertas inclinadas donde la posibilidad de aprovechar el bajo cubierta queda condicionada al propio proyecto. No obstante, para el análisis de las condiciones térmicas consideramos que el bajo cubierta es una cámara de aire muy ventilada.

A tal efecto, para el análisis de las condiciones térmicas, es decir, no se considera la cobertura sobre la bajo-cubierta (tejas y rastreles, impermeabilización y tablero estructural), al estar éste muy ventilado.

Como cubierta "tipo" entenderemos la indicada en la tabla 5.12 y figura 5.6.

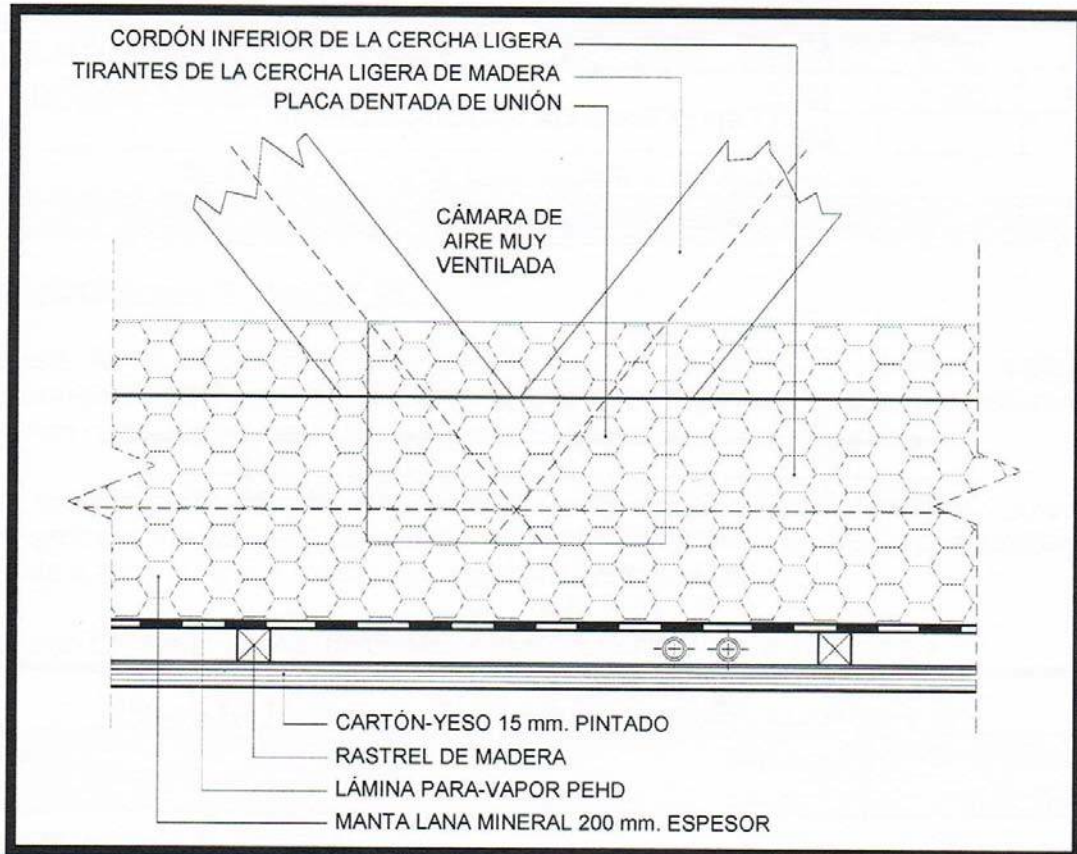


Fig. 5.6. Cordón inferior de la cubierta ligera. Cubierta tipo de la envolvente (C1)

Tabla 5.8. Transmitancia térmica de la cubierta ligera tipo (C1).

Material	Espesor (metros)	λ (W/m K)	R (m^2 K/W)
Manta de lana de vidrio de 200 mm. de espesor	0,200	0,044	4,545
Lámina de polietileno para-vapor, 0,20 mm. de espesor	0,001	0,500	0,002
Placa de cartón-yeso de 15 mm. de espesor	0,015	0,250	0,060
Acabado de pintura plástica y acrílica	0,001	0,200	0,005
Parcial	0,217	-	4,612
$R_{si} = 0,10$ y $R_{se} = 0,04$, según tabla E.1. del Anejo HE 1E.1.1			
$U_{C1} = 0,210$ W/ m^2 K			

- Primer forjado o forjado sanitario (S1):

Aún existe la contingencia de realizar el forjado sanitario con técnicas constructivas convencionales (tales como forjados de hormigón con bovedillas, etc.), consideramos que se ejecutan con viguetas de madera y tableros de entrevigado.

