

DISEÑO ACÚSTICO DE EDIFICIOS DE MADERA EN ALTURA PARA EL CUMPLIMIENTO DE REQUISITOS DEL CTE

MARTA FUENTE GONZÁLEZ. ACÚSTICA EN EDIFICACIÓN, TECNALIA.
marta.fuente@tecnalia.com

INTRODUCCIÓN

Aunque durante muchos años en España ha prevalecido la construcción tradicional pesada, en los últimos años es más habitual encontrarse con proyectos de edificios de madera ya sea a la manera tradicional como también con sistemas más novedosos (sistemas de madera contralaminada CLT, sistemas modulares 3D,...). En otros países es un sistema más habitual: Países Nórdicos, Canadá, EEUU, Nueva Zelanda, etc. Incluso cada vez se realizan más proyectos de edificios de madera de bastantes alturas (UK, Suecia, Alemania, Suiza, Austria, Canadá, USA, etc.) y de construcción modular 3D en madera (Francia, Austria), y se está impulsando de manera bastante intensa la construcción de rascacielos de madera (desde Canadá, USA o Suecia). Este impulso deriva en gran parte por el hecho de que la arquitectura con madera permite construir edificios más sostenibles y amigables con el medio ambiente.

Con respecto a los requisitos acústicos que deben cumplir, cuando hablamos de **construcción en altura** estamos refiriéndonos a edificación colectiva que incluye edificios de varios pisos así como también edificios adosados que comparten estructura, y con diversos usos: residencial público o privado, educacional, oficinas, hospitalario...

El aislamiento acústico constituye uno de los puntos débiles de los sistemas de construcción ligera o prefabricada con soluciones de junta seca (como por ejemplo productos base madera).

LA CONSTRUCCIÓN CON MADERA Y EL CTE DB HR 2009

El Documento Básico de Protección frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación (CTE DB HR 2009) especifica parámetros objetivos, reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de protección frente al ruido mediante una OPCIÓN SIMPLIFICADA y una OPCIÓN GENERAL.

Para satisfacer los valores límites, los edificios se tienen que diseñar, proyectar y construir de tal forma que los elementos constructivos que conforman sus recintos tengan unas características acústicas adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido de impactos y del ruido y vibraciones de las instalaciones propias del edificio.

Los requisitos del CTE DB HR 2009 de ais-

lamiento acústico se establecen entre dos recintos, terminados, in situ. Esto implica, que además del aislamiento individual de cada elemento constructivo, se han de considerar las transmisiones acústicas a través de las juntas de unión, y otros factores como la geometría de los recintos. Además, los equipos de proyecto han de presentar una memoria justificativa del dimensionado de todos los recintos del edificio. Para facilitar el cumplimiento de los requisitos, el CTE DB HR 2009 incluye herramientas de diseño de los edificios. La Opción Simplificada es una herramienta prescriptiva que proporciona soluciones de aislamiento que dan conformidad a las exigencias de aislamiento a ruido aéreo y a ruido de impactos, mientras que la Opción General contiene un procedimiento de cálculo para dimensionar el aislamiento entre recintos a partir de las prestaciones acústicas de los productos que los conforman.

Los requisitos acústicos reflejados en el actual CTE DB HR 2009 son aplicables a los edificios construidos con madera, sin embargo, las tablas de la opción simplificada no se aplican a forjados de madera, ni a forjados mixtos de madera y hormigón. Esto no quiere decir que los forjados de madera no cumplan las exigencias del CTE DB HR 2009, sino que no están recogidos en la opción y habría que justificar su empleo por otros medios.

No obstante, la opción simplificada puede utilizarse para justificar el cumplimiento frente al ruido exterior de sistemas de madera como fachadas, cubiertas (Figura 1) y suelos en contacto con el aire exterior únicamente en edificios en los que no haya que cumplir requisitos de aislamiento acústico entre recintos interiores (ej. viviendas unifamiliares).

