

MÓDULO 2

CONSTRUCCIÓN CON MADERA CONTRALAMINADA (CLT)

CONSTRUCCIÓN CON MADERA CONTRALAMINADA.
EFICIENCIA Y DURABILIDAD



Organiza:



Colabora:



Acústica en construcción con madera contralaminada

Antolino Gallego
prof. Universidad de Granada

Impulsado por:



Concello de Lugo

Financiado por:



Concello de Lugo



DEPUTACIÓN
DE LUGO

Socios:



POLITÉCNICA

LIFE Lugo +Biodinámico. Curso CLT+Acústica

Acústica en construcción con madera contralaminada

Prof. Antolino Gallego
ETS de Ingeniería de Edificación
Universidad de Granada



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Agradecimientos:

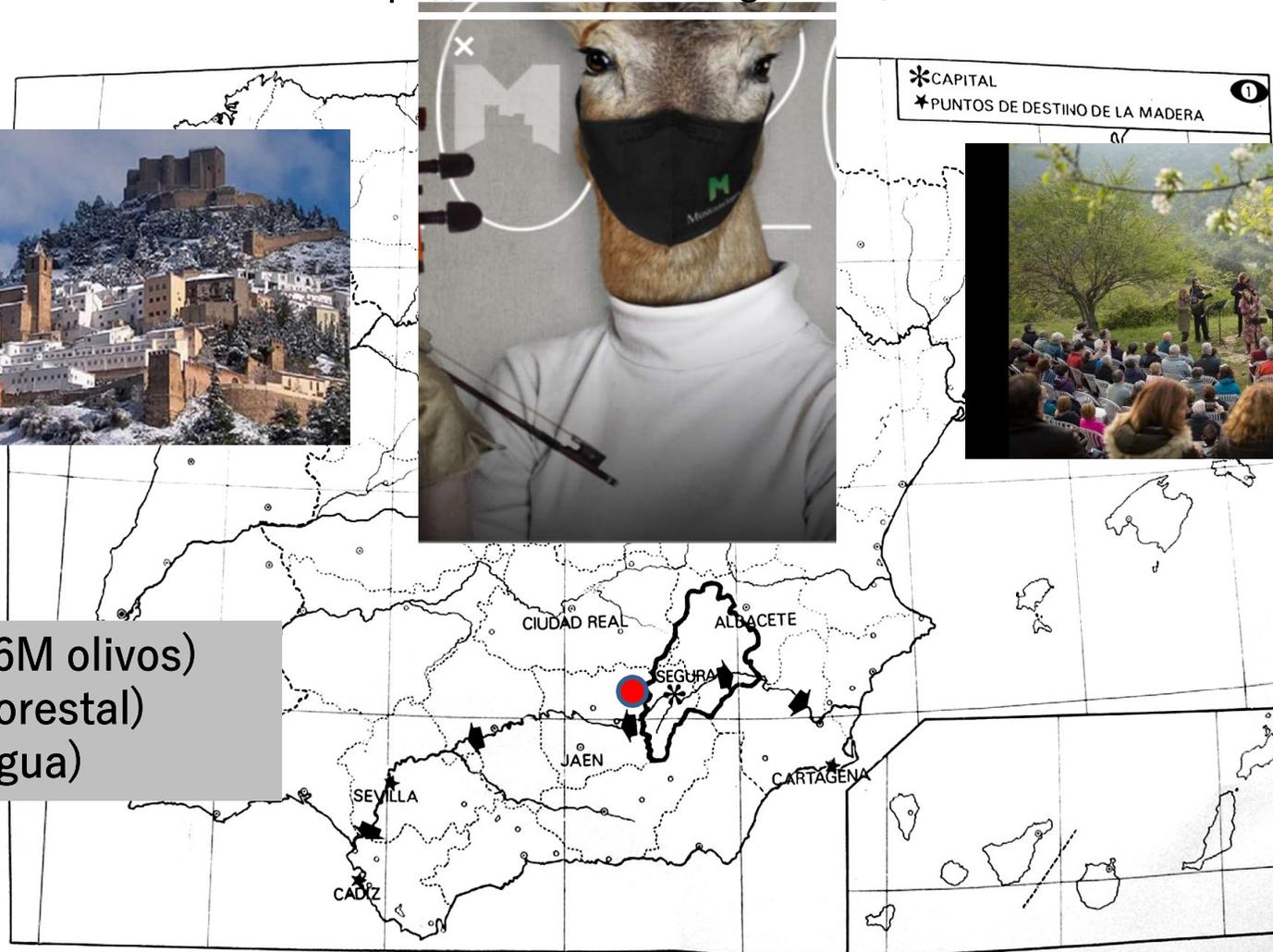
- Pemade
- Life Lugo +Biodinámico



Los Alpes Desconocidos

Provincia Marítima (Siglo XVIII, Fernando VI)

<https://www.musicaensegura.com/>

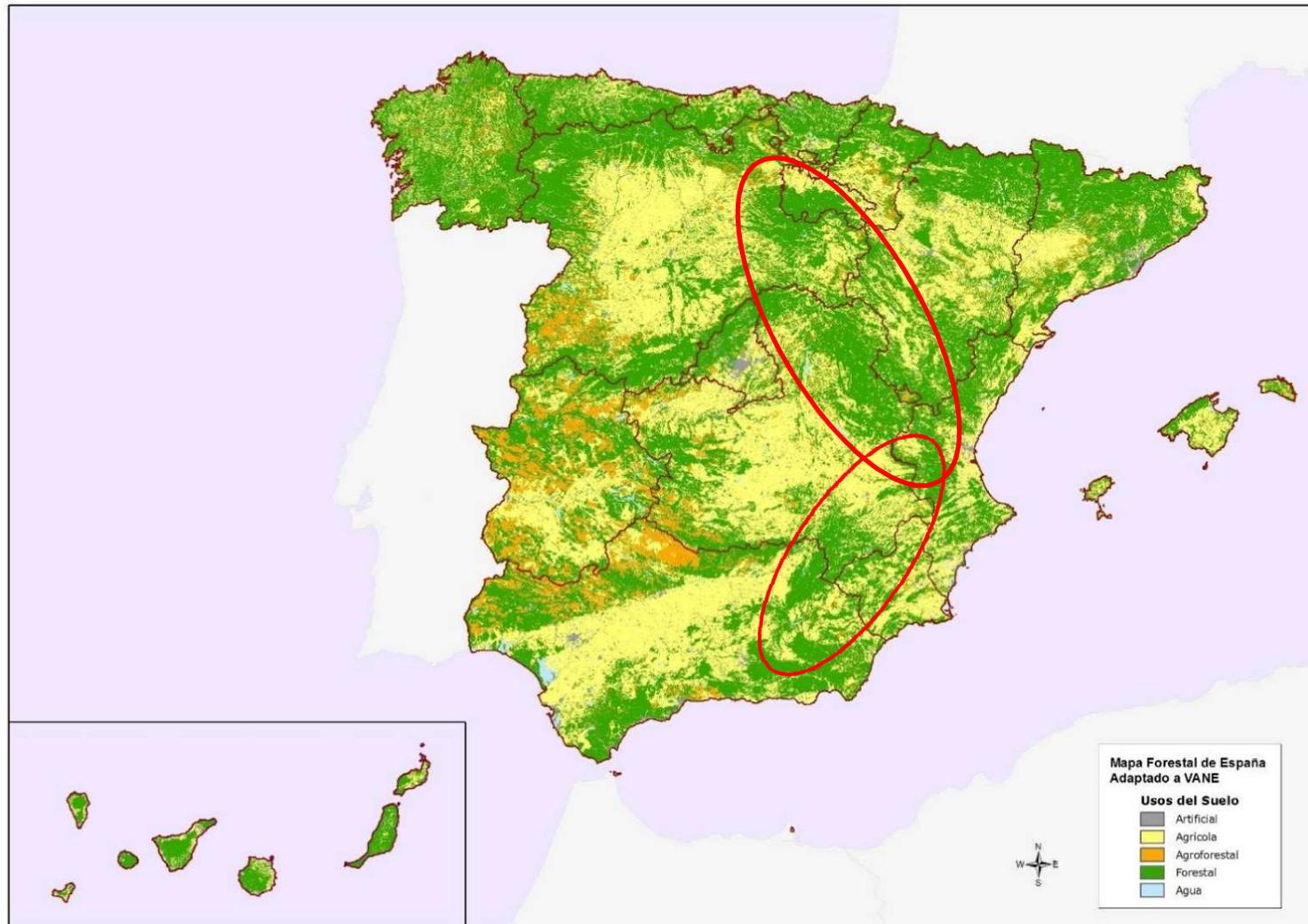


60% (66M olivos)
30% (Forestal)
10% (Agua)

PROVINCIA DE SEGURA DE LA SIERRA
(SITUACION)

Los Alpes Desconocidos

Sistemas Ibérico, Bético y Penibético: Enorme potencial forestal para el desarrollo de una bioeconomía



Los Alpes Desconocidos

Explotación forestal masiva y descontrolada
(hasta principios XX)



Desforestación y
pobreza (1763)

Replantaciones masivas (años 30-50)-Mackay



Falso desarrollo
transitorio

Ultraprotección ambiental (70-)



Superdespoblación y
Turismo: Modelo poco
sostenible

Futuro: Explotación sostenible



Industria local
sostenible y desarrollo
rural



El bosque protector. Cazorla: madera y hombre

Índice

Parte 1: Introducción: mantras de la acústica

Parte 2: Aislamiento de elementos verticales

Parte 3: Aislamiento de elementos horizontales

Parte 4: Desacoplamiento acústico

1. Introducción

MANTRA 1

“La acústica es una disciplina difícil”

¿Hay algo fácil en ingeniería?

Luchar contra el ruido y la búsqueda de una “buena acústica” es una tarea ardua, compleja y cara



BUENA INGENIERÍA

(Buenos ingenieros)



EXCELENTE EJECUCIÓN

(Instaladores cualificados)



**MATERIALES
ADECUADOS**

(Según el programa a resolver)

1. Introducción

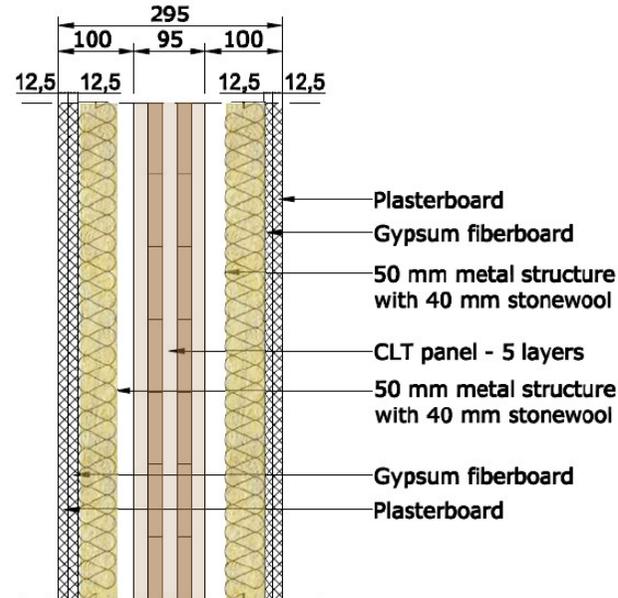
¿y por qué la acústica es compleja?

- El sonido se propaga por todos los materiales
- El comportamiento de un material o solución constructiva frente al sonido depende fuertemente de la frecuencia del sonido

$R(1000\text{ Hz}) = 75\text{ dB}$



1000 Hz; 50-80 dB



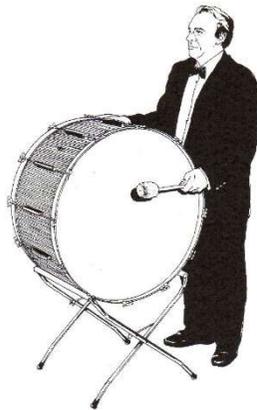
1000 Hz; 0-5 dB

1. Introducción

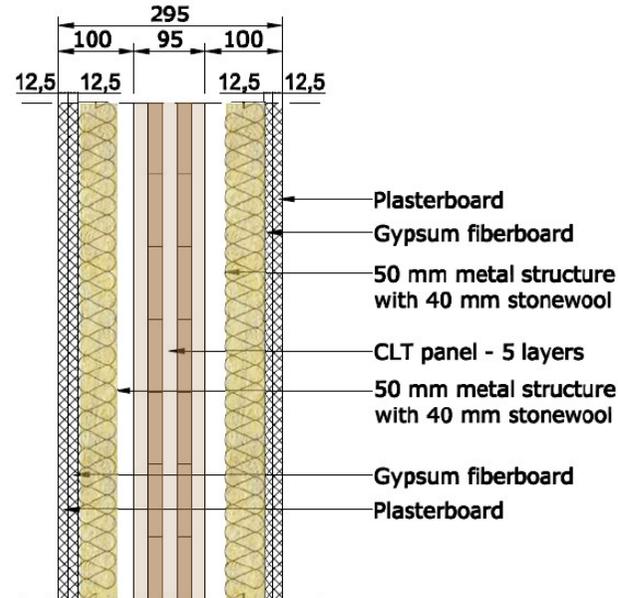
¿y por qué la acústica es compleja?

- El sonido se propaga por todos los materiales
- El comportamiento de un material o solución constructiva frente al sonido depende fuertemente de la frecuencia del sonido

$$R(150 \text{ Hz}) = 45 \text{ dB}$$



150 Hz; 50-80 dB



150 Hz; 5-35 dB

1. Introducción

¿Qué es una vibración?

Es un movimiento, en general de pequeña amplitud en torno a una determinada posición

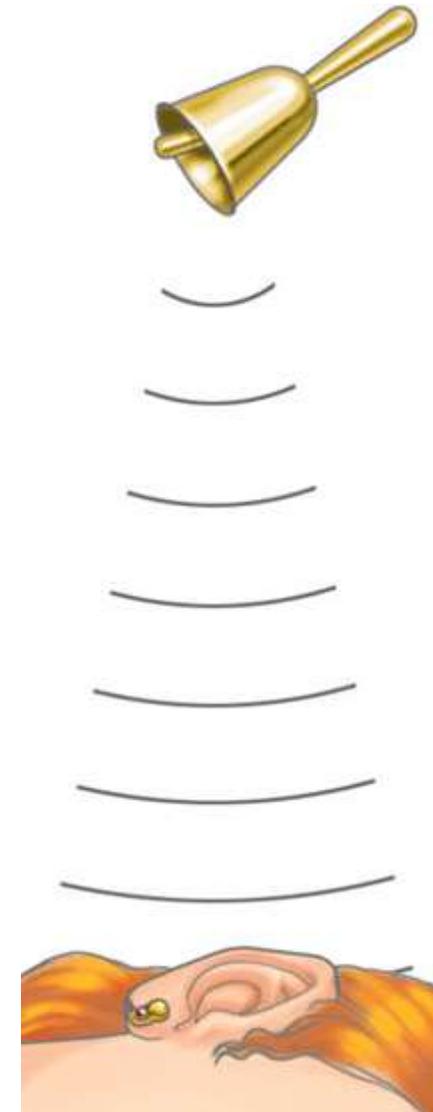
¿Qué es una onda acústica?

Es la propagación de una vibración generada en un punto o zona del espacio, a otras zonas, a través de un determinado medio material

(en madera, 75 veces más rápido que un coche por una autovía)

¿Qué es el sonido?

