

AISLAMIENTO ACÚSTICO DE FORJADOS DE MADERA EN LA REHABILITACIÓN DE UN EDIFICIO HISTÓRICO

PACS: 43.55.Gx

Romero Fernández, Amelia ⁽¹⁾; Carrascal García, M^a Teresa ⁽²⁾; Muzio, Giovanni ⁽³⁾
^{(1), (2)} Unidad de Calidad en la Construcción.

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc – CSIC
Serrano Galvache 4
28033 Madrid

⁽¹⁾ aromero@ietcc.csic.es, ⁽²⁾ tcarrascal@ietcc.csic.es,

⁽³⁾ CTO Estudios y Proyectos

gmarquitecto@infonegocio.com, gmuzio@ctenobra.es

ABSTRACT

The following paper shows the study developed about the acoustical behaviour of several traditional timber floors being retrofitted, in different stages of this process:

- Stage 1: Original state of the floors with structural repairs;
- Stage 2: Timber – concrete composite floors with connection systems;
- Stage 3: Final state of the floors with different floating floors systems installed.

The aim of this study was to determine the *in situ* acoustical performance by means of airborne sound insulation and impact sound insulation normalized tests in order to study the evolution and the obtained improvement and to assess the possibility and the degree of the fulfilment of the applicable requirements in the current building regulations.

Keywords: acoustic insulation, retrofitting, timber floor, floating floor.

RESUMEN

La siguiente comunicación resume el estudio realizado sobre el comportamiento acústico de varios forjados de estructura de madera en estado de rehabilitación, en diferentes fases de este proceso:

- Fase 1: Forjados en su estado inicial con reparaciones estructurales;
- Fase 2: Forjados mixto de estructura de madera más capa de compresión de hormigón con conectores;
- Fase 3: Forjados en su estado final con suelo flotante.

El objetivo de este estudio era determinar las prestaciones acústicas *in situ*, mediante ensayos normalizados de aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos con la finalidad de estudiar la evolución y la mejora conseguida y de valorar las posibilidades y el grado de cumplimiento de las exigencias aplicables por la normativa vigente.

Palabras clave: aislamiento acústico, rehabilitación, forjado de madera, suelo flotante.

INTRODUCCIÓN

En los tiempos actuales en que se ha desplomado el sector inmobiliario y la actividad en la construcción en nuestro país, las políticas de vivienda están centrándose y dándole prioridad a la rehabilitación. En este sentido la normativa vigente en materia de edificación (Código Técnico de la Edificación, CTE [1]) está siendo actualizada y en breve se publicará, entre otros, el Documento Básico de Protección frente al Ruido (DB HR [2]) con los criterios de rehabilitación a aplicar.

El parque de edificios con estructura de madera en España es enorme, no sólo en el ámbito de la arquitectura monumental sino también, y sobre todo, en viviendas en altura anteriores al siglo XX. La intervención en estructuras de madera de este tipo es cada vez más frecuente y el prescriptor no encuentra prácticamente información al respecto [3]. El principal problema al que nos enfrentaremos es la caracterización acústica inicial de los elementos constructivos para conocer sus prestaciones de partida y poder valorar las actuaciones necesarias y las prestaciones finales que pueden alcanzarse.

OBJETIVO

El objeto principal de este trabajo ha sido estudiar, en un caso de rehabilitación real, las prestaciones acústicas *in situ* de los forjados de estructura de madera. Se trata de la rehabilitación del Ayuntamiento de Briñas, en La Rioja.

Las prestaciones que se han estudiado son las de aislamiento acústico a ruido aéreo [4] y a ruido de impactos [5] en diferentes fases del proceso de rehabilitación hasta obtener las prestaciones acústicas finales tras la instalación de diferentes soluciones de suelo flotante.

DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Se trata de una obra que tiene como objeto la intervención en el edificio de la antigua Casa Consistorial de Briñas, en la cual se han desarrollado las obras de reforma y ampliación del edificio municipal para albergar usos culturales, sociales y administrativos. Es un edificio enteramente de propiedad municipal, de planta baja, primera, segunda y bajo cubierta.

El edificio existente tiene más de cien años de antigüedad y, aunque se hayan realizado algunas reformas éstas han sido parciales, sin realizarse actuaciones de envergadura en los últimos años. El edificio tenía problemas de cierta gravedad y su estado inicial no respondía a las necesidades ni en cuanto a superficie ni en cuanto a funcionalidad, habitabilidad y confort mínimos exigibles.