Para el análisis de las condiciones térmicas, según el CTE-DB-HS, consideramos que el forjado queda a menos de 1,00 metros de la cota exterior, y que el espacio o cámara de aire queda a menos de 0,5 metros por debajo de la cota exterior.

Este forjado constaría de los materiales indicados en la tabla 5.10 y figura 5.8.



Fig. 5.8. Forjado sanitario tipo (S1)

Tabla 5.10. Transmitancia térmica del primer forjado, tipo sanitario (S1)

Material	Espesor (metros)	λ (W/m K)	R (m^2 K/W)
Pavimento cerámico de 10 mm. de espesor	0,010	1,000	0,010
Adhesivo para el pavimento	0,005	1,300	0,004
Tablero de madera contrachapado u OSB, de 19 mm.	0,019	0,150	0,127
Cámara de aire poco ventilada, de 10 mm. espesor mínimo.	0,010	-	0,150
Manta de lana de vidrio de 200 mm. de espesor, sobre una malla de plástico de sujeción.	0,200	0,044	4,545
Parcial	0,244	-	4,836
$R_f = 4,036 m^2 K/W$, pues se desprecia las resistencias térmicas superficiales			

- Forjado intermedio en vuelo, en contacto con el exterior (S2):

Podrá existir la posibilidad de que un forjado intermedio vuele sobre la intemperie, tal como un porche o vuelo.

En este caso, en aplicación del CTE-DB-HS, se considera de flujo descendente, pues es la parte inferior del forjado la que está en contacto con la intemperie.

Los materiales y componentes de que consta este forjado serían los indicados en la tabla 5.9 y figura 5.11.

Tabla 5.11. Transmitancia térmica de un forjado en vuelo (S2)

Material	Espesor (metros)	λ (W/m K)	R ($m^2 K/W$)
Pavimento cerámico de 10 mm. de espesor.	0,010	1,000	0,010
Adhesivo para el pavimento	0,005	1,300	0,004
Tablero de madera contrachapado u OSB de 19 mm. de espesor.	0,019	0,150	0,127
Lámina para-vapor, de polietileno de 0,20 mm. de espesor aproximado (opcional).	0,001	0,500	0,002
Cámara de aire no ventilada, de 10 mm. de espesor	0,010	-	0,150
Manta de lana de vidrio de 200 mm. de espesor	0,200	0,044	4,545
Placa de cartón-yeso de 15 mm. de espesor, o similar para exterior.	0,015	0,250	0,060
Pintura plástica y acrílica	0,001	0,200	0,005
Parcial	0,261	-	4,903
$R_{si} = 0,17$ y $R_{se} = 0,04$, según tabla E.1. del Anejo HE 1E.1.1			
$U_{S2} = 0,196 W/m^2 K$			



Fig. 5.9. Forjado tipo en vuelo sobre espacio exterior (S2)

- Cerramiento exterior tipo (M1):

Para el análisis de las condiciones térmicas, consideraremos un acabado exterior siguiendo el sistema de fachada trans-ventilada, por lo que no se considera a efectos térmicos. De esta forma, se calcula la transmitancia a partir de la lámina impermeabilizante exterior que cubre el tablero de arriostramiento.

En este cerramiento, el aislamiento será de 140 mm., y el tablero OSB de 11 mm. Por tanto, los materiales con los que se ejecuta el cerramiento exterior tipo serían los indicados en la tabla 5.11 y figura 5.13.