Es una onda acústica capaz de producir una sensación auditiva en el oído humano



1. Introducción

ACÚSTICA FÍSICA

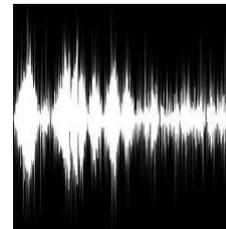
ACÚSTICA FISIOLÓGICA

CAUSA
Emisor o fuente sonora
(Vibración)



- Cuerdas vocales
- Instrumento o equipo musical
- Avión, tren, coche, etc.
- Objeto vibrante en general

CANAL DE PROPAGACIÓN DE LA ONDA



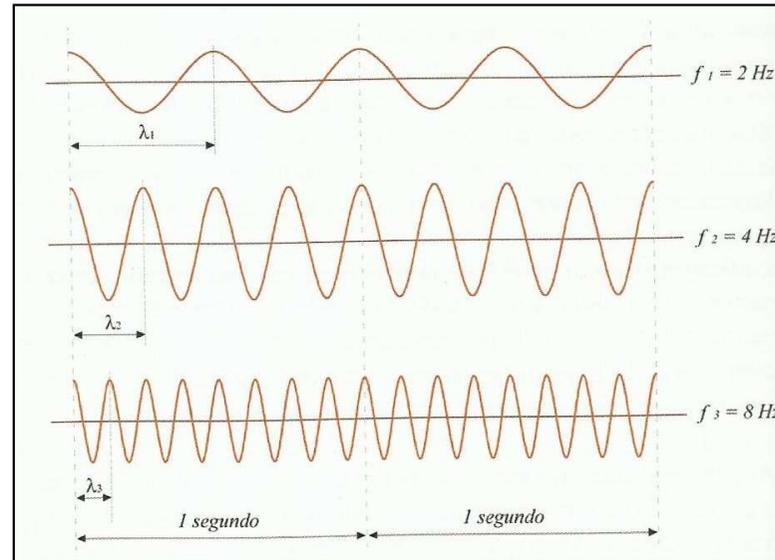
- Habitualmente el aire (SONIDO AÉREO)
- Cerramientos

EFECTO
Receptor
(Percepción por el oído y cerebro)

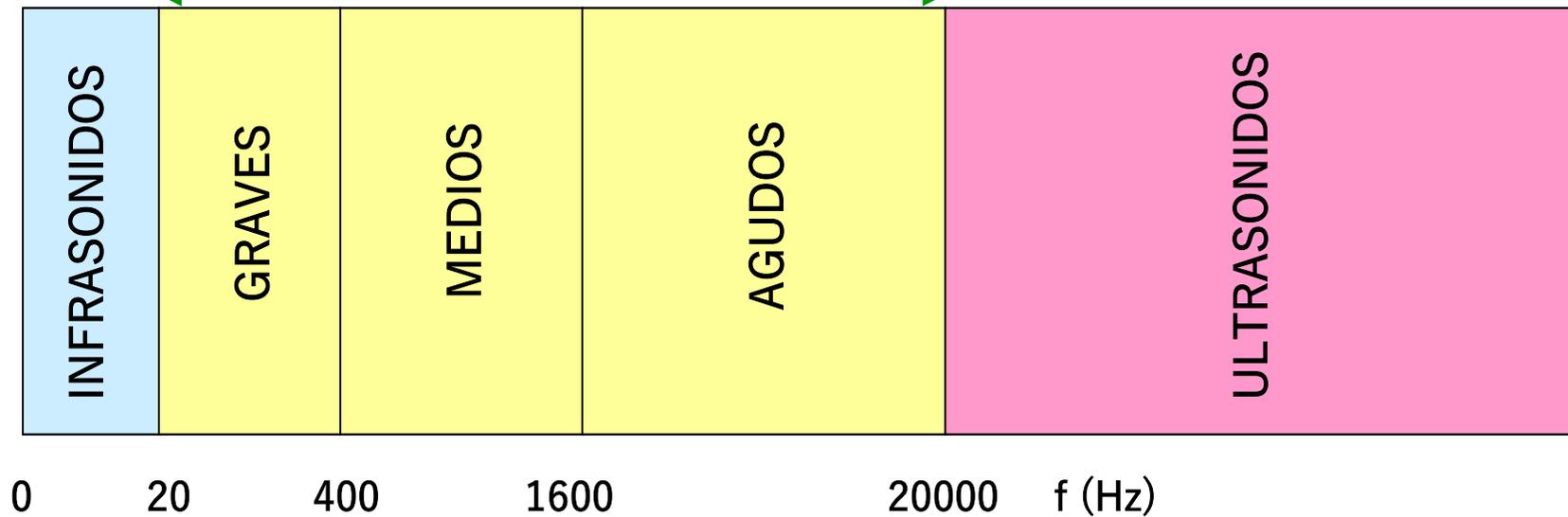


- Es el que genera la sensación auditiva en nuestro cerebro

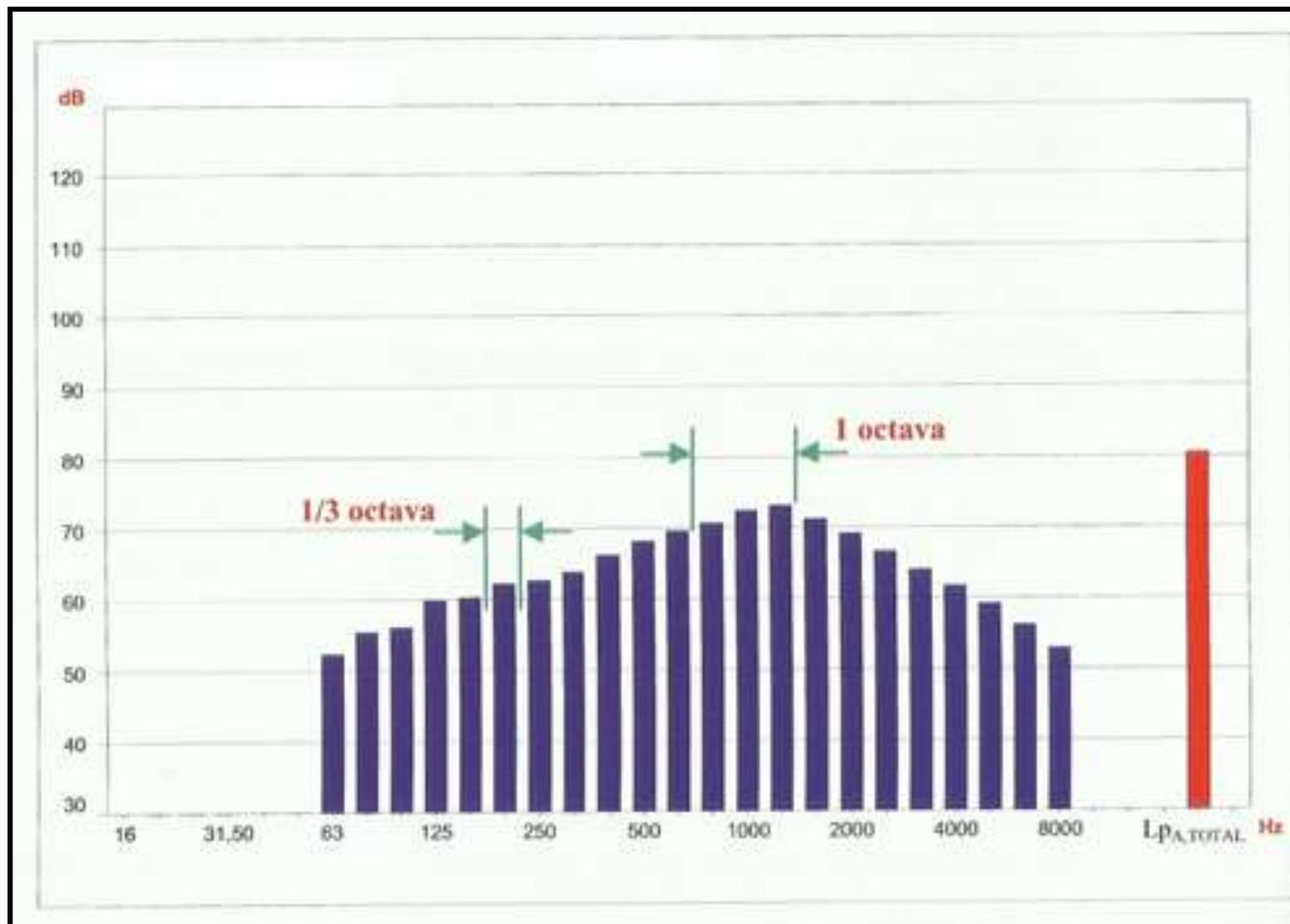
1. Introducción



SONIDOS



1. Introducción



1. Introducción

MANTRA 2

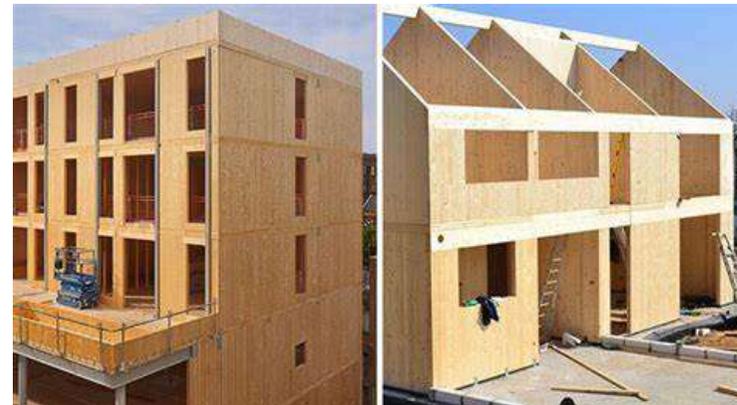
“La madera es un buen aislante y absorbente acústico”

No es cierto

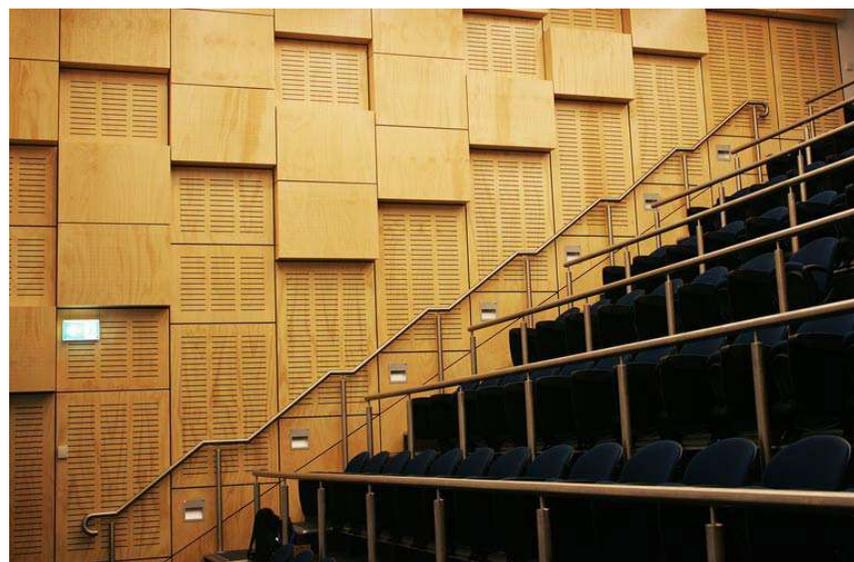
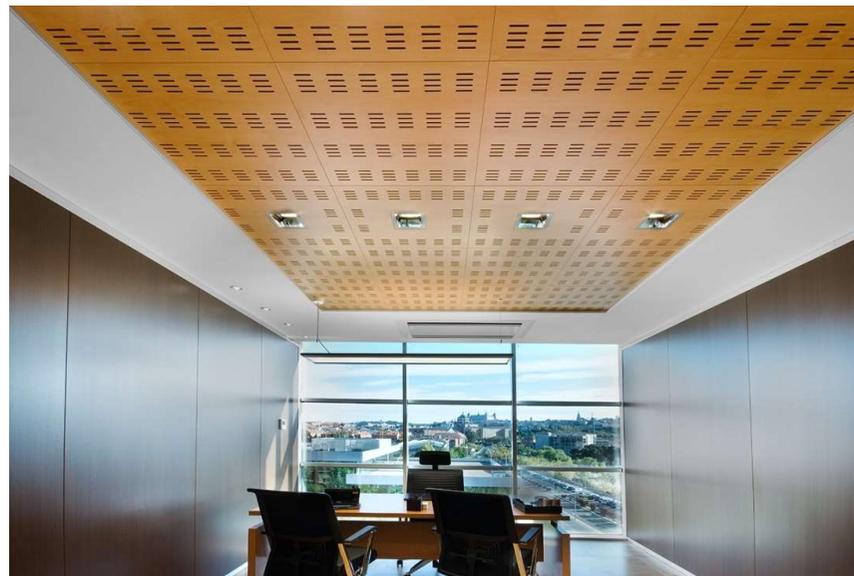
- La madera absorbe poco el sonido, más bien lo refleja
- La madera aísla poco el sonido comparado con los verdaderos aislantes acústicos (materiales porosos-fibrosos, resonadores, etc.).

La madera es muy útil para soluciones mixtas de aislamiento

Aporta ligereza, dureza, elasticidad y estética



1. Introducción



1. Introducción

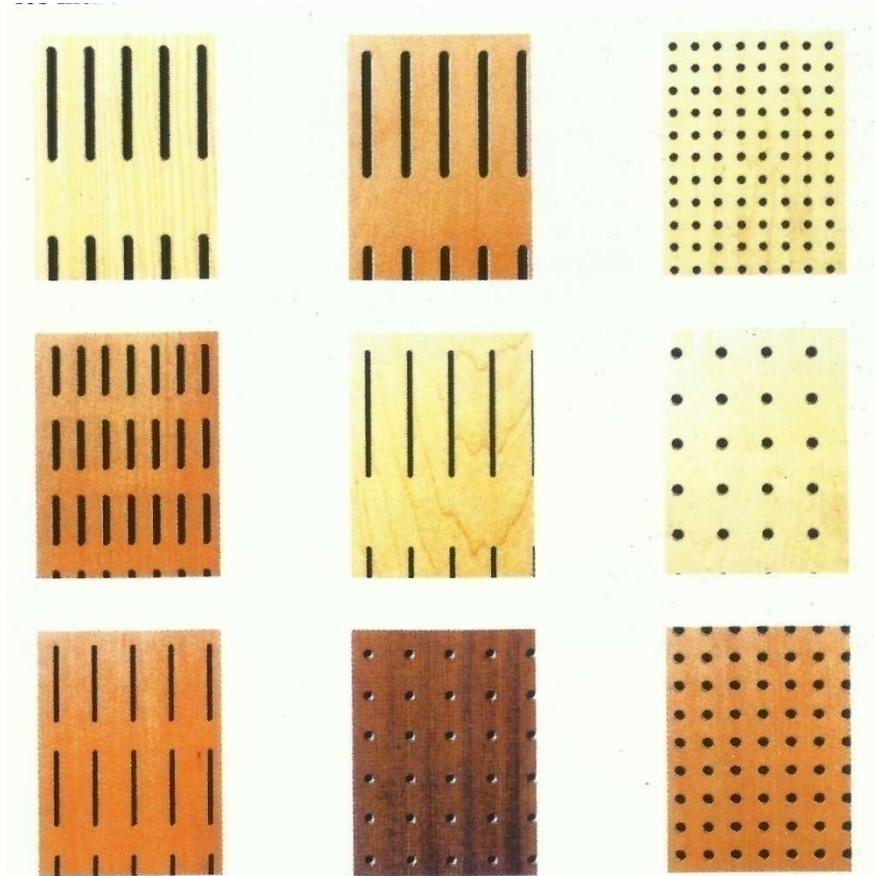


Fig. 2.48 Resonadores a base de paneles de madera perforados y ranurados (paneles Obersound, distribuidos por C.i.C.S. Cortines i Control Solar, S.L.)