Su estructura es de tipo tradicional mixta, formada por muros de carga y en algunas zonas entramado de madera con paños colaborantes en la función de carga, y forjados de madera.

Elementos Constructivos

El tipo de construcción del edificio es con muros de carga de gran espesor en los que la sección y prestaciones de resistencia de los materiales empleados disminuyen conforme se sube de planta.

La fachada, en planta baja tiene piedra vista de sillar (fachada oeste) o sillar tosco (fachada norte) o sillarejo (fachada sur); las plantas superiores son de sillarejo enfoscado, existiendo la posibilidad de que existan algunos paños de tapial y ladrillo, por lo menos hacia el interior del edificio. Los muros interiores son de gran sección en la planta baja, de sección aparentemente robusta en planta primera y de espesor más reducido en la planta segunda.

Los forjados están formados por viguetas de madera apoyadas en vigas que cortan la luz, y éstas apoyadas en los muros de carga o en pilares; aunque en alguna zona podría limitarse a la sola estructura secundaria de viguetas apoyadas en los muros. En muchos puntos tanto de la planta primera como de la segunda se encontraron recrecidos de espesor elevado.

Estado De Conservación

Dada la edad del edificio y que no se habían realizado reformas en los últimos años, la primera actuación al comenzar las obras fue verificar el estado de conservación general, abriendo calas y realizando unas primeras demoliciones para verificar la composición constructiva de los forjados y muros y así poder estudiar la estructura y conocer su estado de conservación.

El estado de conservación del edificio se definió como deficiente en general en cuanto a condiciones de habitabilidad, y con graves limitaciones en cuanto a sus instalaciones, al aislamiento, y al estado de los acabados, pero resultó además acompañado por patologías constructivas graves. Se decidió concentrar la intervención en la consolidación estructural y en la reparación de las fachadas.

Los forjados presentaban problemas estructurales serios. Se realizó la demolición de todos los recrecidos originales y se optó por la sustitución de toda la zona de forjado de la sucursal bancaria en primera planta (P1_2), con dos vigas, viguetas y tablero de madera. Hubo otro forjado (P2_0) en el que se procedió de manera similar, demoliendo todo el relleno entre viguetas y sustituyéndolo por tablero de madera, aunque conservando las viguetas originales. En el resto de casos se conservó la estructura original de los forjados: viguetas (alguna sustituida) y entrevigado.

En general se previó el refuerzo de los forjados mediante capa de refuerzo de hormigón con conectores. Además, se ha aprovechado esta intervención de rehabilitación de los forjados para los propósitos de este estudio, realizando el análisis de la mejora de las prestaciones acústicas de los mismos mediante la instalación de diferentes soluciones de suelo flotante.

DESCRIPCIÓN DE LOS FORJADOS ENSAYADOS

La nomenclatura utilizada para los recintos se basa en las siglas: PB_ (Planta baja), P1_ (Primera planta) y P2_ (Segunda planta), acompañados de un número de recinto. Los recintos en los que se realizaron los ensayos y sus correspondientes forjados son:

- **P1_1** sobre PB_1 Forjado 1
- **P1_2 + P1_0** sobre PB_2 Forjado 2
- **P2_0** sobre P1_2 + P1_0 Forjado 3
- **P2_1** sobre P1_1 Forjado 4
- **P2_2** sobre P1_2 + P1_0 Forjado 5

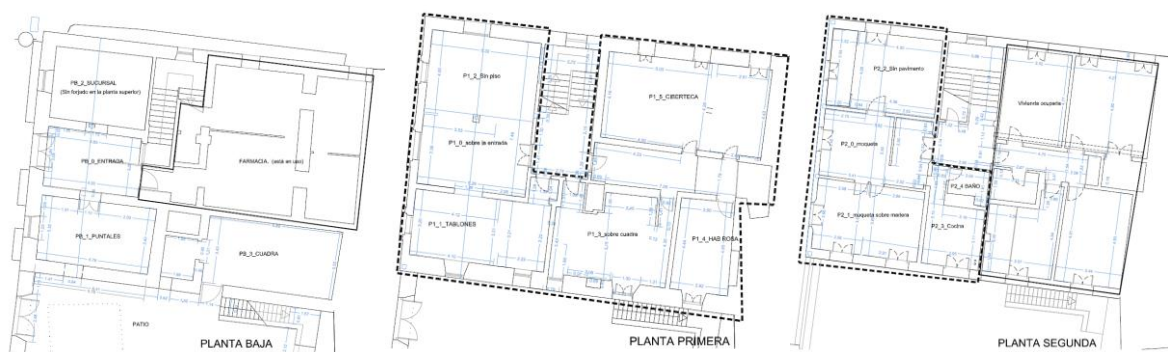
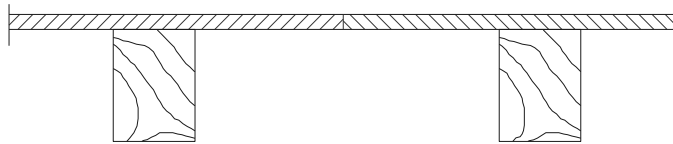