La OPCIÓN GENERAL del CTE DB HR 2009 contiene un procedimiento de cálculo basado en el modelo simplificado para la transmisión acústica de las Normas UNE EN 12354 (2000, 2001). El CTE DB HR también indica que puede utilizarse el modelo detallado que se especifica en esa norma.

Sin embargo, las normas UNE EN 12354 (2000, 2001) no son válidas para el diseño de ciertas construcciones: edificios a base de elementos constructivos ligeros o edificios que combinan elementos ligeros y pesados.

Esto significa que para predecir y por tanto justificar el aislamiento acústico in situ de un **edificio colectivo en altura construido totalmente**

CONSTRUCCIÓN

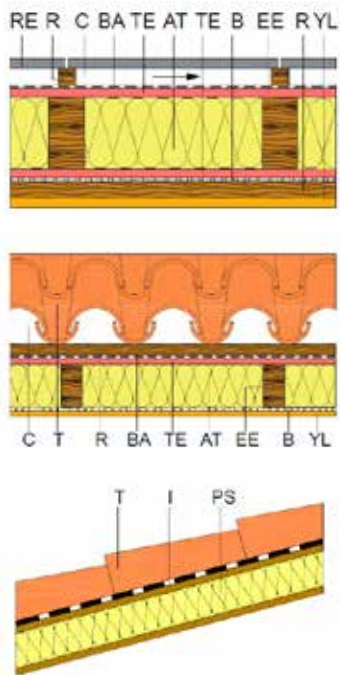


Fig. 1 Ejemplos de fachada y cubiertas de madera del Catálogo de Elementos Constructivos (<https://itec.cat/cec/>).

con madera, o con al menos los forjados de madera, no se puede utilizar la opción simplificada del CTE DB HR 2009 ni las normas UNE EN 12354 (2000, 2001) a las que hace referencia el CTE DB HR 2009. Por ejemplo, no se pueden utilizar datos de ensayos en laboratorio de forjados de madera directamente en la justificación del CTE DB HR 2009 ya sea en la solución simplificada como en la general.

Los sistemas de construcción ligera pueden presentar diferentes configuraciones: combinaciones de elementos ligeros y pesados, elementos ligeros homogéneos o elementos ligeros compuestos, y las diferentes formas de unión entre elementos. Pero todos ellos presentan unas características comunes que les diferencian de los elementos constructivos más pesados:

- Masa y frecuencia crítica de los elementos.
- Amortiguamiento interno de los elementos.

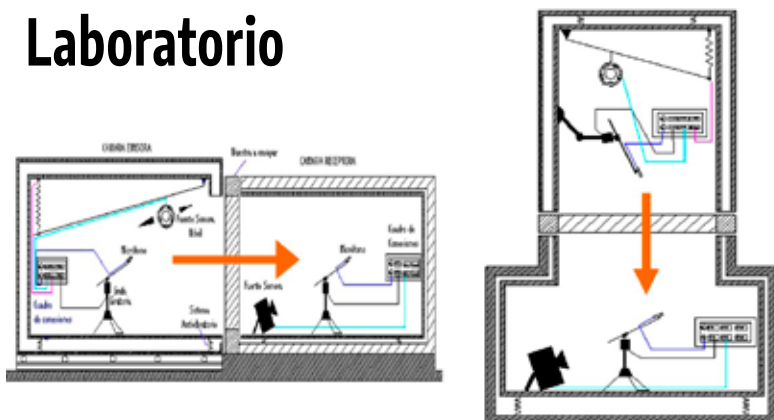
Estas dos características implican que a la hora de predecir el comportamiento acústico en sistemas ligeros hay que tener en cuenta dos aspectos fundamentales que no están contemplados en la versión del 2000-01 de las normas EN 12354:

- Es necesario **distinguir entre transmisión resonante (libre) y forzada**.
- Hay que tratar adecuadamente los caminos de transmisión indirecta que se pueden dar en sistemas constructivos multicapa.