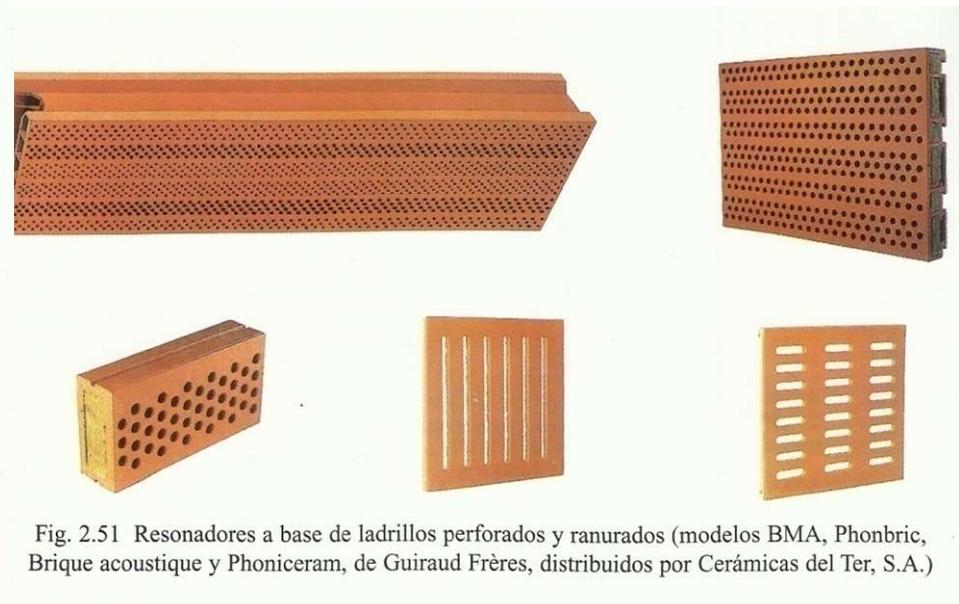
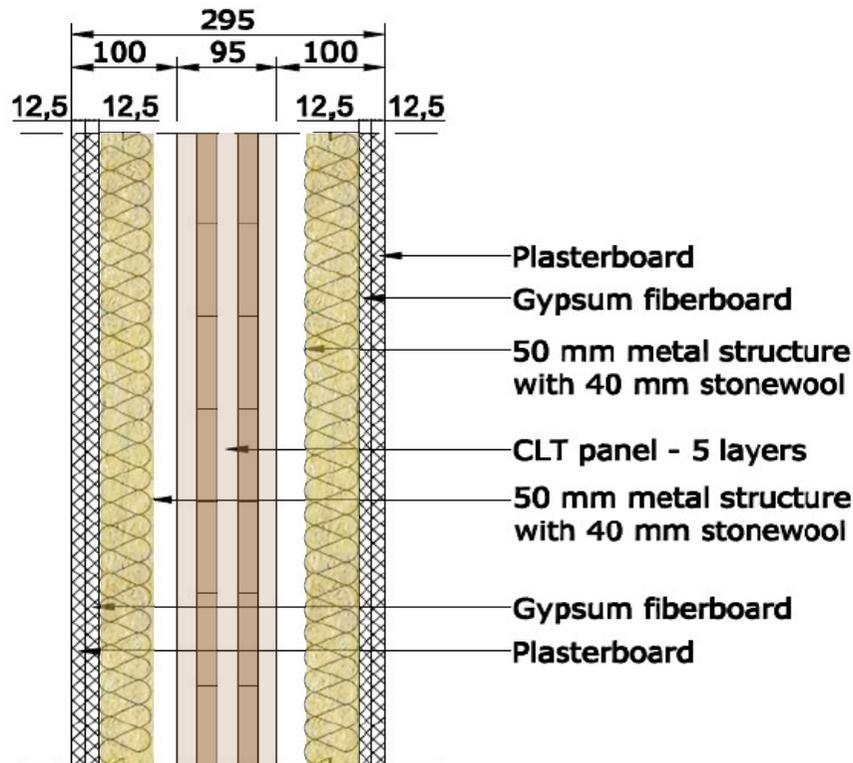


Fig. 2.51 Resonadores a base de ladrillos perforados y ranurados (modelos BMA, Phonbric, Brique acoustique y Phoniceram, de Guiraud Frères, distribuidos por Cerámicas del Ter, S.A.)

1. Introducción

$R_w=64$ dB

Exigencia CTE: >50 dB



- La acústica condiciona en gran medida las soluciones constructivas y el diseño arquitectónico
- Precisa ser tenida en cuenta desde el primer momento

1. Aislamiento de elementos verticales

¿Qué entendemos por aislamiento?

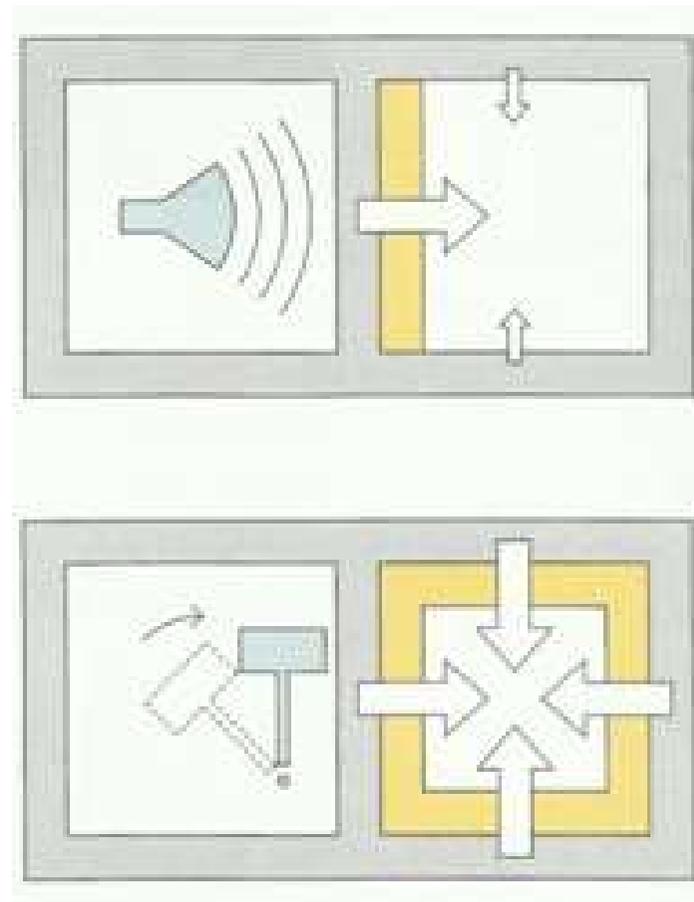
Conjunto de actuaciones sobre los cerramientos para que el sonido no se transmita entre recintos colindantes

Ruido aéreo

El ruido llega a los cerramientos del local receptor por el aire

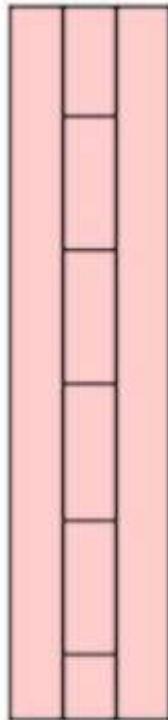
Ruido de impacto

El ruido se genera por un golpe de corta duración sobre los cerramientos. Debido a la alta rigidez de los elementos constructivos, la vibración se transmite rápidamente por toda la estructura

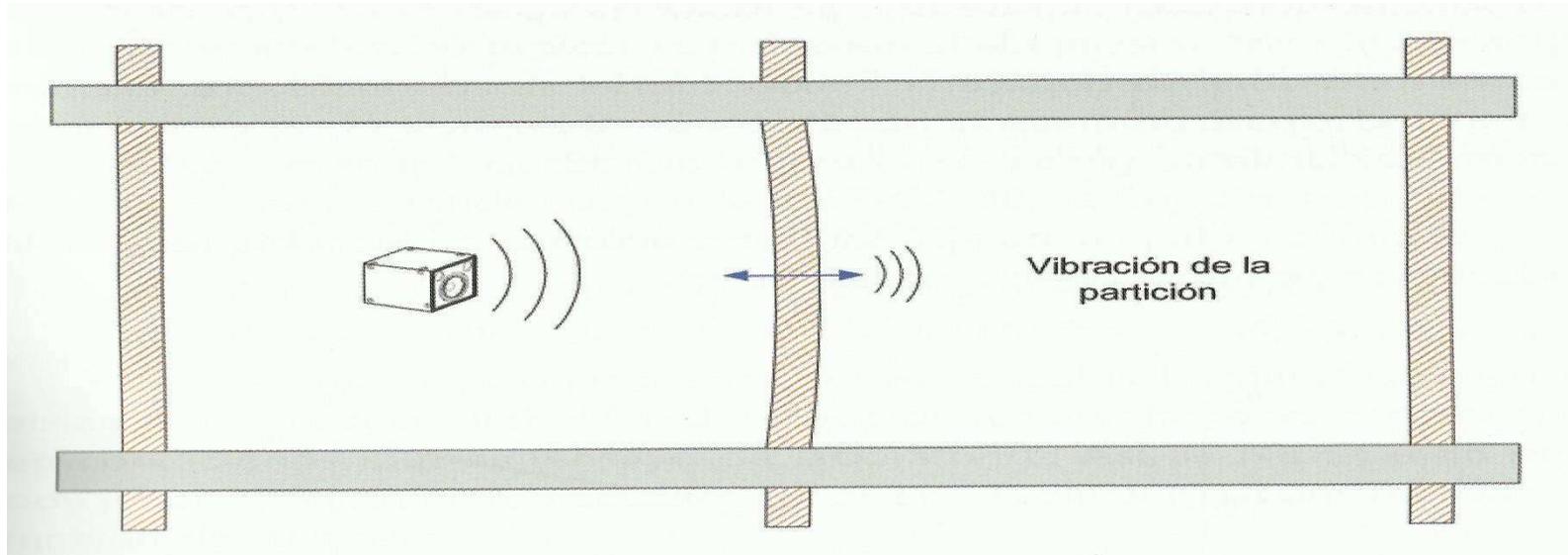


2. Aislamiento de elementos verticales

Partición simple



2. Aislamiento de elementos verticales



2. Aislamiento de elementos verticales

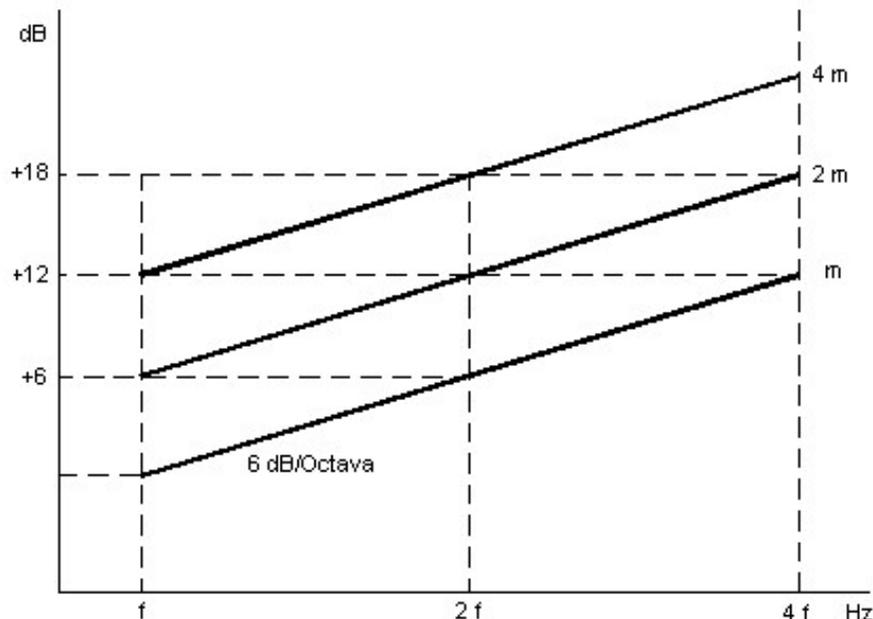
Ley de Masas

$$R = 20 \log Mf - 47$$

f: frecuencia del sonido

M: densidad superficial de masa de la pared (kg/m²)

Representación gráfica de la ley de masa



A MAYOR FRECUENCIA, MAYOR AISLAMIENTO

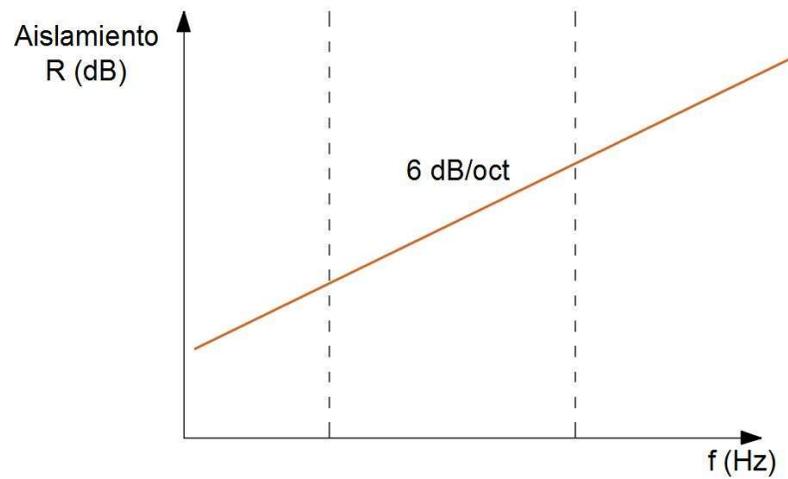
Es más difícil aislar los graves (bajas frecuencias) que los agudos (altas frecuencias)

¿Cómo podemos controlar constructivamente el aislamiento en una pared simple?

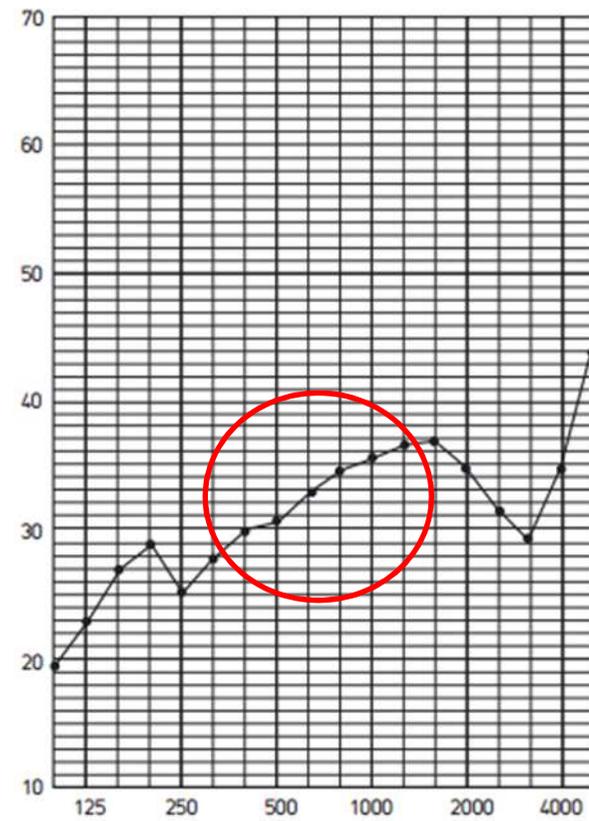
Exclusivamente con su masa M

2. Aislamiento de elementos verticales

Predicción de la ley de masas



Realidad



2. Aislamiento de elementos verticales

Influencia de las frecuencias de resonancia del cerramiento

El cerramiento, como toda estructura, vibra con facilidad a unas ciertas frecuencias (frecuencias de resonancia).