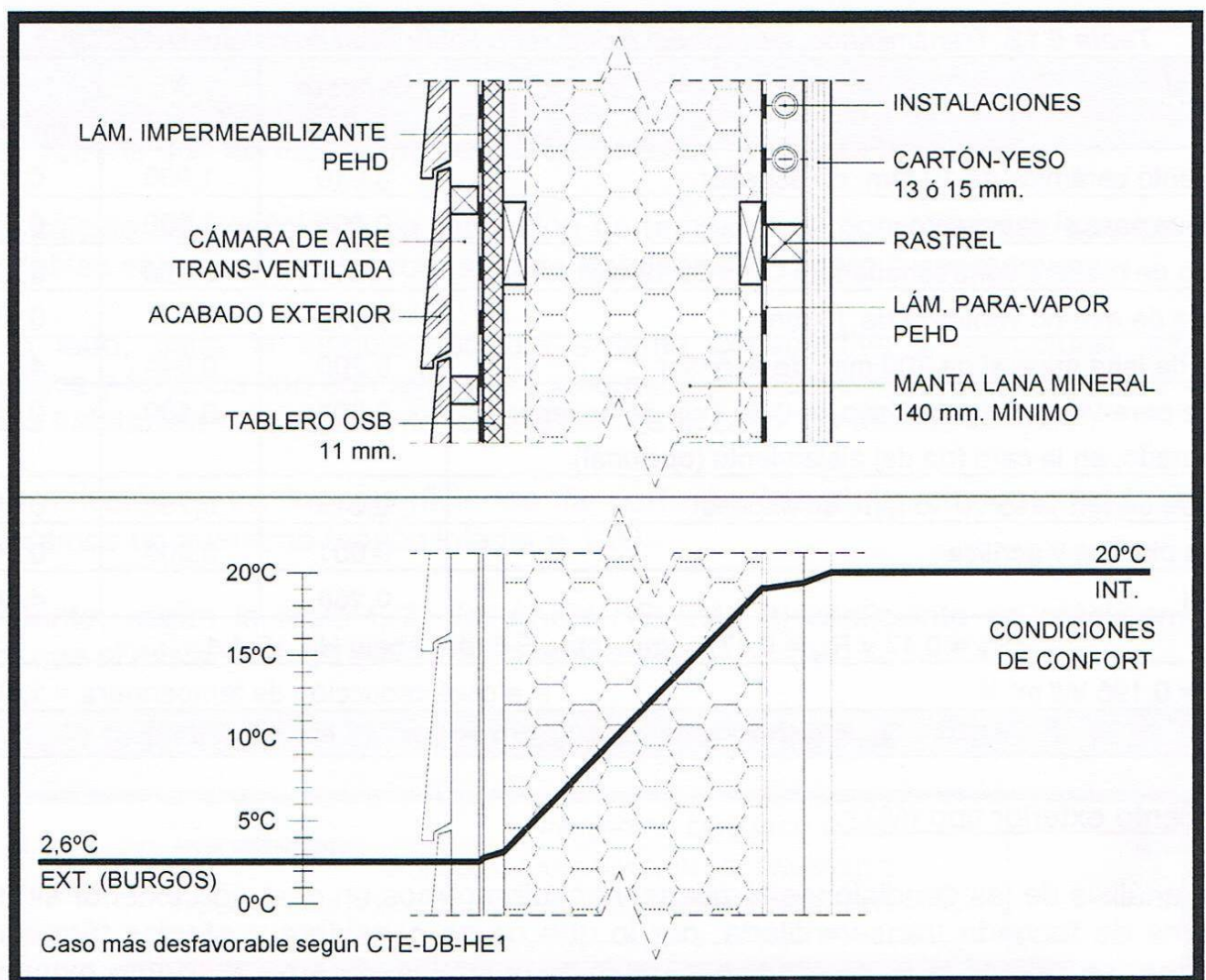


Fig. 5.11. Cerramiento exterior tipo (M1): comportamiento térmico

Tabla 5.13. Transmitancia térmica del cerramiento tipo (M1)

Material	Espesor (metros)	λ (W/m K)	R (m^2 K/W)
Revestimiento exterior formando una cámara de aire muy ventilada (fachada trans-ventilada) que, efectos de cálculo no se considera.	-	-	-
Lámina PEHD impermeabilización y estanca al aire, de 1 mm.	0,001	0,500	0,002
Tablero de madera contrachapada u OSB de 11 mm.	0,011	0,150	0,073
Manta de lana de vidrio de 140 mm. de espesor	0,140	0,044	3,182
Lámina de polietileno para-vapor, de 0,20 mm. de espesor.	0,001	0,500	0,002
Placa de cartón-yeso de 15 mm. de espesor.	0,015	0,250	0,060
Pintura plástica y acrílica	0,001	0,200	0,005
Parcial	0,169	-	3,324
$R_{si} = 0,13$ y $R_{se} = 0,04$, según tabla E.1. del Anejo HE 1E.1.1			
$U_{M1} = 0,286$ W/ m^2 K			

- Comportamiento térmico Cerramiento interior tipo en contacto con locales no calificados (M2):

Se tratarían de aquellos entramados, de carga o no, que separan zonas como almacenes, desvanes, salas de instalaciones o garajes del resto de locales vivideros y calificados.

Para el cálculo del coeficiente de reducción, consideramos las mismas hipótesis que para los forjados sobre espacios no calificados, es decir, el coeficiente es la unidad.

Estos tabiques se compondrían de los materiales indicados en la tabla 5.14 y figura 5.12.