En la segunda versión de las normas **UNE EN ISO 12354 (2018)** ya se tienen en cuenta estos aspectos y se contemplan modelos para edificios con construcción ligera (no sólo paredes o fachadas, también el forjado). **De manera que**

Fig. 2 Cámaras acústicas del Laboratorio de Control de la Calidad de la Edificación del Gobierno Vasco.

Laboratorio



dataholz.eu

Beschreibung: gdmx01a-00
Stand: 04.09.18
Quelle: Holzforschung Austria
Bauverteil: HFA, SP

Geschossdecke - gdmx01a-00
Geschossdecke, Holzmassivbau, mit Abhängung, mass, mit Schüttung, andere Oberfläche

Biophysikalische Bewertung

Struktur	M1	R0
Max. Schichtdicke = 5 cm, Max. Luft Ra ₀ = 0,05 m ³ /m ² (bei 1000 mm Schichtdicke) mit einer unteren Schicht mit L _{0,2} = 0,05 m ³ /m ² (bei 100 mm Schichtdicke)		
Dichteschicht	0,05 m ³ /m ² (bei 100 mm Schichtdicke) mit einer oberen Schicht mit L _{0,2} = 0,05 m ³ /m ² (bei 100 mm Schichtdicke)	
Wärmedämmung	U	(0,25 W/(m ² ·K)) geeignet
Anforderung: U < 0,25 W/(m ² ·K)		
Schichtdicke	L _{0,2} (m ³ /m ²)	(0,05 - 0,10 m ³ /m ²) (bei 100 mm)
Anforderung: L _{0,2} > 0,05 m ³ /m ²		

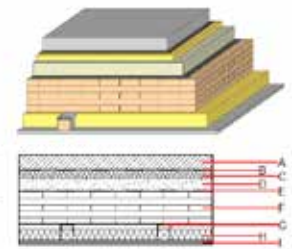


Fig. 3 Ejemplo de detalle de un forjado de madera en www.dataholz.eu.

se actualizarán estas normas en la próxima versión del CTE DB HR prevista para este año 2019.

METODOLOGÍA DE DISEÑO DE EDIFICIOS EN ALTURA DE CONSTRUCCIÓN LIGERA

Para el buen desarrollo de un sistema constructivo desde el punto de vista acústico, se establecen diferentes fases de trabajo:

1. Diseño acústico de cada uno de los elementos del sistema constructivo (paredes, forjados, fachadas...) y su caracterización acústica en laboratorio.

Cada vez más fabricantes de productos de construcción de madera disponen de catálogos con datos del comportamiento acústico en laboratorio de sus productos, que se pueden utilizar en la primera fase de diseño de los elementos constructivos. También existen algunas bases de datos a nivel internacional (por ejemplo, la publicada por Holzforschung Austria, Figura 3) que facilitan esta información, aunque hay que tener en cuenta que en la mayoría de los casos son soluciones constructivas adaptadas a los requisitos acústicos (y térmicos) más estrictos de otros países que hacen que sean soluciones sobredimensionadas para el marco normativo español y por tanto más costosas (materiales, espesores y ejecución).

2. Diseño de la solución constructiva completa, del edificio, mediante cálculos predictivos y validación final a través de las mediciones de aislamiento acústico in situ.

En el aislamiento acústico entre recintos en el edificio influyen:

- La transmisión directa (a través del elemento separador: medianera o forjado). Depende de las características acústicas en laboratorio del elemento, y de la geometría del recinto.
- Las transmisiones indirectas a través del resto de elementos constructivos (fachadas, tabiques, forjado, medianera, etc.). Dependen del aislamiento acústico en laboratorio de los distintos elementos constructivos, de sus modos de unión, y de la geometría de los recintos. En este sentido, todos los elementos constructivos, entre ellos la fachada, constituyen elementos de flanco, y hay que tener en cuenta las posibles transmisiones que se puedan generar a través de los mismos. Las transmisiones indirectas pueden influir de forma importante en el aislamiento global entre recintos. Para evaluar las transmisiones indirectas, es necesario, además de disponer del aislamiento acústico en laboratorio de cada elemento, realizar un análisis del modo de unión entre ellos.