EFFECTO TAMBOR O GUITARRA

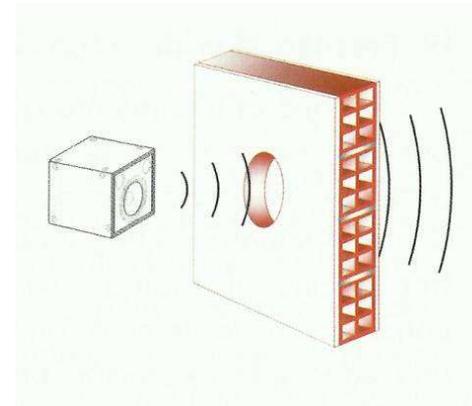
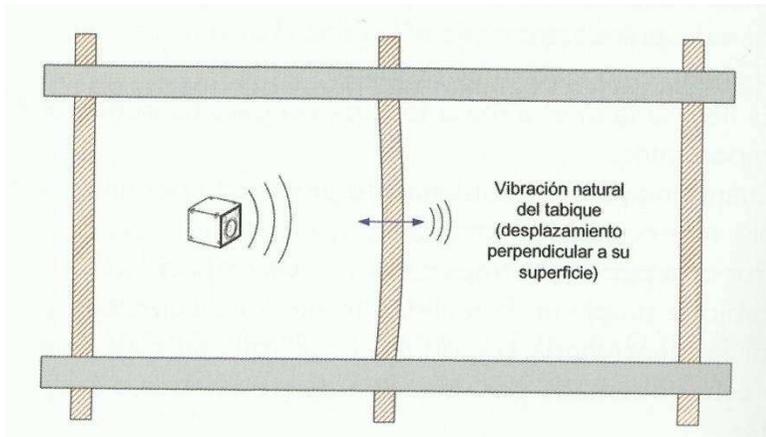
$$f_{res} = 0.5h \sqrt{\frac{B}{\rho} \left[\left(\frac{n}{x} \right)^2 + \left(\frac{m}{y} \right)^2 \right]}$$

h : Espesor de la pared

B, ρ : Módulo de rigidez a flexión y densidad superficial del material de la pared

x, y : Dimensiones de la pared

n, m : Números naturales



2. Aislamiento de elementos verticales

Influencia de las ondas de flexión en el cerramiento

La vibración de la pared puede dar lugar a ondas longitudinales de flexión a lo largo de la superficie. **EFECTO BANDERA o FENÓMENO DE LA COINCIDENCIA**, que ocurre a una frecuencia denominada frecuencia de coincidencia o frecuencia crítica

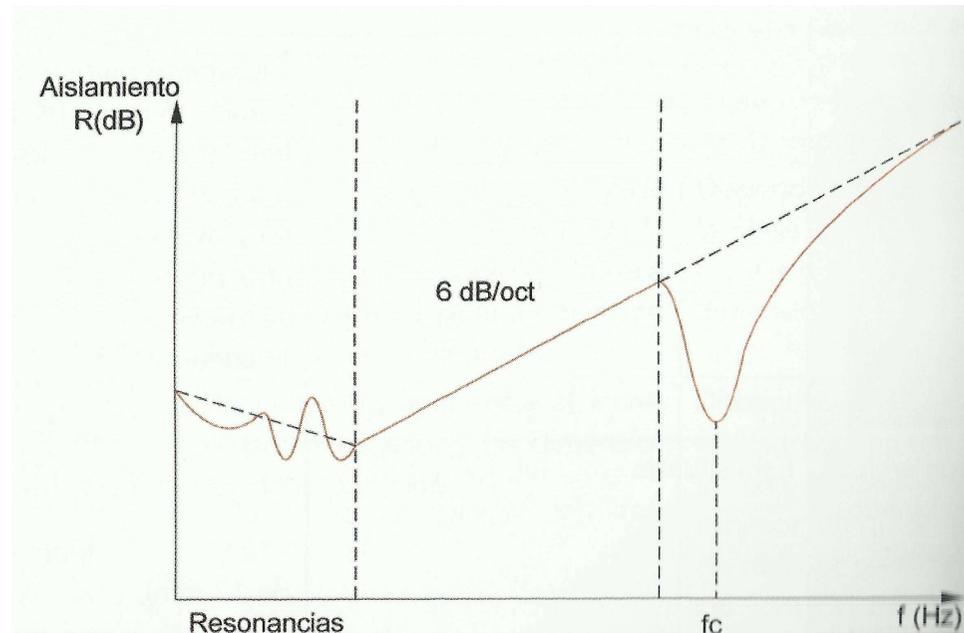


$$f_c = \left(\frac{c^2}{1,8h} \right) \sqrt{\frac{\rho}{E}}$$

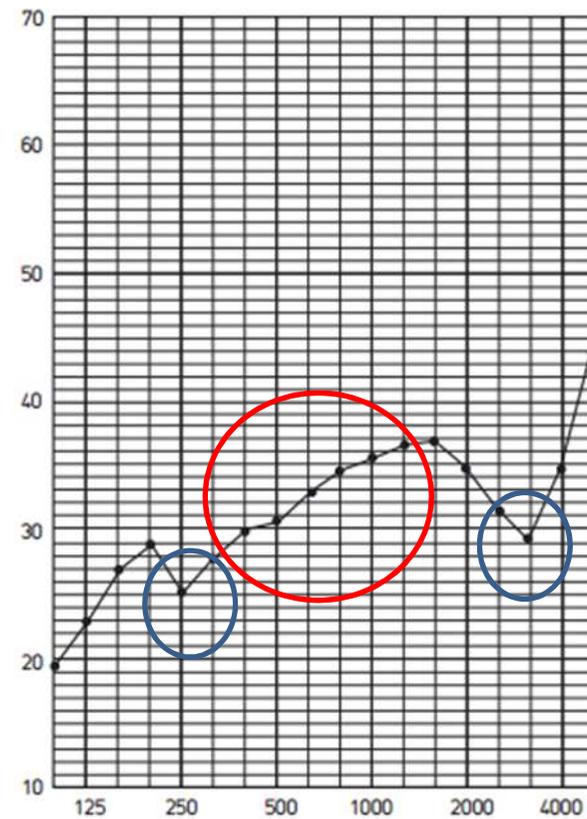
h: espesor del tabique, en m.
 ρ : densidad del material, en kg/m³
c: velocidad del sonido en el aire
E : Rigidez del material, en N/m²

2. Aislamiento de elementos verticales

Predicción de la ley de masas+
Resonancias + Ondas de flexión



Realidad



2. Aislamiento de elementos verticales

¿ y qué pasa si el cerramiento es de CLT?

EGO CLT 90, pino radiata

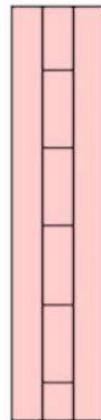
3 capas; h=90 mm

Dimensión: 3 x 4 m

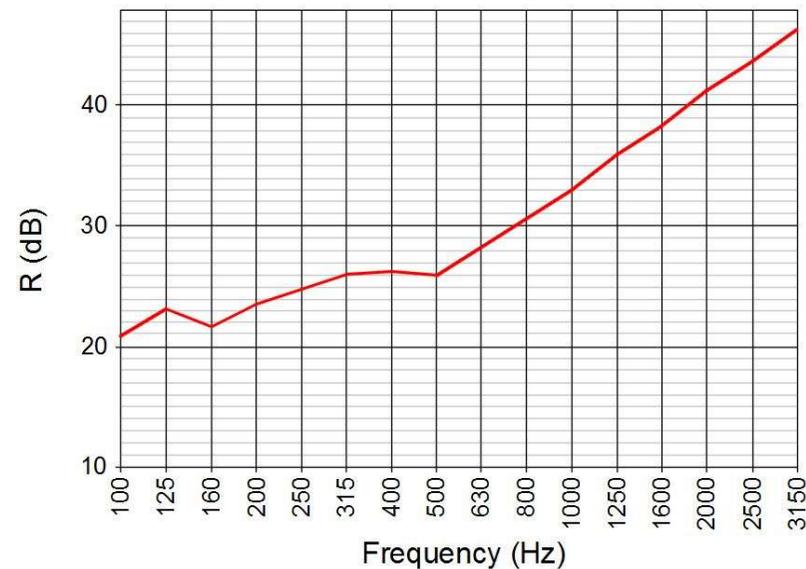
Densidad: 520 kg/m³

Módulo a flexión: 9000 N/mm²

Módulo transversal: 560 N/mm²



CLT 3c | 90 mm



170 Hz

500 Hz

R_w = 30 dB

Exigencia CTE: >50 dB

2. Aislamiento de elementos verticales

Exigencia CTE: >50 dB

Y si comparamos con diferentes soluciones tracionales de ladrillo..

CLT-3
h=90 mm, M=47 kg/m²



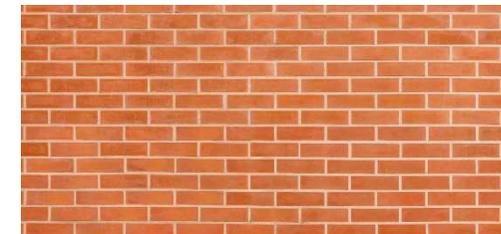
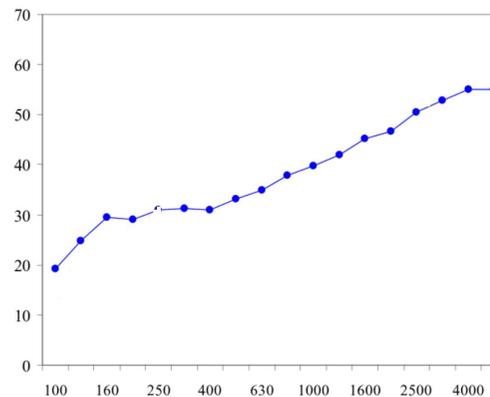
R_w = 30 dB

CLT-5
h=120 mm, M=67 kg/m²



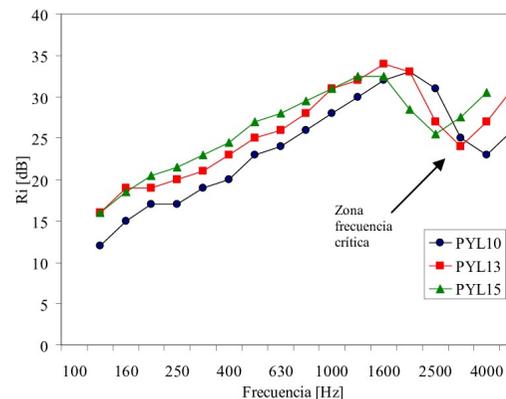
R_w = 36 dB

Ladrillo hueco
h=70 mm, M=51 kg/m²



R_w = 40 dB

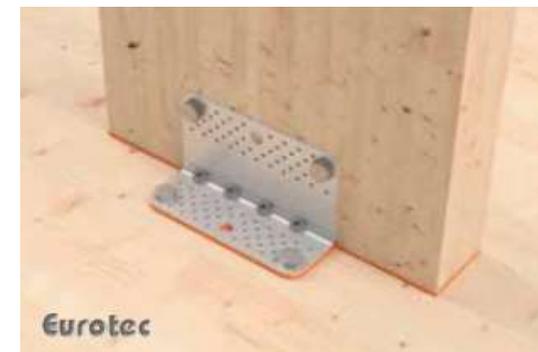
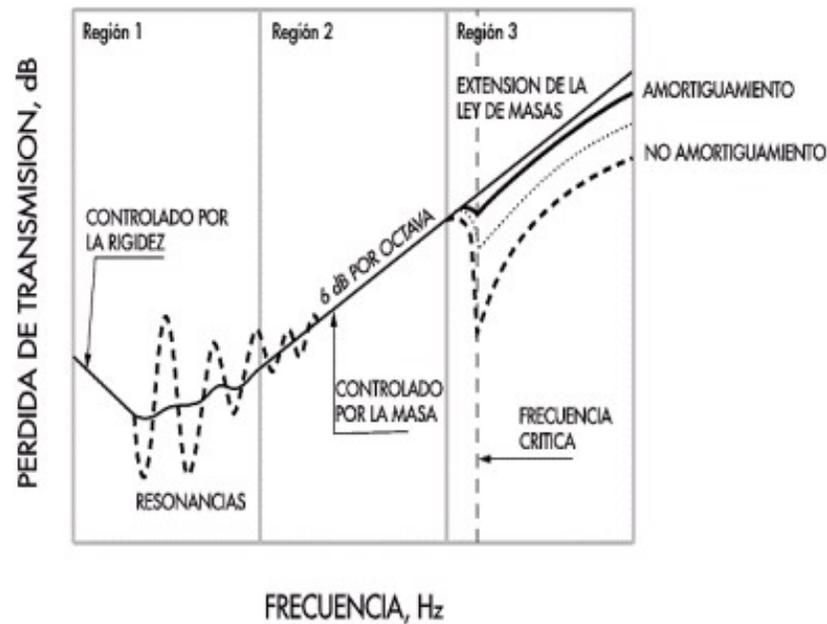
Yeso laminado
M=8-12 kg/m²



R_w = 26-29 dB

2. Aislamiento de elementos verticales

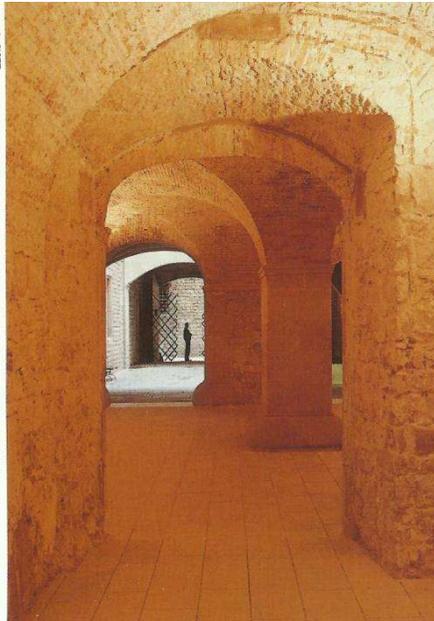
¿y hay algo más...?



2. Aislamiento de elementos verticales

¿Cómo podemos llegar a los valores de aislamiento exigidos por el CTE-DBHR usando CLT (50 dB entre unidades de distinto uso)?