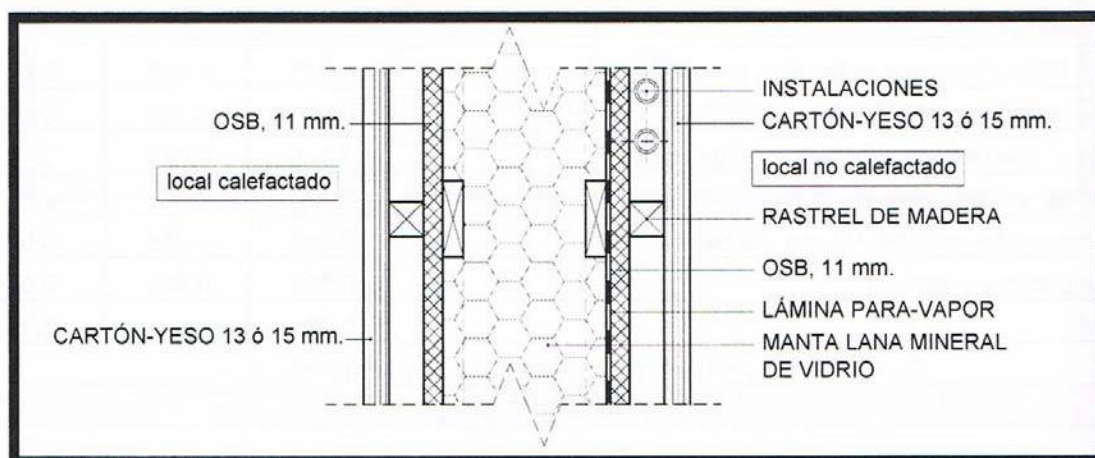


Fig. 5.12. Cerramiento interior no de carga, tipo (M2).

Tabla 5.14. Transmitancia térmica del cerramiento interior tipo (M2)

Material	Espesor (metros)	λ (W/m K)	R (m^2 K/W)
Pintura plástica y acrílica	0,001	0,200	0,005
Placa de cartón-yeso de 15 mm. de espesor.	0,015	0,250	0,060
Tablero OSB	0,011	0,150	0,073
Manta de lana mineral de 85/89 mm. de espesor aproximado (aún podría ser de 140 mm. si el tabique es de carga).	0,085	0,044	1,932
Tablero OSB o contrachapado de 11 mm.	0,011	0,150	0,073
Lámina para-vapor PE, 0,20 mm., en la cara fría del aislante	0,001	0,500	0,002
Placa de cartón-yeso de 15 mm. de espesor.	0,015	0,250	0,060
Pintura plástica y acrílica	0,001	0,200	0,005
Parcial	0,118	-	2,210
$R_{si} = 0,13$ y $R_{se} = 0,13$, según tabla E.6. del Anejo HE 1E.1.1			
$U = 0,405$ W/ m^2 K			
$P =$ coef. reducción de temperatura = 1,00			
$U_{M2} \leq U \times P = 1,00 \times 0,405 \leq 0,405$ W/ m^2 K			

- Cerramiento interior tipo (M3):

Se tratarían de aquellos entramados, de carga o no, que separan zonas que pertenecen a otra misma unidad calificada.

Para el cálculo del coeficiente de reducción, consideramos las mismas hipótesis que para los tabiques o forjados sobre espacios no calificados, es decir, un coeficiente 1,00.

Estos tabiques se compondrían de los materiales indicados en la tabla 5.13 y figura 5.15.