In situ

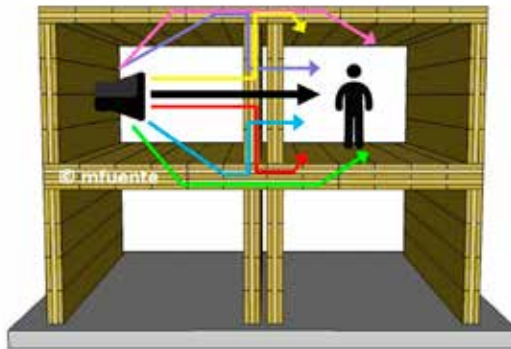


Fig. 4 Transmisión acústica entre recintos en el edificio, in situ.

A la hora de diseñar un edificio en altura de construcción ligera desde el punto de vista acústico se pueden utilizar distintos métodos como por ejemplo: mediante el método de prueba-error, utilizando soluciones constructivas completas ya validadas anteriormente in situ o por último mediante la aplicación de modelos de cálculo predictivo.

Método de prueba y error

Esta metodología consiste en probar una alter-

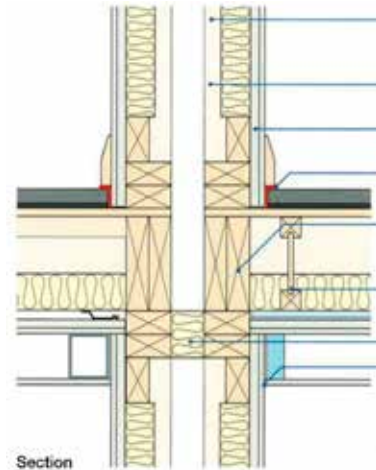
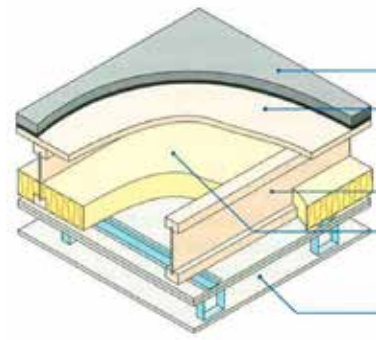


Fig. 5 Ejemplos de detalles de un forjado de madera en Robust Details.

nativa constructiva y verificar si funciona. Si es así, se tiene una solución. En caso contrario se intenta una alternativa diferente.

Las principales técnicas que se utilizan para mejorar el aislamiento con este método pasan por desconectar los sistemas lo máximo posible entre sí, como por ejemplo utilizando el concepto de "caja dentro de caja". Estas actuaciones pueden conllevar un sobredimensionamiento de las soluciones que supone un sobrecoste importante causando que los sistemas ligeros diseñados con este método no resulten competitivos frente a los sistemas constructivos tradicionales pesados.

Soluciones constructivas validadas in situ

Algunos fabricantes, arquitectos, ingenierías y expertos en acústica han diseñado soluciones constructivas que cumplen los requisitos aplicables en el país correspondiente. Un ejemplo de soluciones aplicables disponibles son los Robust

Details de UK (Figura 5), en los que se recogen algunos casos de soluciones constructivas en madera.

En algunos de estos casos hay que tener en cuenta que las soluciones constructivas definidas son más robustas que las que se necesitarían en España ya que los requisitos son más elevados en otros países, de manera que resultan más costosas y no competitivas con soluciones tradicionales.