Opción A: Aumentado la masa



No es tecnológicamente y económicamente viable, ni ambientalmente sostenible



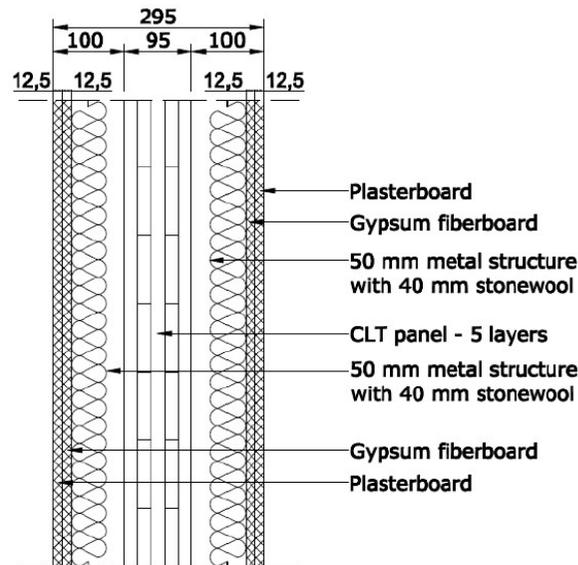
2. Aislamiento de elementos verticales

¿Cómo podemos llegar a los valores de aislamiento exigidos por el CTE-DBHR usando CLT (50 dB entre unidades de distinto uso)?

Opción B: Combinación con otros materiales en soluciones multicapa

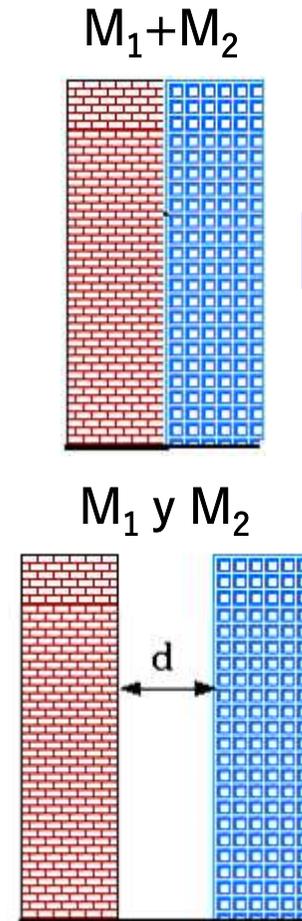
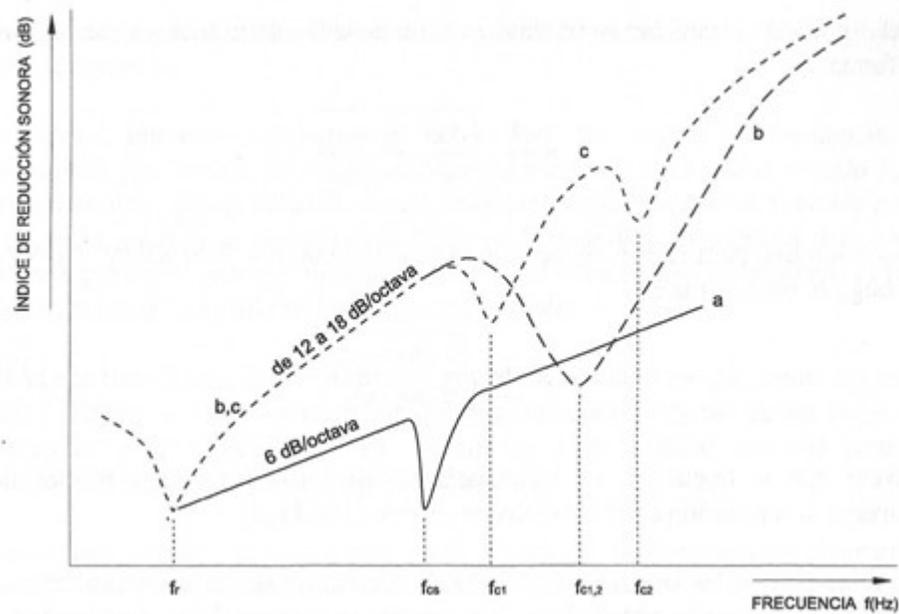


Soluciones tecnológicas:
Materiales rígidos y pesados (M,E) y materiales fibrosos y ligeros (absorción acústica)



2. Aislamiento de elementos verticales

Mejora respecto de una pared simple

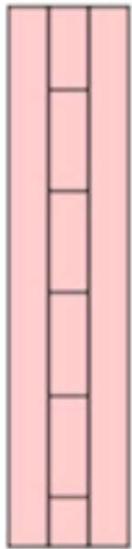


$$R_{simple} = 20 \log(M_1 + M_2) f$$

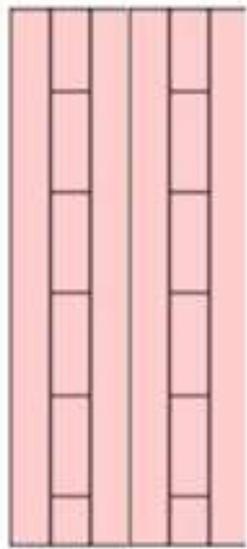
$$R_{doble} = 20 \log M_1 f + 20 \log M_2 f = 20 \log(M_1 M_2) f$$

2. Aislamiento de elementos verticales

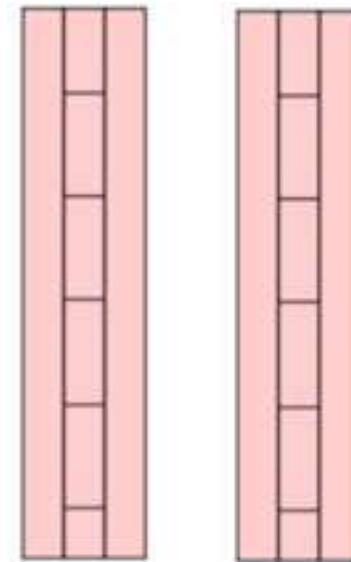
Situación ideal: Desacoplamiento total de las dos hojas



30 dB



36 dB



63 dB

Exigencia CTE: >50 dB

2. Aislamiento de elementos verticales

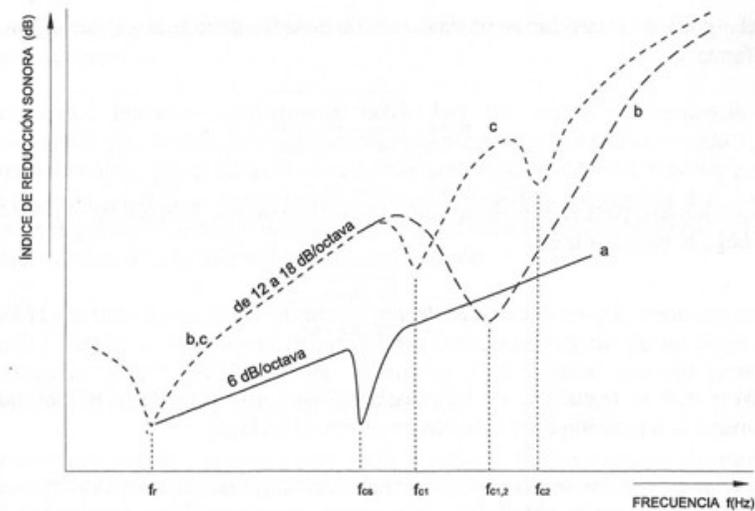
Separaciones del comportamiento ideal: Acoplamientos entre las dos hojas

-**Acoplamiento 1:** Debido a las frecuencias de coincidencia y de resonancia de cada tabique

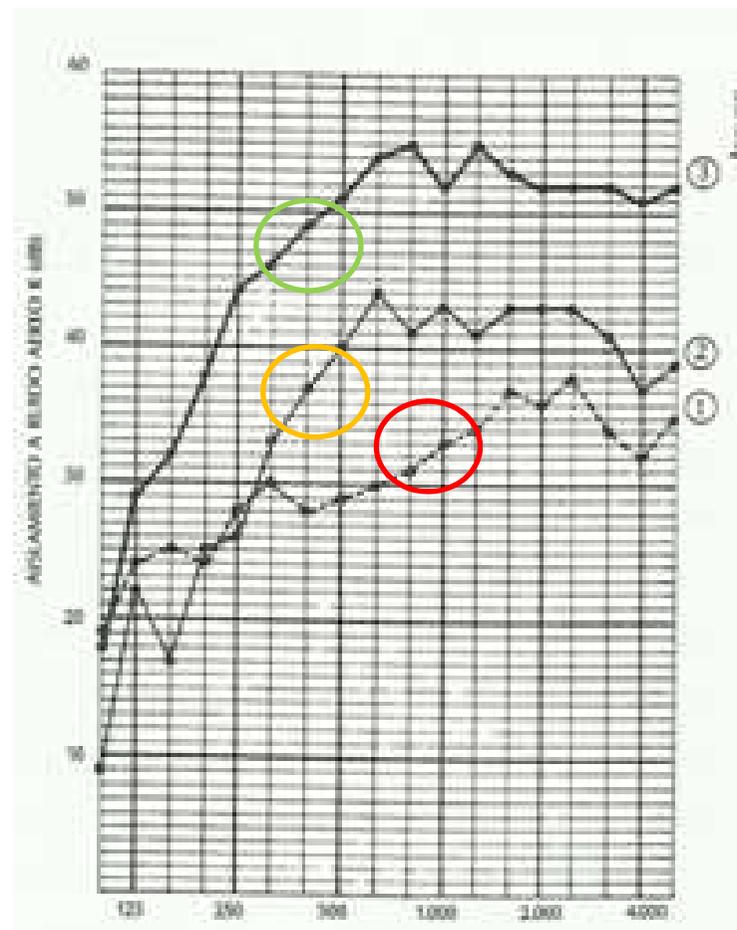
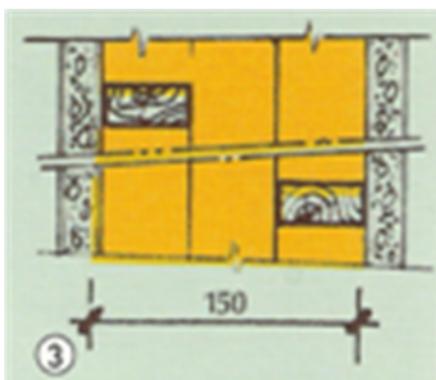
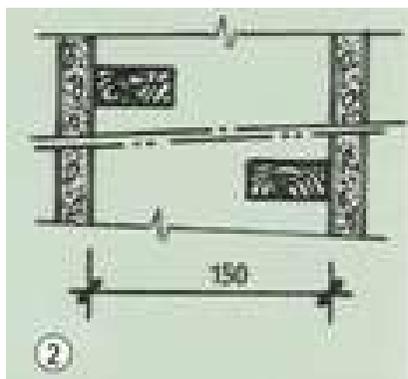
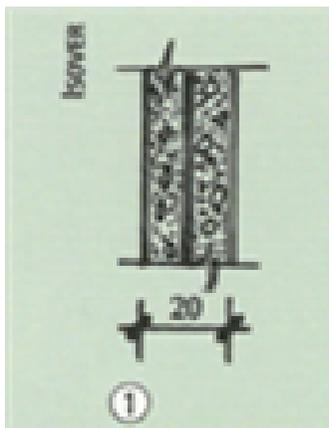
-**Acoplamiento 2:** Generación de ondas estacionarias en la cavidad

-**Acoplamiento 3:** Resonancia de todo el tabique doble

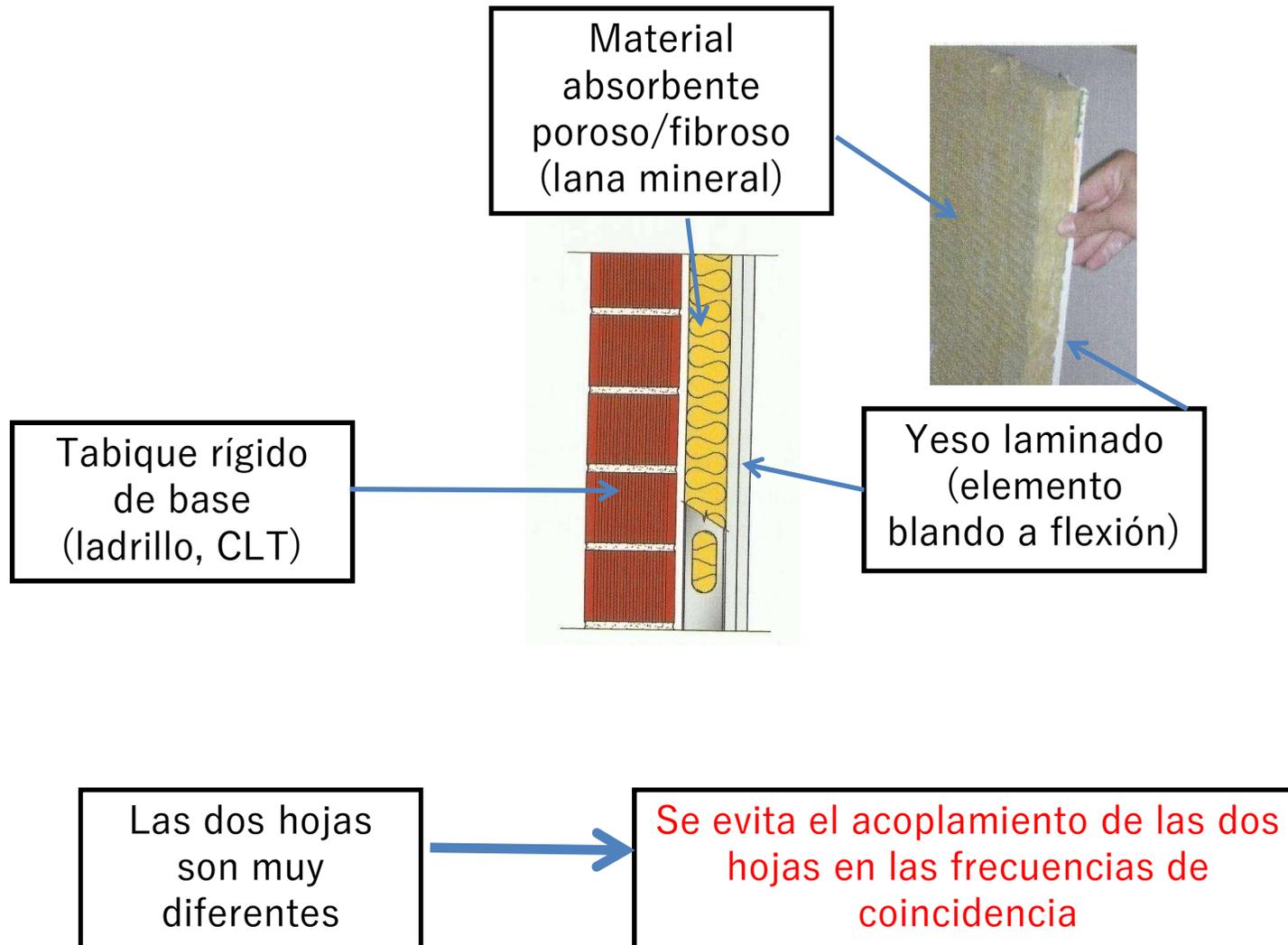
-**Acoplamiento 4:** Acoplamiento debido a las uniones rígidas entre las dos hojas