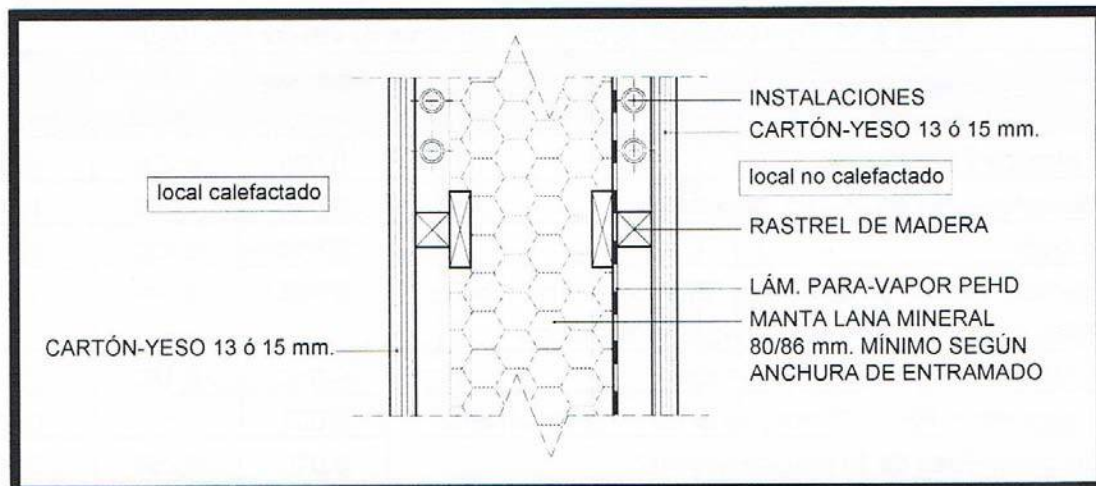


Fig. 5.13. Cerramiento interior no de carga, tipo (M3).

Tabla 5.15. Transmitancia térmica del cerramiento interior tipo (M3)

Material	Espesor (metros)	λ (W/m K)	R (m^2 K/W)
Pintura plástica y acrílica	0,001	0,200	0,005
Placa de cartón-yeso de 15 mm. de espesor.	0,015	0,250	0,060
Tablero OSB	0,011	0,150	0,073
Manta de lana mineral de 85/89 mm. de espesor aprox. (aún podría ser de 140 mm. si el tabique es de carga).	0,085	0,044	1,932
Placa de cartón-yeso de 15 mm. de espesor.	0,015	0,250	0,060
Pintura plástica y acrílica	0,001	0,200	0,005
Parcial	0,118	-	2,062
$R_{si} = 0,13$ y $R_{se} = 0,13$, según tabla E.6. del Anejo HE 1E.1.1			
$U = 0,430$ W/ m^2 K			
P = coef. reducción de temperatura = 1,00			
$U_{M3} \leq U \times P = 1,00 \times 0,430 \leq 0,430$ W/ m^2 K			

3- COMPARACIÓN DE LOS VALORES MÁXIMOS EXIGIDOS Y LOS REALES DE PROYECTO

A partir del cuadro de transmitancias máximas exigidas a los cerramientos de la envolvente térmica para la Zona Climática E, tendremos las reducciones que implica el sistema de plataforma indicada en la tabla 5.16.

Tabla 5.16. Comparación de transmitancias máxima a cumplir y reales máximas del sistema

Cerramiento	Máximas (1)	Reales	Reducc.
Muros entramados de fachada (M1)	0,74 W/m ² .K	0,286 W/m ² .K	61%
Tabiques separación con locales no calefactados (M2)	0,74 W/m ² .K	0,405 W/m ² .K	45%
Suelo sanitario (S1)	0,62 W/m ² .K	0,310 W/m ² .K	50%
Forjado sobre espacio exterior (S2)	0,62 W/m ² .K	0,196 W/m ² .K	68%
Forjado sobre locales no calefactados (S3)	0,62 W/m ² .K	0,196 W/m ² .K	68%
Cubierta ligera ventilada (C1)	0,46 W/m ² .K	0,210 W/m ² .K	54%
Cubierta plana (C2)	0,46 W/m ² .K	0,189 W/m ² .K	59%
(1). Correspondientes a la Zona Climática de invierno E			

Podemos observar como los resultados máximos reales de la transmitancia térmica de la envolvente del edificio están muy por debajo de los exigidos para la Zona Climática E, la más desfavorable en condiciones de invierno, más de un 60% por debajo de los indicados por el CTE-DB-HE en casi todos los cerramientos.

Por tanto, en la comprobación de los valores límites, y considerando unas carpinterías acordes con la zona climática, veremos como el sistema constructivo implica grandes ahorros energéticos con respecto a la edificación convencional.

CONDENSACIONES

1- LAS CONDENSACIONES EN LOS CERRAMIENTOS

El concepto de humedad relativa se refiere a la cantidad de humedad contenida en cierto e comparación con la cantidad maxim de humedad que puede retener el aire a esa temperatura. Dé esta forma tenemos que:

- Cuando se calienta el aire, aumenta su capacidad de retener el vapor del agua.
- Cuando el aire se enfría, disminuye esa capacidad.

Por tanto, el aire más frío retiene menos la humedad que el aire más tibio. La humedad que el aire ya no puede retener se condensa en la primera superficie fría que encuentra (en el pun e condensación). Si esta superficie se encuentra dentro de la cavidad de una pared exterior, el resultado será humedad en el aislamiento y en la estructura de las paredes.