Figura 1. Planos del edificio bajo estudio

Forjados En Fase 1

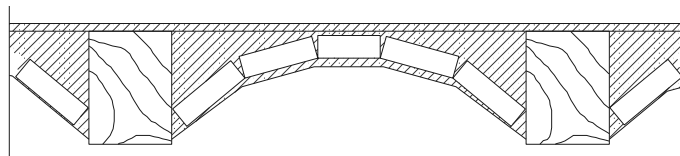
Los forjados de madera estudiados se pueden agrupar en dos tipologías:

- **Viguetas de madera y tablero de madera**



Se da en los forjados P1_2 con un tablero de 2cm de espesor (totalmente nuevo) y en P2_0 con un tablero de 1cm de espesor (demolición del entrevigado y conservación de las viguetas originales).

- **Viguetas de madera con rasilla cerámica** colocada en bovedilla, con un guarnecido de yeso visto por la parte inferior. Como suele ser habitual en este tipo de forjados existe un relleno de cascotes, yeso y arena [6]



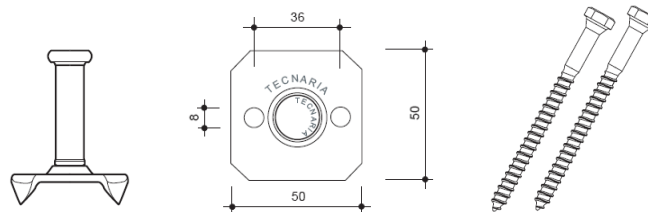
Se da en los forjados de P1_1, P2_1 y P2_2;

Forjados En Fase 2

Se tienen los forjados desnudos de la Fase 1 a los que se les ha instalado una solera de hormigón como refuerzo del forjado, disponiendo adecuadamente elementos de conexión con la vigueta (conectores) para que el conjunto trabaje solidariamente como una pieza mixta de hormigón y madera [7] aumentando la resistencia y rigidez del forjado existente. El espesor de esta capa de hormigón ha sido de 5cm.

Existen diferentes sistemas de conexión; en este caso se han utilizado dos tipos de conectores:

- Conectores BASE de *Tecnaria*®, en planta 1;



- Conectores VB CS100900 de *Rothoblaas*, en planta 2;



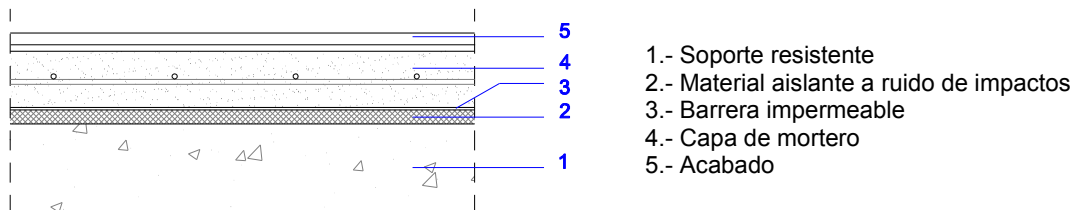
Forjados En Fase 3

En Fase 3 los forjados están completamente rehabilitados con su composición final. A cada forjado definido en Fase 2 se le añade una solución de suelo flotante que dotará al conjunto de una mejora de aislamiento acústico.

DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS FLOTANTES

En Fase 3, se instalan diferentes soluciones de suelo flotante sobre la capa de compresión. Se han ensayado tres tipologías de suelo flotante:

- Suelo flotante con solera de mortero de cemento (SF 3, SF4 y SF 5)



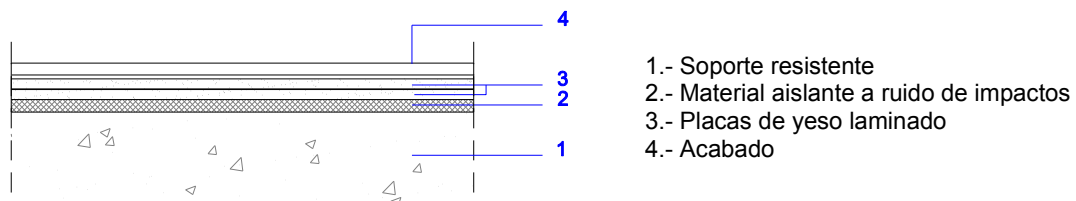
Los materiales aislantes que se han utilizado son:

- SF3 - PE: Lámina antiimpacto de polietileno reticulado *Impactodan 10* de *Danosa*, PE-R 10mm de espesor. Rigidez dinámica $<65\text{MN/m}^3$;
- SF4 - LM: Lana mineral *Panel solado* de *Isover*, de 20mm de espesor. Rigidez dinámica 17MN/m^3 ;
- SF5 - EEPS: Planchas de poliestireno expandido elastificado, EEPS *Neopor®* de *BASF*, 50mm de espesor. Rigidez dinámica $10\text{-}20\text{MN/m}^3$;

Los espesores medios del recrecido de mortero han sido:

- SF 3 - PE: 5cm;
- SF 4 - LM: 5cm;
- SF 5 - EEPS: 6,5cm;

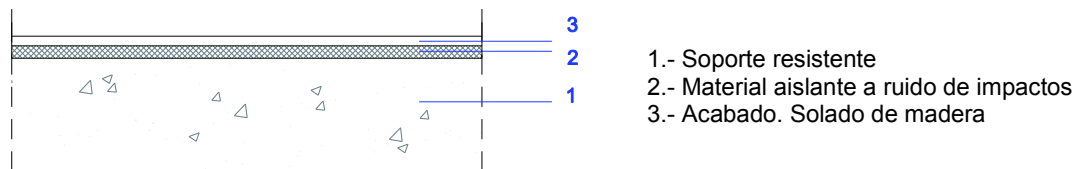
- Suelo flotante con solera seca (SF 6)



- Doble placa de yeso laminado reforzadas con fibras *Rigidur* de *Placo* de 10mm de espesor cada una;
- Lana mineral *Rocksol-E 501* de *Rockwool*, de 30mm de espesor. Rigidez dinámica $8,25\text{MN/m}^3$.

Ha sido necesario utilizar un pequeño recrecido previo de nivelación de las flechas más acentuadas; se ha realizado con mortero aligerado con arlita.

- **Tarima flotante (SF 2)**



- Lámina antiimpacto de polietileno expandido *Texsilen* de *Texsa*, PE-E 3mm de espesor. Rigidez dinámica $<70\text{MN/m}^3$;
- Suelo machiembrado de madera laminada *Finfloor Fiesta* de *Finsa*, de 7mm de espesor.

Ha sido necesario colocar una capa de nivelación de hormigón de 6cm de espesor medio.

En todos los casos el acabado del forjado (solado) ha sido un suelo machiembrado de madera laminada *Finfloor Fiesta* de *Finsa*, de 7mm de espesor. Bajo la madera laminada se instala la lámina de PE-E *Texsilen* de *Texsa* de 3mm de espesor.

La asignación de las diferentes soluciones de suelo flotante a cada forjado/recinto ha sido:

Suelo flotante	Recinto
SF1 - Capa de compresión (Caracterización de forjados en Fase 2 para comprobar la mejora debida a la capa de compresión)	P1_1 P2_0 P1_2 P2_1 P2_2
SF2 ^(*) - Tarima flotante con PE	P2_1
SF3 - Polietileno (PE)	P1_2
SF4 - Lana mineral (LM)	P1_1
SF5 - Poliestireno expandido elastificado (EEPS)	P2_0
SF6 ^(*) - Solera seca con LM	P2_2

^(*) Los suelos SF2 y SF 6 se instalan directamente sobre la capa de compresión. Sin embargo, debido a los desniveles del recinto fue necesaria una capa de recredido de mortero de nivelación previa.