2. Aislamiento de elementos verticales



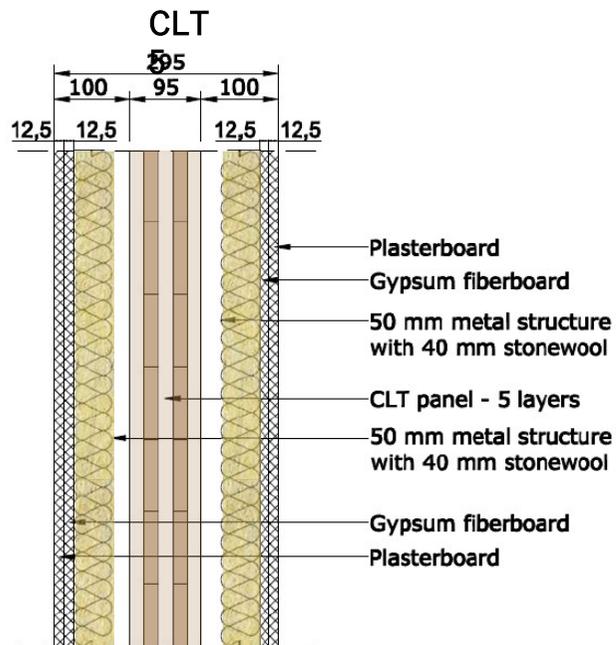
2. Aislamiento de elementos verticales



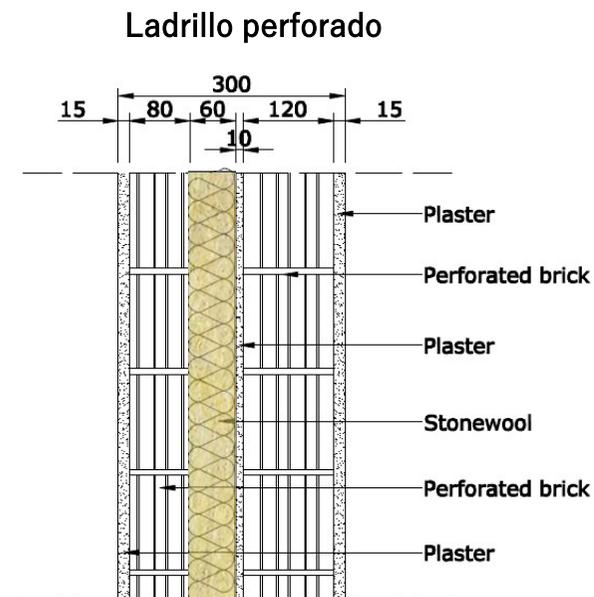
2. Aislamiento de elementos verticales

Particiones estructurales interiores: usando una hoja de CLT

Solución	Espesor	Peso	Rw (dB)
CLT5	295 mm	100 kg/m ²	Rw = 64 dB
Ladrillo perforado	300 mm	205 kg/m ²	Rw = 52 dB



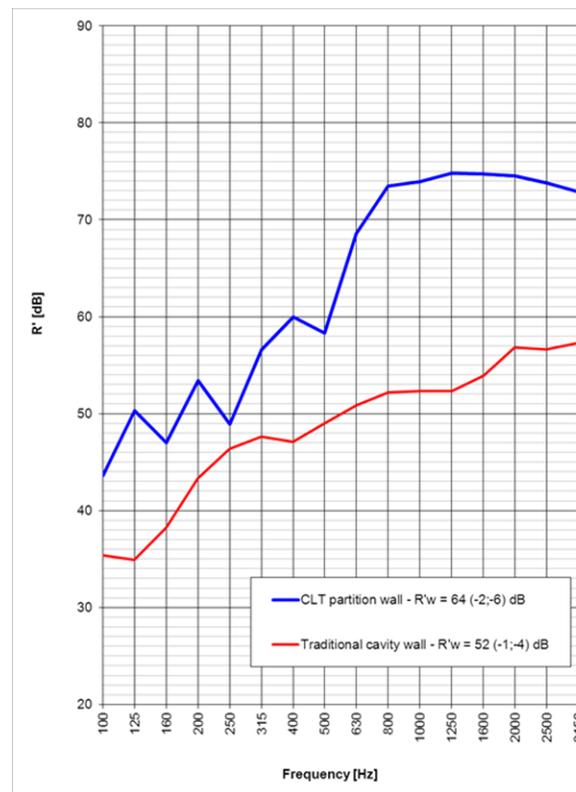
Medidas in situ



Exigencia CTE: >50 dB

2. Aislamiento de elementos verticales

Solución	Espesor	Peso	Rw (dB)
CLT5	295 mm	100 kg/m ²	Rw = 64 dB
Ladrillo perforado	300 mm	205 kg/m ²	Rw = 52 dB

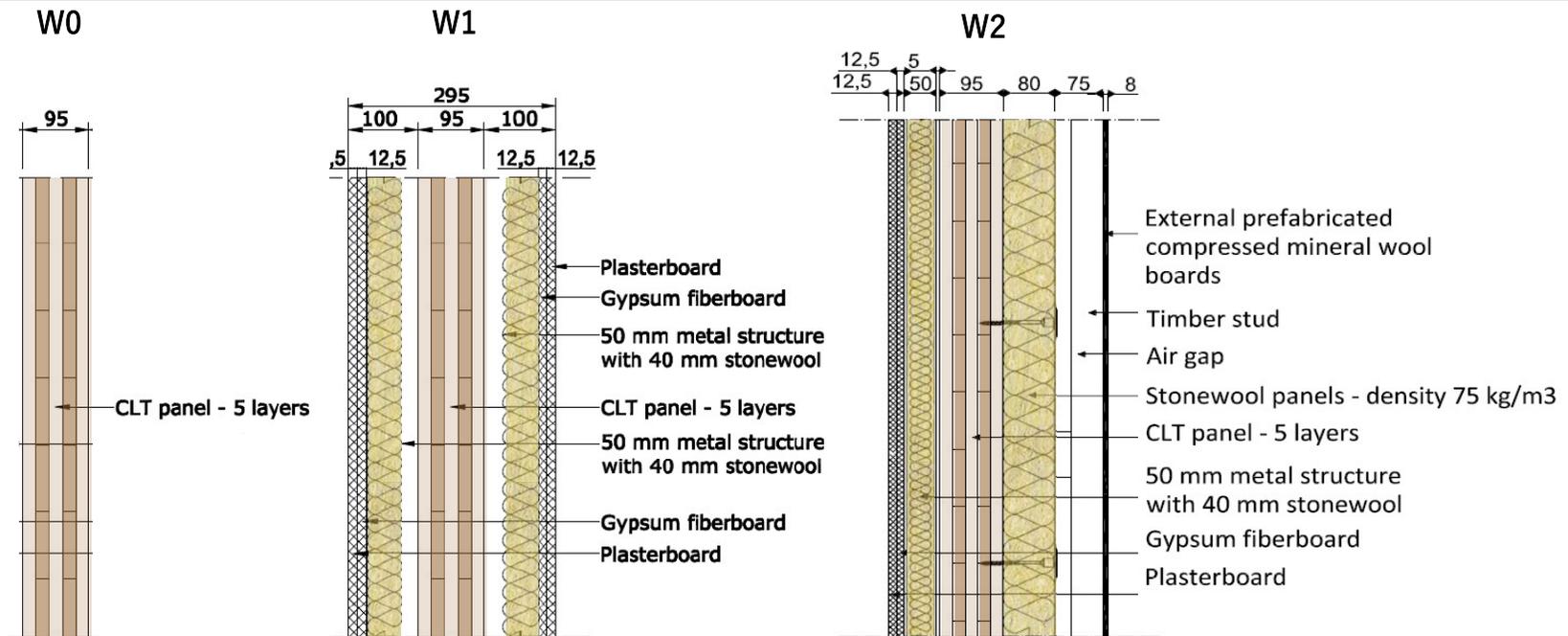


Exigencia CTE: >50 dB

2. Aislamiento de elementos verticales

Medidas en laboratorio

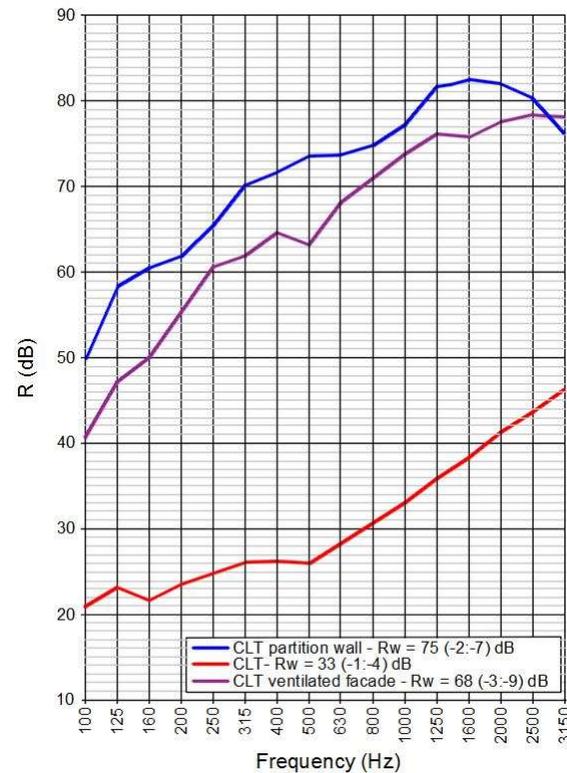
Solución	Tipo	Rw (dB)
W0	CLT5	Rw = 33 dB
W1	CLT5 + trasdosado en ambos lados	Rw = 75 dB
W2	CLT5 + trasdosado interior+fachada ventilada	Rw = 68 dB



Exigencia CTE: >50 dB

2. Aislamiento de elementos verticales

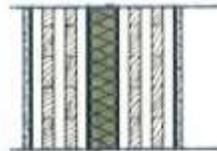
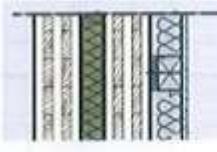
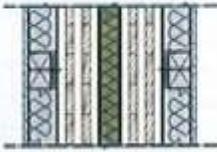
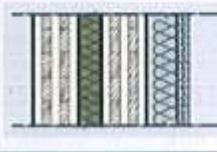
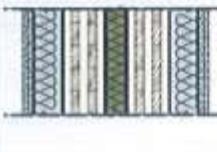
Solución	Tipo	Rw (dB)
W0	CLT5	Rw = 33 dB
W1	CLT5 + trasdosado en ambos lados	Rw = 75 dB
W2	CLT5 + trasdosado interior+fachada ventilada	Rw = 68 dB



Exigencia CTE: >50 dB

2. Aislamiento de elementos verticales

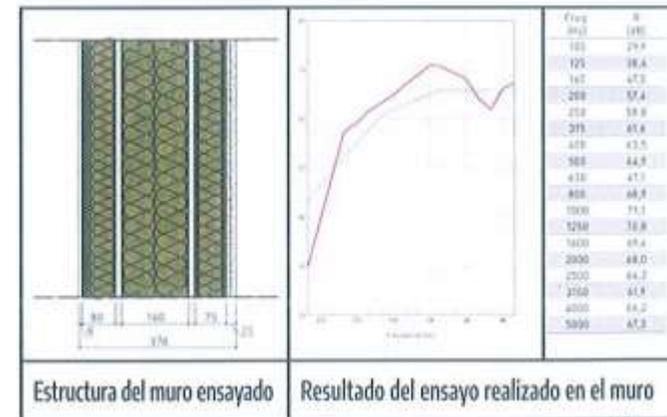
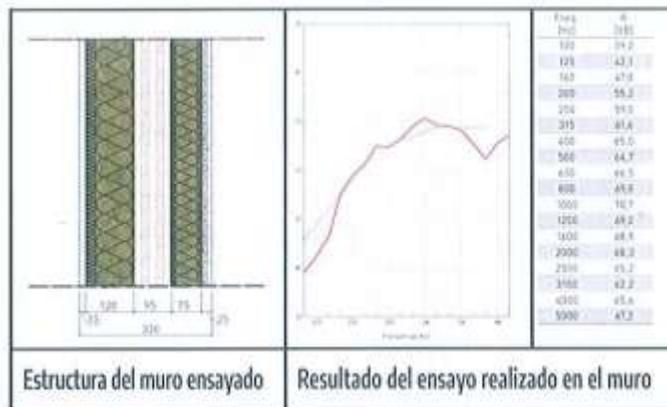
Particiones estructurales interiores: usando dos hojas de CLT
 Dos estructuras portantes entre las que se interpone un material absorbente

Representación	Solución constructiva	Incremento
	Revestimiento con placa de cartón yeso de espesor 12.5 mm.	1 dB
	Muro CLT con un trasdosado de placa de cartón yeso de 12,5 mm y lana mineral en interior de los canales de chapa de acero. Entre el trasdosado y el CLT se coloca un material elástico.	< 7 dB
	Muro CLT con un trasdosado de placa de cartón yeso de 12,5 mm por cada lado y lana mineral en interior de los canales de chapa de acero. Entre el trasdosado y el CLT se coloca un material elástico.	< 10 dB
	Pared aislada, completamente desacoplada del panel CLT: cámara de 85 mm, con lana mineral ≥ 50 mm y cubierta con doble placa de cartón yeso de 12,5 mm de espesor.	< 11 dB
	Pared aislada, completamente desacoplada del panel CLT por ambos lados: cámara de 85 mm, con lana mineral ≥ 50 mm y cubierta con doble placa de cartón yeso de 12,5 mm de espesor.	< 15 dB

2. Aislamiento de elementos verticales

Particiones estructurales exteriores: usando una hoja de CLT

Solución	Espesor	Rw (dB)
CLT5 con terminaciones externa de SATE e interior de yeso laminado	330 mm	Rw = 65 dB
Muro entramado ligero madera	378 mm	Rw = 62 dB

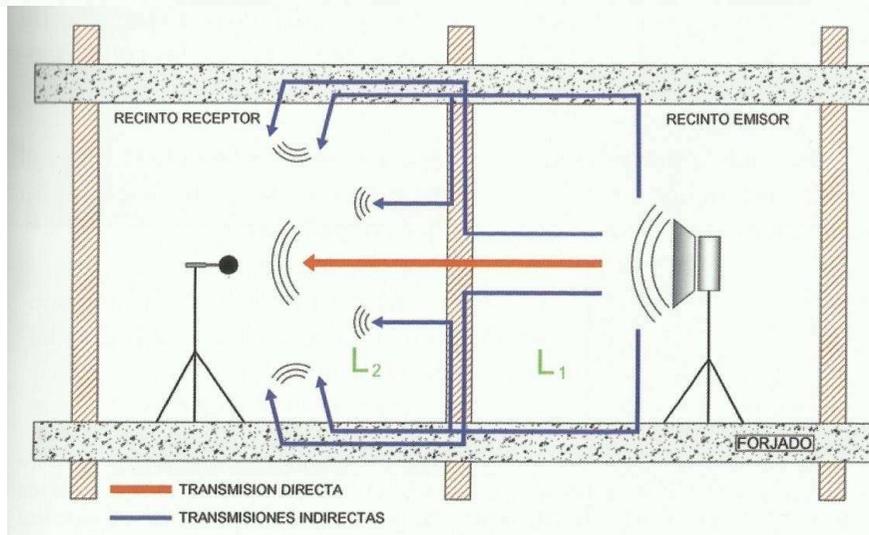
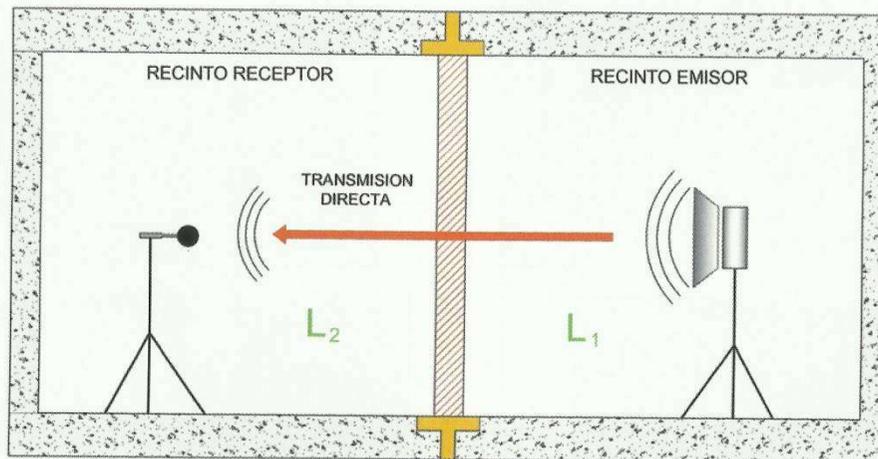