Modelos de predicción acústica

Los modelos de predicción acústica permiten anticipar el comportamiento acústico en el edificio entre dos recintos a partir de variables como las prestaciones individuales de los elementos que los componen, el tipo de detalle constructivo y la geometría de los recintos.

Existen diferentes métodos para estimar el comportamiento global de un edificio a partir de las características individuales de cada uno de sus componentes, aunque en la práctica el método que ha demostrado mayor precisión es el basado en el Análisis Estadístico de Energía (S.E.A.), del cual las normas EN 12354 son una simplificación.

En la última versión de las normas UNE EN ISO 12354 (2018) ya se contemplan modelos de cálculo para edificios con construcción ligera, manteniéndose los principios generales del modelo de cálculo de la versión anterior, pero con unas diferencias significativas principalmente con respecto a:

- El **MODELO SIMPLIFICADO** (opción general del CTE DB HR): Su aplicación en construcciones ligeras se restringe al uso del Dnf o Lnf para la transmisión por flancos:

$$R_{ij,w} = D_{n,fij,w} + \left(10 \lg \frac{l_{lab} S_s}{l_{ij} A_0} \right) \text{ dB}$$

$$L_{n,ij,w} = L_{n,f,ij,lab,w} + \left(10 \lg \frac{S_{i,lab}}{S_i} \frac{l_{ij}}{l_{ij,lab}} \right) \text{ dB}$$

- El **MODELO DETALLADO** (cálculos por frecuencias):
En construcción ligera distingue entre:
 - Edificios con elementos de madera masivos (ej. CLT): en cuyo caso se utiliza el parámetro Kij para la transmisión por juntas.
 - Edificios de entramado de madera o

acero: donde aparece un parámetro nuevo para la caracterización de la transmisión a través de las juntas de unión: $D_{v,ij,n}$.

Incluye en un anexo informativo fórmulas empíricas del Kij para algunos casos de uniones entre elementos de CLT (sólo unión rígida), y datos empíricos para algunas uniones caracterizadas por el $D_{v,ij,n}$.

Por ejemplo, en la promoción de 65 viviendas construidas con CLT en Hondarribia (Figura 6), el análisis acústico de las soluciones constructivas y justificación del cumplimiento del CTE DB HR, lo realizó Tecnalía con modelos de predicción acústica basados en las normas EN 12354.

A nivel internacional, industriales, centros tecnológicos y universidades siguen investigando, proporcionando más datos relativos al comportamiento acústico de los sistemas ligeros. Sin embargo, dada la multitud de sistemas posibles (gran variedad de elementos constructivos y múltiples formas de unión), desde esos foros se constata que aún faltan datos (principalmente aislamiento acústico en laboratorio y transmisión por juntas) que ayuden, por ejemplo, a proponer estimaciones empíricas de atenuación de juntas para otros tipos de uniones.



Fig. 6 Promoción de 65 viviendas en CLT de Hondarribia (Fuente Tecnalía).

OTROS ASPECTOS DE CONFORT: BAJA FRECUENCIA Y VIBRACIONES A LOS PASOS

Los sistemas de construcción ligera permiten construir edificios en altura que cumplen las prestaciones acústicas del DB HR y presentan otras ventajas asociadas al carácter industrializado de las soluciones y/o a la sostenibilidad de los materiales que incorporan.

Sin embargo, la principal diferencia respecto a los sistemas de construcción tradicionales, asociada a la reducción de masa superficial y de combinación de diversos materiales en las soluciones, es su comportamiento acústico frente a bajas frecuencias y vibraciones.

El reto de estos edificios de cara a futuros desarrollos, ha de pasar por la minimización de las transmisiones acústicas en bajas frecuencias y por la reducción de las vibraciones inducidas por pasos de personas, caídas de objetos, etc.