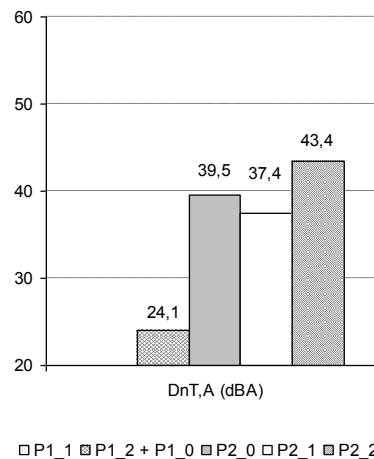
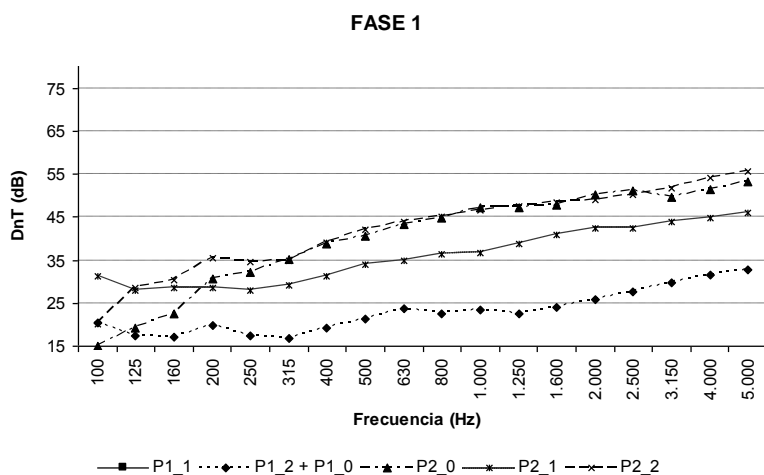
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS

Fase 1

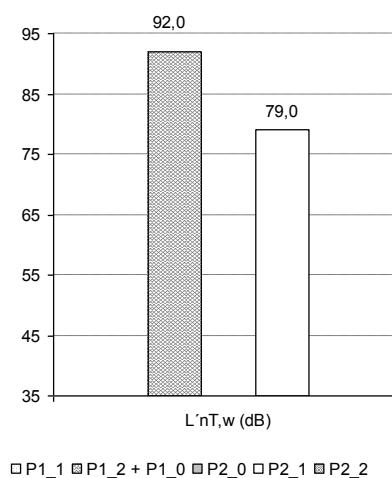
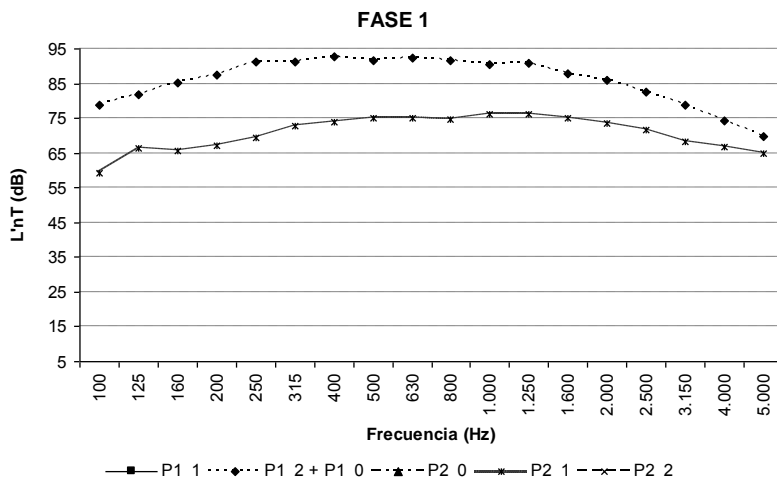
FASE 1 ^(*)	P1_1 sobre PB_1	P1_2 + P1_0 sobre PB_2	P2_0 sobre P1_2 + P1_0	P2_1 sobre P1_1	P2_2 sobre P1_2 + P1_0
D_{nT,A}	X	24,1 dBA	39,5 dBA	37,4 dBA	43,4 dBA
L'_{nT,w}	X	92 dB	X	79 dB	X

(*) En Fase 1 hubo ensayos que no se pudieron realizar tanto por motivos de seguridad en el acceso a la obra (P1_1) como por las características propias del forjado en esta fase (P2_0 y P2_2).