Medidas en laboratorio

Exigencia CTE: >50 dB

2. Aislamiento de elementos verticales

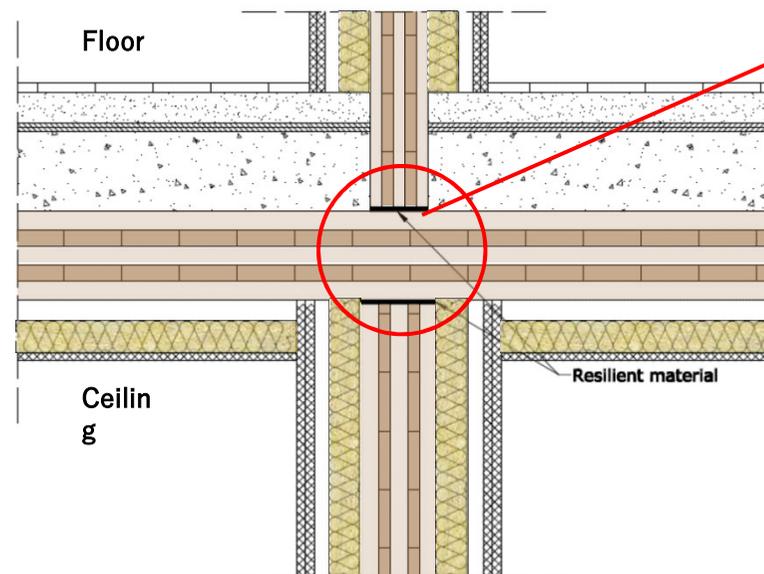
TRANSMISIONES INDIRECTAS



La transmisión depende fuertemente de la instalación del muro y en particular de la rigidez de la unión muro vertical-forjado

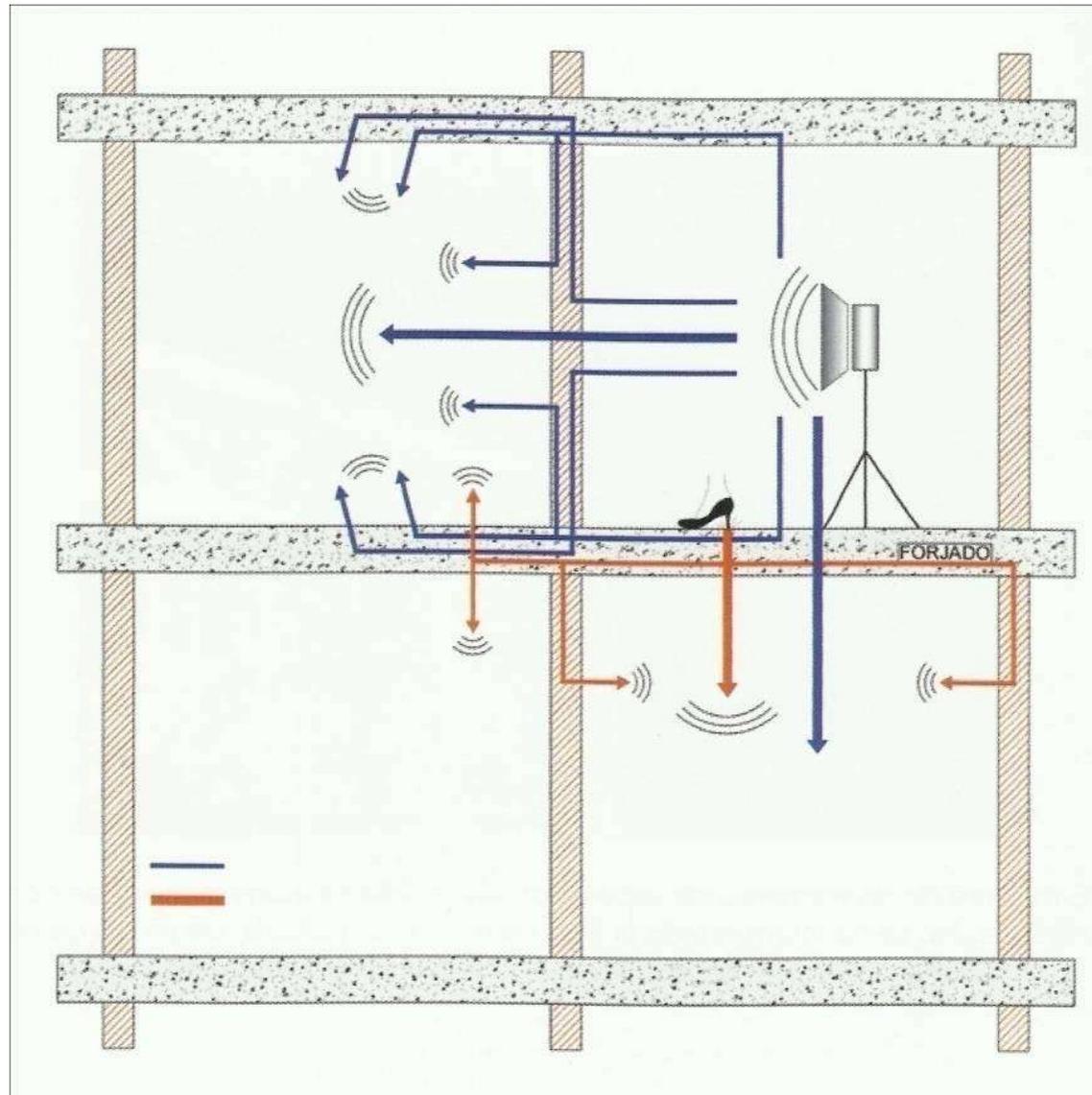
2. Aislamiento de elementos verticales

La unión entre el muro vertical y el forjado debe hacerse a través de una banda elástica que amortigüe la transmisión de las vibraciones entre ambos elementos



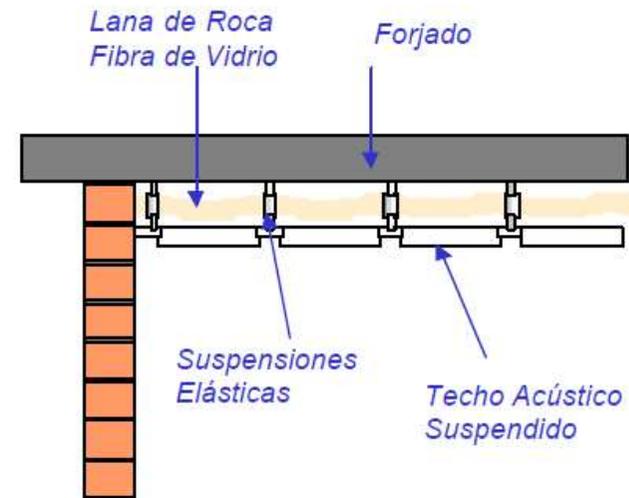
**DESACOPLAMIENTO ACÚSTICO ENTRE LOS
ELEMENTOS RÍGIDOS DE MURO Y FORJADO
MEDIANTE BANDA ELÁSTICA**

3. Aislamiento de elementos horizontales

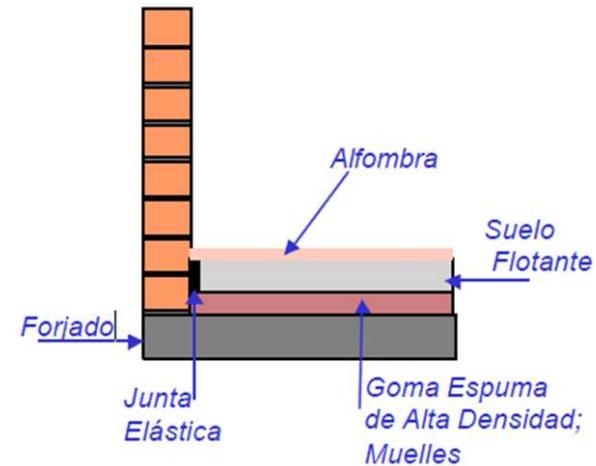


3. Aislamiento de elementos horizontales

Aislamiento a ruido aéreo:
FALSO TECHO EN EL
RECINTO INFERIOR

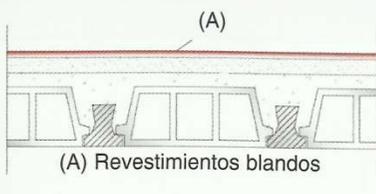
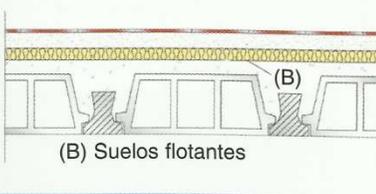
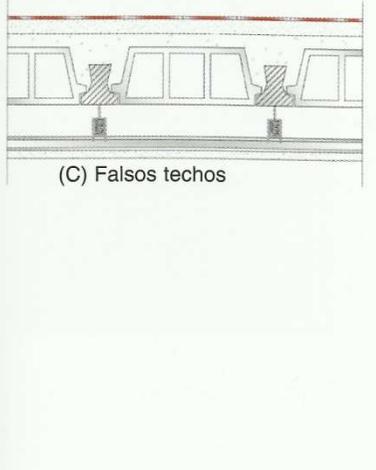


Aislamiento a ruido de impactos:
SUELO FLOTANTE
EN EL RECINTO SUPERIOR

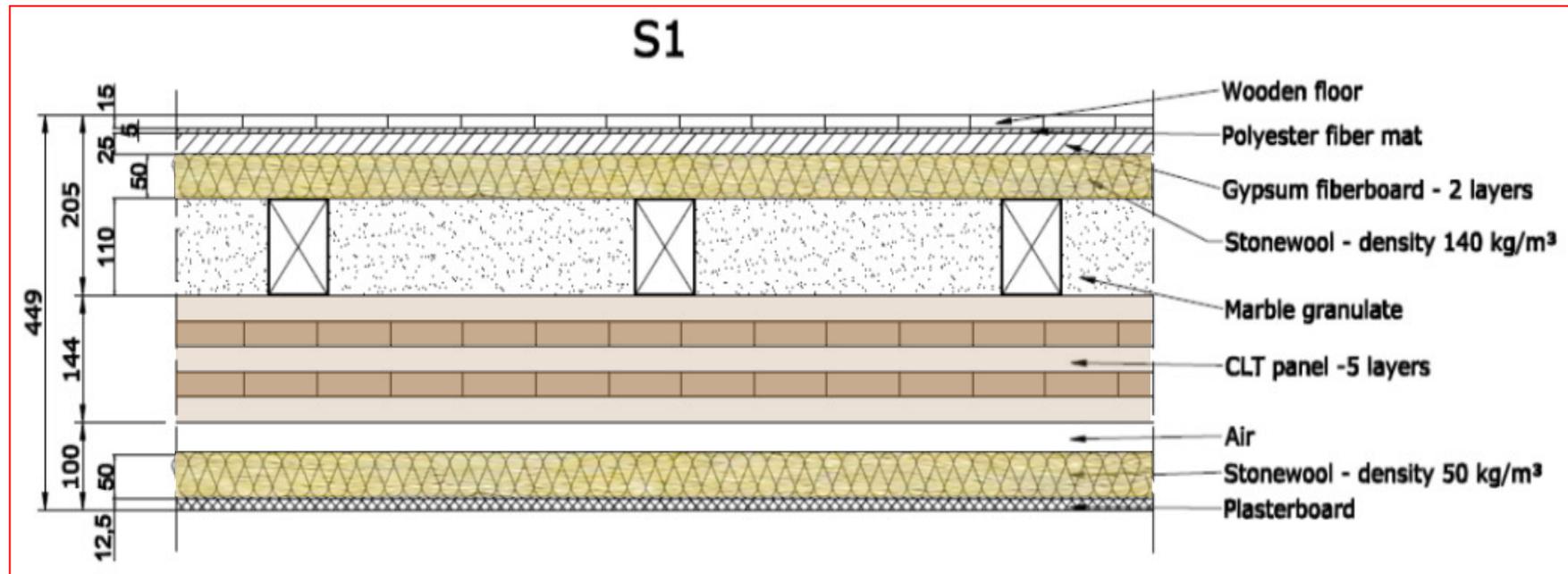


3. Aislamiento de elementos horizontales

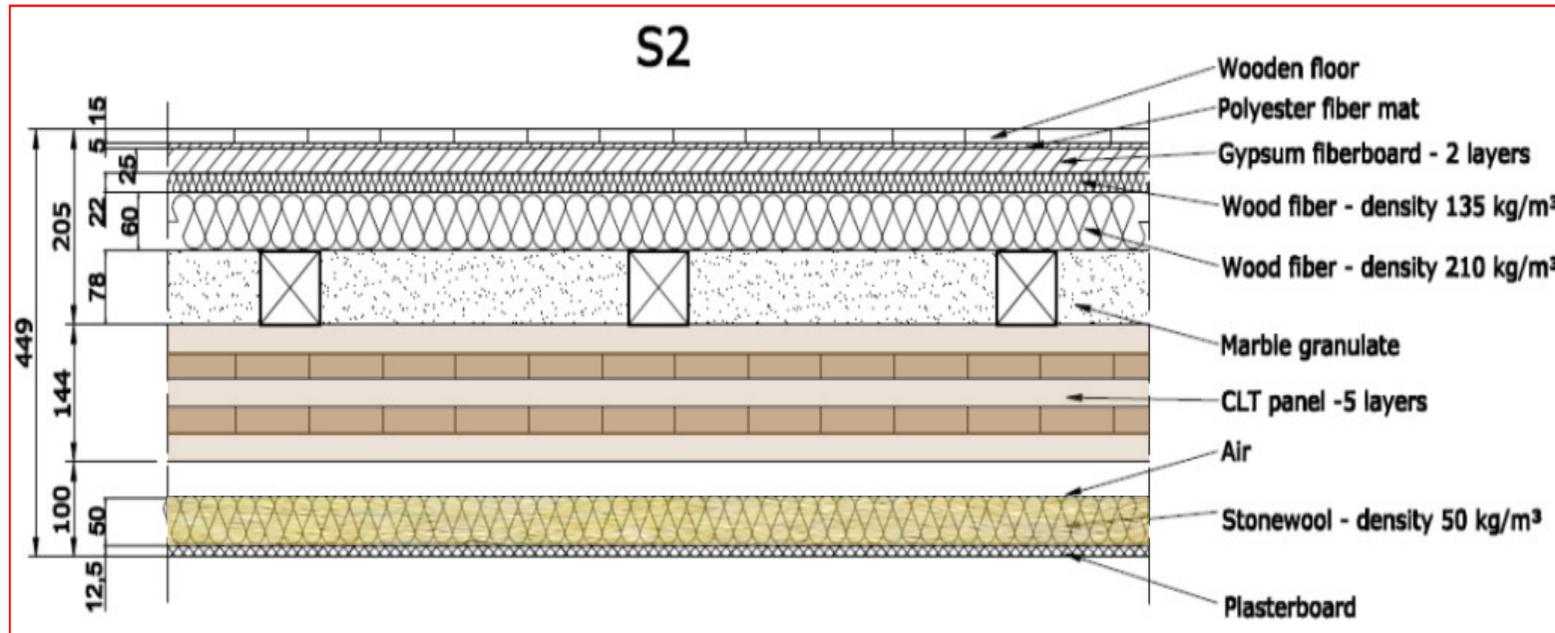
USO DE SUELOS FLOTANTES Y FALSOS TECHOS Comparación de diferentes actuaciones