Pero también hay noticias positivas: si el sistema constructivo ligero presenta un confort similar a las construcciones pesadas en las bandas de baja frecuencia, entonces generalmente estos sistemas ofrecen mucho mejor confort que estas en las frecuencias medias y altas. Por tanto para considerar un sistema de construcción ligera 'bueno' desde el punto de vista acústico no sólo tiene que cumplir los requisitos acústicos, también debe ser una construcción que ofrezca al menos la misma percepción de calidad acústica que la de construcciones pesadas acústicamente bien diseñados.

De todas formas hay que tener en cuenta que la percepción es un aspecto subjetivo que está influida por muchos componentes: culturales, sociales, edad, estado de salud, etc. Aún falta realizar más estudios que muestren mejor la correlación entre valores objetivos (medidos) y percepción subjetiva de la molestia por parte del usuario.

Otra de las causas habituales de quejas en los edificios de construcción ligera son las vibraciones: ya sean las vibraciones propias del forjado o aquellas inducidas por los pasos de personas, la caída de objetos, etc.

Debido a la complejidad que presenta el estudio de las vibraciones, no existen unos valores límites consensuados y recogidos en normativa a nivel internacional, únicamente existen algunas guías con recomendaciones y valores máximos sugeridos.



Fig. 7 Laboratorios para la medida de transmisiones por flancos (Fuentes NRC, EMPA)



Fig. 8 Ejemplos de instalaciones experimentales ad hoc para medir la transmisión por juntas (Fuentes TNO, Tecnalia)

Actualmente en España no existen requisitos normativos al respecto, pero sí que resulta un requisito de confort por el que los propietarios y usuarios finales con frecuencia presentan quejas y empieza a ser una demanda más habitual para estos sistemas novedosos. Por ejemplo, en colegios cuando los niños salen corriendo de las clases, o en edificios con zonas comunes muy frecuentadas.

Por todo esto, el comportamiento vibratorio de los edificios de construcción ligera, debería controlarse desde la fase de diseño con el fin de minimizar posteriores problemas o deficiencias del edificio.

CONCLUSIONES

En el diseño de edificios colectivos en altura contruidos totalmente con madera, o con al menos los forjados de madera, hay que tener en cuenta:

- Los sistemas constructivos de madera combinados adecuadamente con recubrimientos y ejecutados con un buen diseño de juntas son óptimos para cumplir los requisitos actuales acústicos.
- Es importante optimizar el sistema constructivo para ser competitivo con los sistemas constructivos tradicionales pesados. Existen datos a nivel internacional de soluciones constructivas de madera, pero no optimizadas para los requisitos en España, ya que están diseñadas para cumplir exigencias acústicas (y térmicas) más estrictas que las españolas.
- Para predecir y por tanto justificar el aislamiento acústico in situ no se pueden aplicar la opción de cálculo simplificada o general del CTE DB HR 2009 ni las normas UNE EN

12354 (200, 2001).

- Existen modelos de predicción acústica del comportamiento in situ de edificios en madera recogidos en las normas UNE EN ISO 12354 (2018) y se actualizarán estas normas en la próxima versión del CTE DB HR prevista para este año 2019.
- Hay que tener en cuenta en el diseño del sistema los aspectos relacionados con baja frecuencia y vibraciones.

Los principales retos que se plantea la construcción con madera son:

- Existen algunos datos del comportamiento acústico de sistemas constructivos ligeros pero aún falta más información que ayude a los proyectistas a diseñar el edificio: aislamiento acústico en laboratorio y transmisión por juntas.
- Es necesario realizar más investigación sobre el comportamiento en baja frecuencia y las vibraciones de estos sistemas y su relación con el confort del usuario.




MADERAS Y DERIVADOS

Importadores de madera
Carpintería y venta
al detalle



Miembro de las cadenas de custodia

Polígono Industrial de Bamio, 52. Apdo. de correos 65
36600 Villagarcía de Arosa (Pontevedra)
Tel. 986 508 444 Fax 986 501 494
info@maderasredondo.com
www.maderasredondo.com