A close-up, vertical view of a terracotta head of a woman, likely from an Etruscan civilization. The head is shown in profile, facing right, and is the central focus of the background. The texture of the terracotta is visible, and the lighting highlights the contours of the face and hair.

# 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](mailto: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

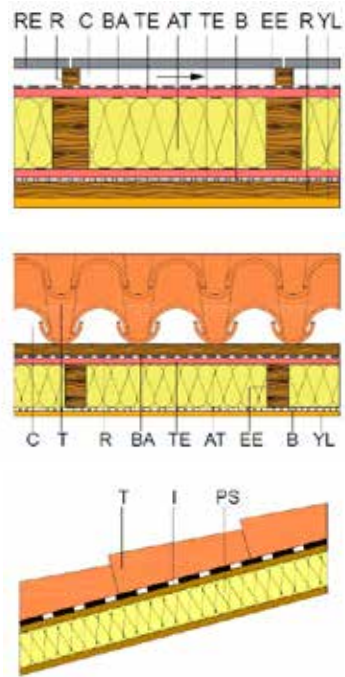


Fig. 1 Ejemplos de fachada y cubiertas de madera del Catálogo de Elementos Constructivos (<https://itec.cat/cec/>).

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.

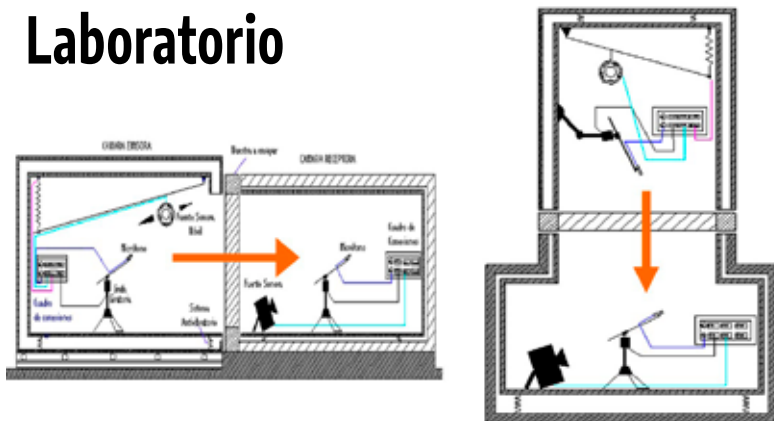
Estas dos características implican que a la hora de predecir el comportamiento acústico en sistemas ligeros hay que tener en cuenta dos aspectos fundamentales que no están contemplados en la versión del 2000-01 de las normas EN 12354:

- 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  
Bauweise: WEA, SP

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

### Biophysikalische Bewertung

Bauschicht	MI	R0
Max. Schichtdicke = 5 cm; Max. Luft Ra <sub>0</sub> = 0,05 m³/m² (bei 1000 mm Schichtdicke) mit einer unteren Schicht mit L <sub>0,05</sub> bei 100 mm Schichtdicke (Schichtdicke ab 100 mm)		
Dichtschicht		
0,05 m³/m² (bei 100 mm Schichtdicke) mit einer oberen Schicht mit L <sub>0,05</sub> bei 100 mm Schichtdicke (Schichtdicke ab 100 mm)		
Wärmedämmung	U	(0,25 W/(m²K)) gering
Ausreichend hoch (H)		
Schichtdicke	R <sub>0</sub> C <sub>0,2</sub> L <sub>0,05</sub> (SP)	(100-150 dB (H))
Anmerkungen: gdmx01a-00		

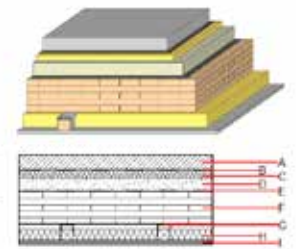


Fig. 3 Ejemplo de detalle de un forjado de madera en [www.dataholz.eu](http://www.dataholz.eu).

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.

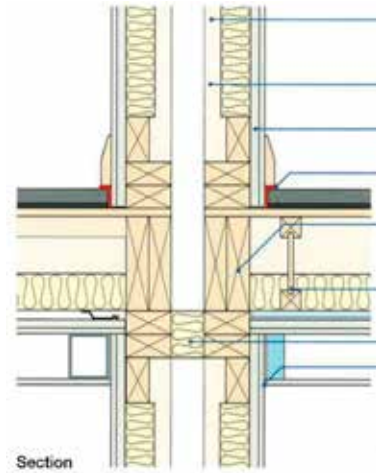
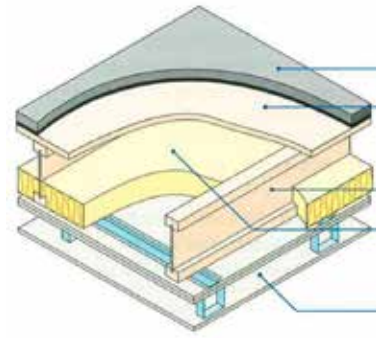


Fig. 5 Ejemplos de detalles de un forjado de madera en Robust Details.

## In situ

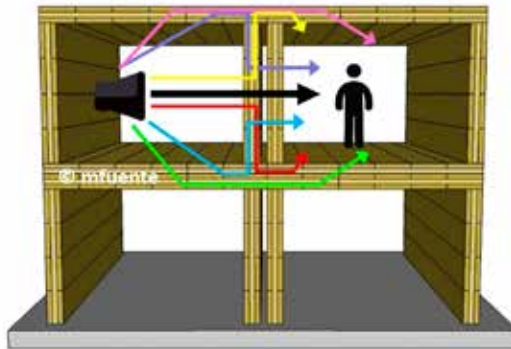


Fig. 4 Transmisión acústica entre recintos en el edificio, in situ.

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-

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:

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

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

- 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 Tecnia 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 Tecnia).