Durante este fenómeno, podemos controlar dos factores: la temperatura y la humedad.

El valor R (resistencia térmica) del aislamiento de la cavidad de la pared modera el efecto de la temperatura a través de toda la envoltura térmica de la vivienda. Un retardador hermético de la difusión del vapor, instalado correctamente hacia el lado caliente de esta cavidad, reduce la cantidad de humedad que entra en ella.

Esto ocurre excepto en los espacios intencionalmente ventilados, no calificados, como los garajes, almacenes o desvanes, donde estos dos factores trabajan en conjunto para reducir en cielorrasos, trasdosados, pared suelos. Por ello en estos casos se coloca en la cara Tría de los cerramientos, exactamente en la cara fría aislamiento si lo hay.

Tabla 5.17. Barrera retardadora de la difusión del vapor de agua

Descripción:	Formación de una barrera retardadora de la difusión del vapor de agua con película o lámina ligera de PELD (polietileno de baja densidad) pegada sobre el soporte. Será totalmente impermeable a aceites, grasas e incluso agua.			
Localización:	Se coloca al interior de los entramados y forjados de cubierta, así como en la cara fría de los cerramientos interiores en contacto con locales no calefactados, con la finalidad de evitar la fuga de aire templado del interior de la envolvente térmica del edificio y la condensación dentro del aislante térmico.			
Medición:	En general, se medirá y valorará el m ² de superficie ejecutada en verdadera dimensión. Siempre estará incluida la parte proporcional de fijación, cortes, uniones, solapes y remates. Con deducción de la superficie correspondiente a huecos superiores a 1,00 m ² .			
Componentes:	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte de la lámina: pies y listones de entramado (kits), ala inferior de viguetas y tirantes de cerchas de cubierta. • Lámina o película de PELD (polietileno de baja densidad), homogénea y semi-flexible, de galga 400, 600, 800 y 1000. • Cinta adhesiva para solapes, de material similar. • Silicona acústica para el sellado de solapes. • Adhesivos o elementos de fijación. Generalmente pegados con puntos o cordones delgados al soporte. Se prohíbe utilizar elementos metálicos de tipo clavija (puentes térmicos y acústicos). 			
Presentación y suministro:	Vendrán de dos formas: incorporados a los entramados (kits), o empaquetados en rollos, sin uniones. Los rollos se suministran con medidas según galga: Se indicará el nombre y definición, dimensiones, peso/m ² y fecha de fabricación.			
Colocación:	<ul style="list-style-type: none"> • Soporte: Eliminar cualquier elemento punzante y rebajar la superficie en caso de que presente aristas pronunciadas para evitar su deterioro. • Instalación: En caso de que no venga incorporada a un kit de entramado, se desenrolla sobre una superficie de forma que se eviten los pliegues y las arrugas. • Protección: Una vez instalada, se protegerá de cualquier perforación y del daño mecánico. • Solapes: Se realizan solapes mínimos de 10 cm. con cinta adhesiva, previo sellado con silicona acústica. Una vez instalada, se evitará el desplazamiento accidental de los solapes. 			
Almacenaje:	Conservar en el envoltorio original, apilados en posición horizontal, a una temperatura de 5-35°C, protegido del sol (radiación UV), lluvia y humedad.			
Características aproximadas según galga				
Galga	Galga 400	Galga 600	Galga 800	Galga 1000
Color	Transparente o negro (con aditivo de negro humo para mayor duración)			
Masa unitaria	100 g/m ²	150 g/m ²	200 g/m ²	250 g/m ²
Espesor	0,10 mm. ±15%	0,15 mm. ±15%	0,20 mm. ±15%	0,25 mm. ±15%
Densidad aprox.	922 Kg/m ³			
Permeabilidad (pv)	0,45 x 10 ⁻⁶ á 3 x 10 ⁻⁶ m.g/MN.s			

- INSTALACIÓN DE RETARDADORES DE DIFUSIÓN DEL VAPOR

Es importante que los para-vapores minimicen los problemas de condensación o humedad en toda la envolvente térmica del edificio, es decir, en los cerramientos (muros, tabiques y techos) en contacto con el exterior o espacios no calefactados, y en losas o soleras de H.A.

La necesidad, así como la colocación del para-vapor varía en función de la zona climática donde se actúa.

- Climas templados:

En climas en que predomina la necesidad de calefacción moderada, ciertos materiales definidos como frenos del vapor de agua ($0,18 < p \times e < 1,8$), impiden la difusión de la humedad a niveles aceptables, gracias a lo cual ya no se requiere un para-vapor en el sentido estricto de la palabra.