Actuaciones	Reducción del nivel de presión de ruido de impacto	Incremento en el aislamiento acústico a ruido aéreo
 <p>(A) Revestimientos blandos</p>	<p>Moderada influencia Reducen la cantidad de energía suministrada al forjado y, por tanto, poseen influencia en la inhibición del ruido.</p>	<p>Sin influencia No aportan densidad superficial ni permiten la formación de un sistema doble.</p>
 <p>(B) Suelos flotantes</p>	<p>Gran influencia El amortiguamiento que genera el medio elástico disminuye la energía vibratoria que se transmite al forjado base.</p>	<p>Moderada influencia Formación de doble capa: separación elástica entre la losa y el forjado, semejante a los dobles tabiques.</p>
 <p>(C) Falsos techos</p>	<p>Ligera influencia Para obtener un buen resultado tiene que ser estanco e ir ligado elásticamente al forjado, aunque no evita las transmisiones laterales a través de los tabiques.</p>	<p>Gran influencia Produce un incremento en el aislamiento a ruido aéreo del forjado debido al sistema constructivo doble que se forma, aunque no evita las transmisiones laterales o indirectas a través de los tabiques. Para obtener el mejor resultado, el falso techo debe ser acústico: poseer estanqueidad, estar ligado al forjado mediante elementos elásticos e instalarse material absorbente poroso en la cámara.</p>

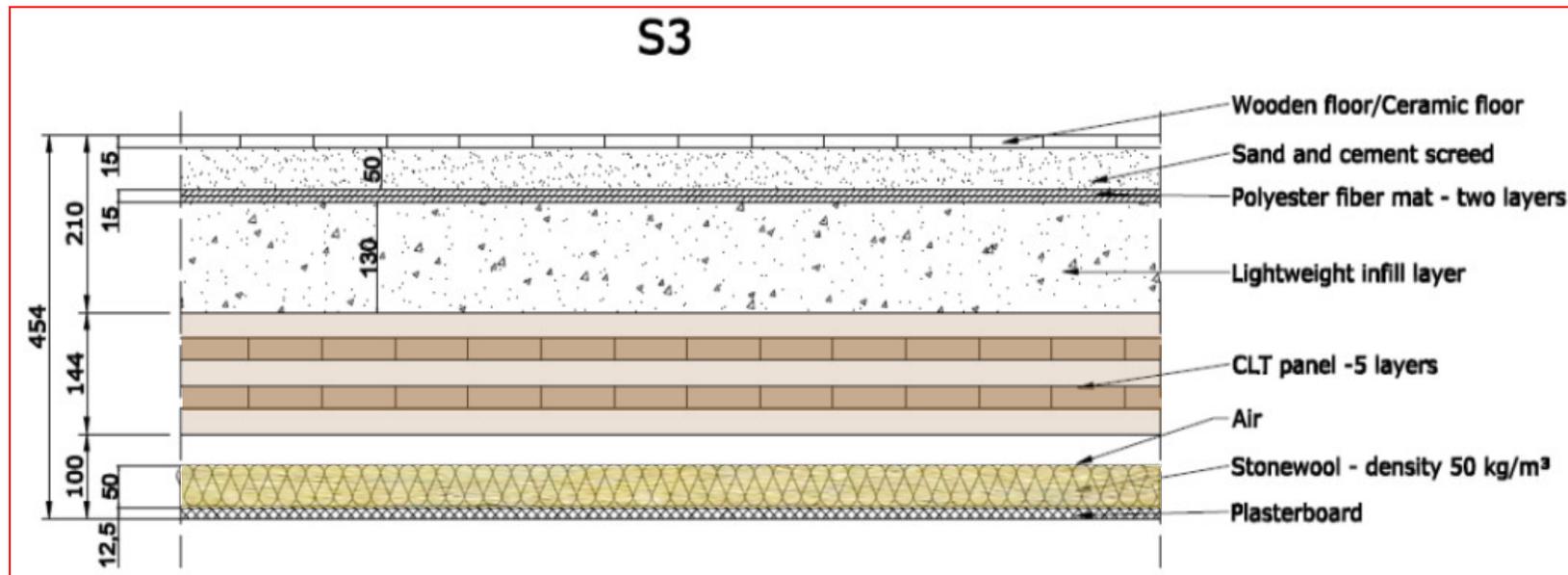
3. Aislamiento de elementos horizontales



3. Aislamiento de elementos horizontales



3. Aislamiento de elementos horizontales



3. Aislamiento de elementos horizontales

Medidas in situ

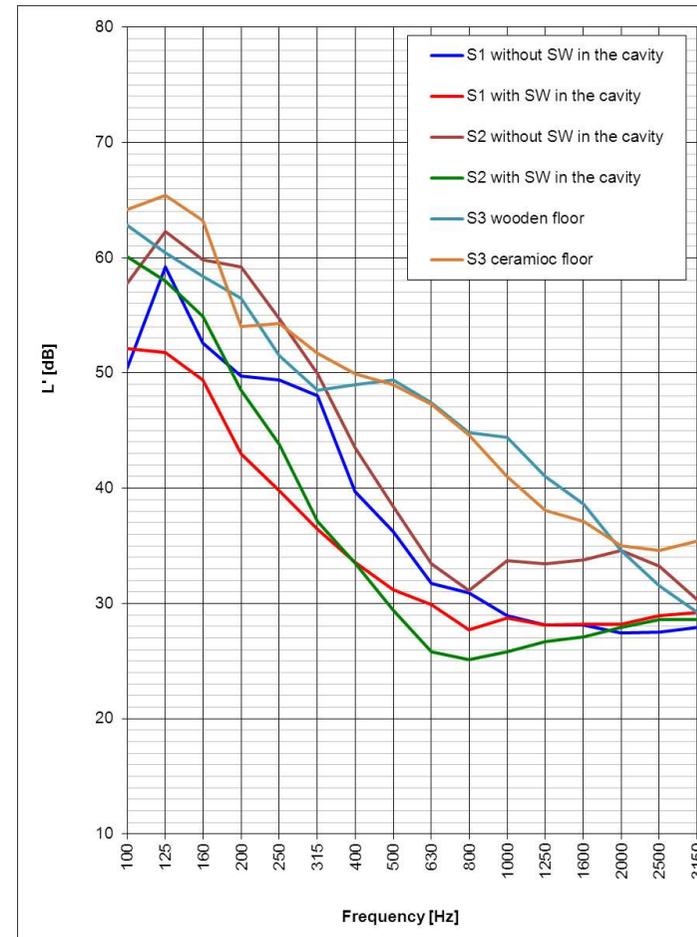
Tipo	Lana de roca en la cavidad	Acabado	L'nw (dB)
S1	NO	Wood	L'nw = 45 dB
S1	YES	Wood	L'nw = 42 dB
S2	NO	Wood	L'nw = 51 dB
S2	YES	Wood	L'nw = 46 dB
S3	YES	Wood	L'nw = 50 dB
S3	YES	Ceramic	L'nw = 53 dB

Exigencia CTE: <65 dB

- Ligera influencia de 3-5 dB menos de ruido de impacto si la cámara del techo se rellena con lana de roca, pero si tiene una gran influencia en el aislamiento a ruido aéreo.
- La lana de roca en el suelo flotante aporta menor ruido de impacto (4-6 dB) que la lana de roca.

3. Aislamiento de elementos horizontales

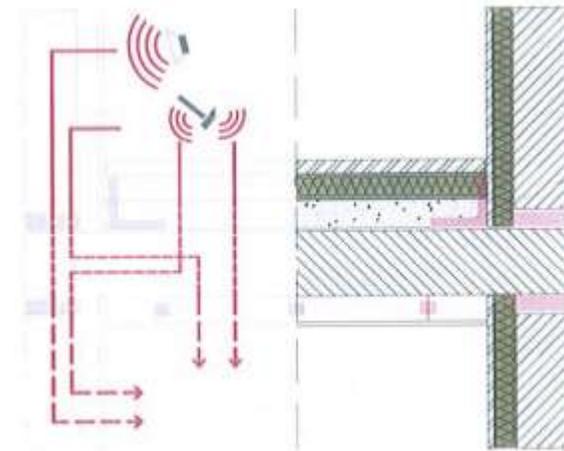
Tipo	L'nw (dB)
S1	L'nw = 45 (1) dB
S1	L'nw = 42 (-1) dB
S2	L'nw = 51 (1) dB
S2	L'nw = 46 (2) dB
S3	L'nw = 50 (2) dB
S3	L'nw = 53 (2) dB



Exigencia CTE: <65 dB

4 Desacoplamiento acústico

- **Aumentar el amortiguamiento** de los elementos estructurales para disminuir el efecto de la bajada de aislamiento a **ruido aéreo** en las frecuencias de resonancia y la frecuencia de coincidencia.
- **Romper la unión rígida entre elementos horizontales y verticales** para disminuir las transmisiones indirectas del **ruido aéreo y el ruido de impacto**.
- **Romper la unión rígida entre la losa de compresión y los elementos verticales y horizontales** para evitar la transmisión del **ruido de impacto**



4 Desacoplamiento acústico

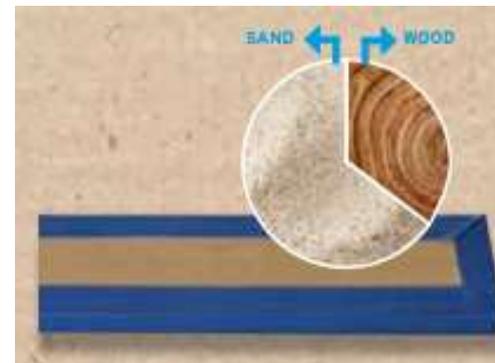


PHONESTRIP

Decoupling strips for timber frame and CLT constructions



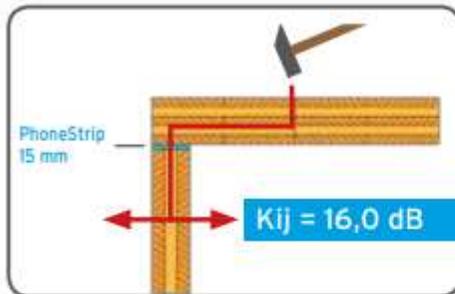
Arena
+
Fibra Madera



4 Desacoplamiento acústico

Encuentro en L:

Vías de transmisión - incluyendo medios de unión

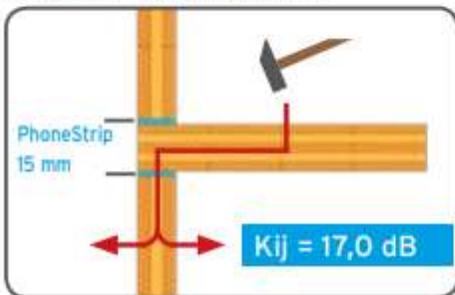


Forjado / Pared inferior

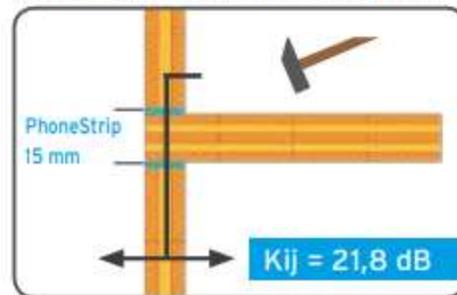
Encuentro en T:

Vías de transmisión - incluyendo medios de unión

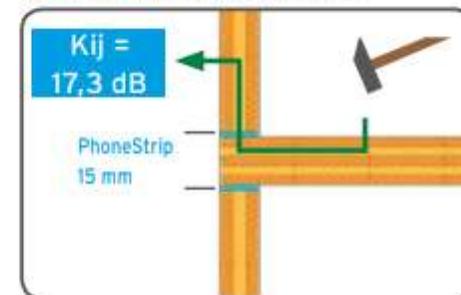
Forjado / Pared inferior



Pared superior / Pared inferior



Forjado / Pared superior



4 Desacoplamiento acústico

EPDM

Caucho de polietileno propileno dieno monómero



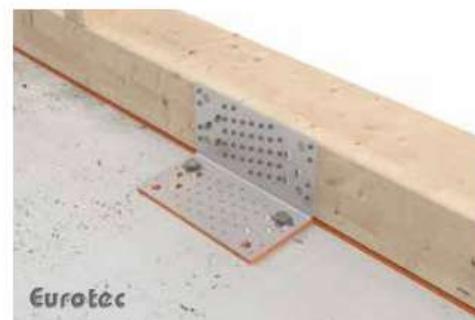
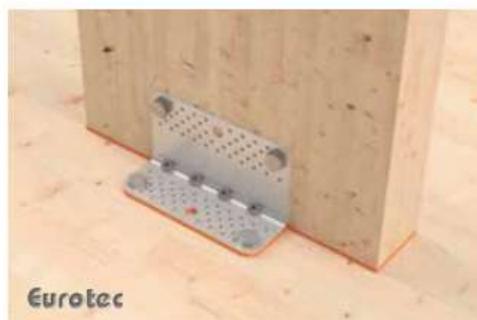
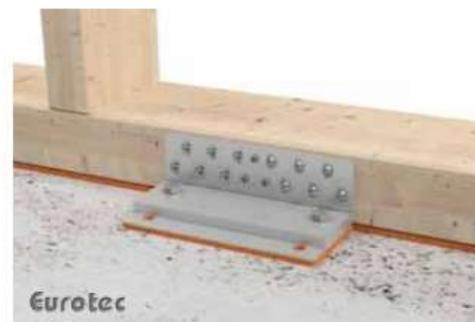
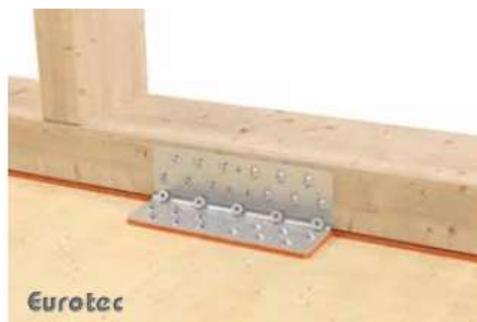
4 Desacoplamiento acústico

Bandas de corcho y caucho natural



4 Desacoplamiento acústico

Bandas de corcho y caucho natural



Conclusiones

- Muros y forjados de CLT de dimensiones económicamente admisibles NO cumplen el CTE-DBHR
- Soluciones mixtas de CLT y materiales ligeros y absorbentes SI cumplen ampliamente el CTE-DBHR
- Suelos flotantes son necesarios para cumplir a ruido de impacto
- El desacoplamiento acústico con bandas de desacoplamiento es totalmente necesario en estructuras de CLT

Gracias

antolino@ugr.es

Referencias

Soluciones Acústicas con madera. AITIM nº 319. 2019

Luigi Pagnoncelli¹ , Fabián Morales
Cross-laminated timber system (CLT): laboratory and
in situ measurements of airborne and impact sound
insulation. Eurogenio 2016

Rodríguez, De la Puente, Díaz-Sanchidrián
Guía acústica de la construcción

Agradecimientos:

- Rockwool
- Biohaus Goierri
- Eurotec
- Fabián Morales

ROCKWOOL