Esto se debe a que, si el para-vapor debe colocarse en el lado caliente de un cerramiento, la mitad del año estaría bien colocado, pero el resto lo estaría mal. En realidad, en esta zona climática, las cargas anuales de refrigeración son prácticamente iguales a las de calefacción.

No obstante, como en el caso de amplias zonas de España donde los meses de frío superan a los de calor, se recomienda se coloque siempre que se pueda, y respondiendo a los criterios indicados para climas extremos fríos.

- Climas extremos:

En las zonas de climas extremos, se recomienda usar para-vapores en las construcciones de nueva planta.

Los para-vapores funcionarán mejor cuanto más cerca estén del lado caliente de un conjunto constructivo o cerramiento. En las zonas frías ese lado se encuentra hacia el interior de la vivienda, y en. Zonas cálidas/ húmedas hacia el exterior de la vivienda.

En cuanto al acabado final con pintura plástica, ayudará, aún se considera como tal. El comportamiento del cerramiento, es decir, en la cara caliente del aislante térmico (lana mineral de vidrio)

- Comprobación de la limitación de 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.

El procedimiento se basa en la comparación entre la presión de vapor y la presión de vapor de saturación que existe en cada punto intermedio del cerramiento formado por diferentes capas, también para las condiciones exteriores e interiores del mes de Enero.

No obstante, como todos los cerramientos planteados disponen de una barrera para-vapor en la cara caliente del aislamiento térmico (lámina de polietileno de baja

densidad entre el entramado vertical o de tirantes de cerchas, y el trasdosado o cielorraso interior, con un factor de resistencia a la difusión del vapor de agua de 70.000 á 400.000), y los cerramientos en contacto con locales no habitados la tienen en la fría (figura 5.14), no se exige comprobar las condensaciones intersticiales, tal como se indica en el punto 3.2.3.2 del DB-HE1 del CTE.

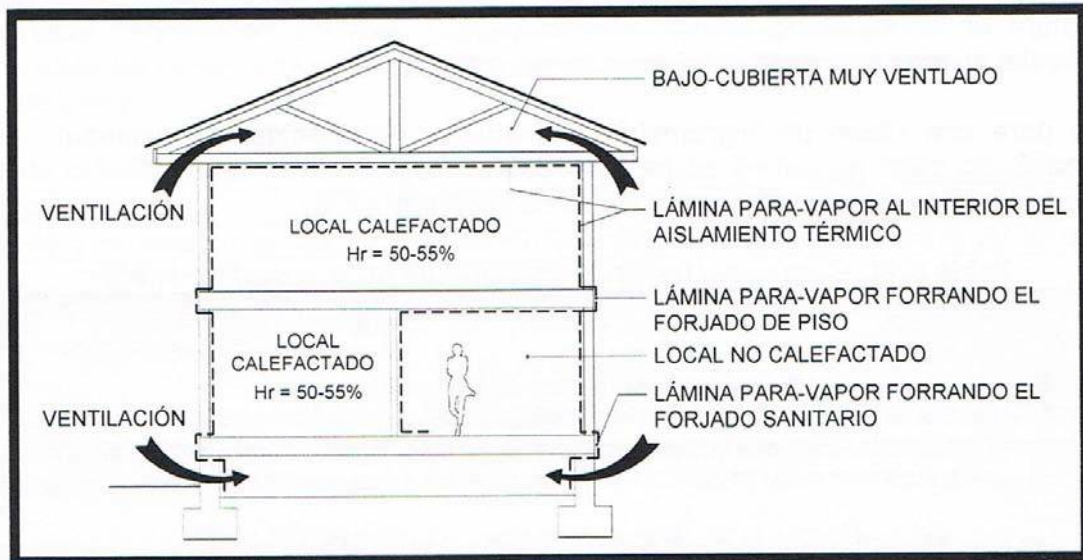


Fig. 5.14. Ubicación de la lámina estanca al vapor de agua

2- CERTIFICACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICACIÓN

- Determinación del nivel de eficiencia

Los tres pilares de la eficiencia energética son:

1. Reducir las pérdidas de energía a través de la envolvente térmica del edificio.
2. Aprovechar la energía generada con eficiencia, mediante un correcto diseño de las instalaciones energéticas y el uso de aparatos que consuman menos.
3. Generar energía con eficiencia, bien a partir de energías convencionales o limpias en el propio edificio.

La influencia de una envolvente térmica realizada a partir del sistema de plataforma en el cómputo general de una vivienda podrá analizarse bajo los siguientes datos generales:

- La envolvente térmica del edificio influye únicamente en el gasto de calefacción, un

45% del total de una vivienda.

- Las pérdidas de calor a través de la envolvente térmica del edificio se cuantifican en un 37% para las carpinterías y 63% para el resto.

Si el porcentaje correspondiente a calefacción dentro del consumo total de una vivienda tipo, como media nacional, responde al 45% (figura 5.16), y el sistema constructivo únicamente afecta de forma directa a este consumo, podemos considerar que si conseguimos aislamientos un 50-60% superiores al exigido en las partes ciegas en la zona climática de invierno más desfavorable (E), el ahorro final podría estimarse en un 15-20% en función de las orientaciones, huecos, tipos de carpinterías y vidrios, etc.

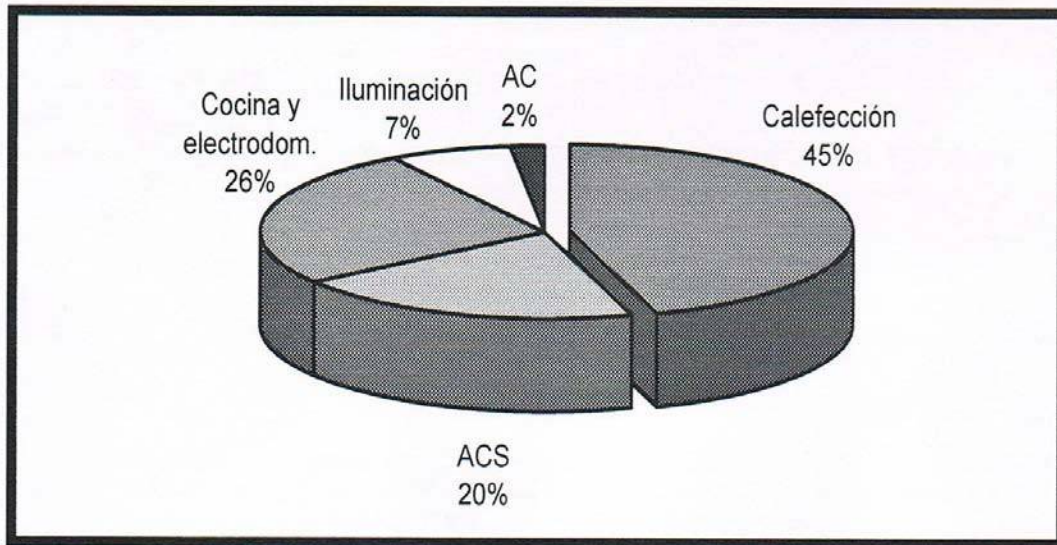


Fig. 5.16. Gasto energético medio de una vivienda tipo en España (IDAE, 2007).

A título de ejemplo, El IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) conjuntamente con el SAVE (Comisión de las Comunidades Europeas. Dirección General de la Energía; Acciones Específicas para Fortalecer la Eficiencia Energética) realizó una experiencia en 8 viviendas unifamiliares madrileñas construidas con el sistema de plataforma.

La base del proceso de Certificación Energética fue la comparación del consumo energético del edificio que se iba a construir con otro de similares características que se limite a cumplir la normativa, en aquellos momentos vigente, en materia energética (NBE CT-79 y RITE-98).

El cociente 'I', índice indicativo de la calidad energética, es igual al consumo total del edificio dividido entre el consumo total del edificio de referencia. En función del valor que se obtenga se establecerán unas calificaciones. De esta forma tendríamos:

- 1,00 < I < 1,15Aprobado
- 1,15 < I < 1,30Notable
- 1,30 < ISobresaliente

Considerando que los aspectos que influyen en el Grado de Eficiencia Energética de una vivienda no solamente atañen a su diseño constructivo y características de los materiales utilizados, el resultado del análisis obtuvo una evaluación global positiva, y se otorgo una calificación de notable alto, con un valor de ahorro global de energía estimado de un 22% respecto al consumo de un edificio de referencia (edificio equivalente que cumpliera estrictamente con la normativa y las recomendaciones vigentes).

Dentro del mismo informe se destacaron los siguientes aspectos del sistema constructivo:

- El sistema constructivo de plataforma presenta importantes ventajas desde el punto de vista higo-térmico con respecto a los sistemas convencionales.
- Eliminación de los puentes térmicos en frentes de forjado y mochetas de ventanas.
- En general, se considera que el sistema de plataforma implica que la vivienda tenga un nivel de aislamiento térmico elevado.

EVERTON NEGOCIOS SL.

Noviembre de 2011