Aislamiento a ruido aéreo



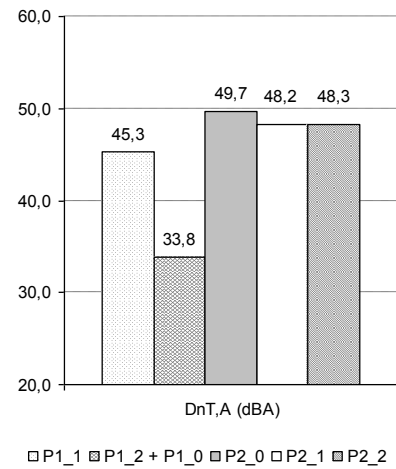
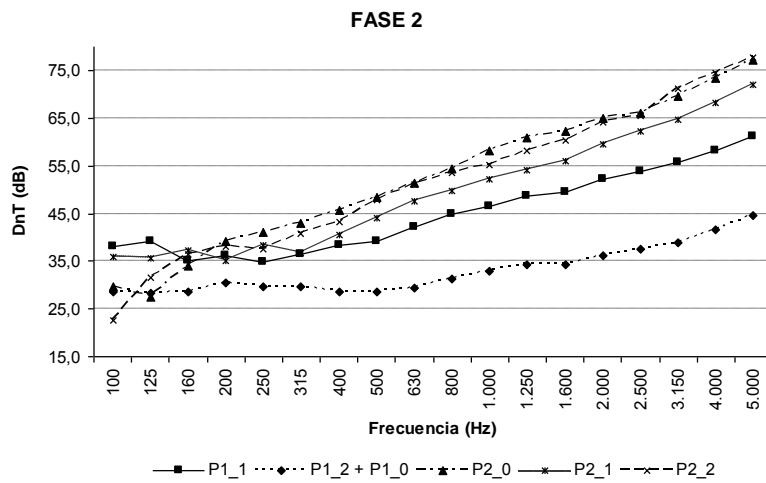
Aislamiento a ruido de impactos



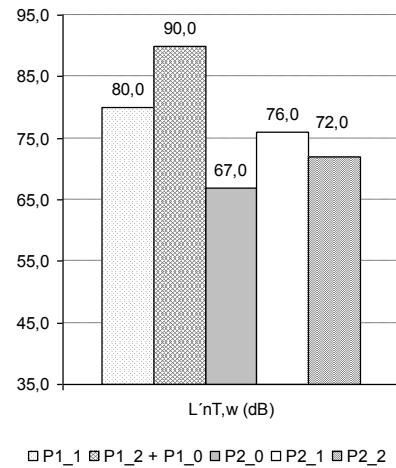
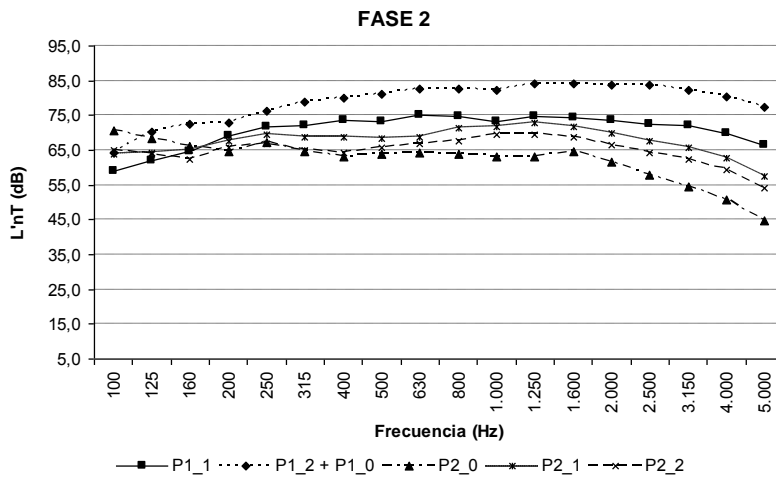
Fase 2

FASE 2	P1_1 sobre PB_1	P1_2 + P1_0 sobre PB_2	P2_0 sobre P1_2 + P1_0	P2_1 sobre P1_1	P2_2 sobre P1_2 + P1_0
D _{nT,A}	45,3 dBA	33,8 dBA	49,7 dBA	48,2 dBA	48,3 dBA
L' _{nT,w}	80 dB	90 dB	67 dB	76 dB	72 dB

Aislamiento a ruido aéreo



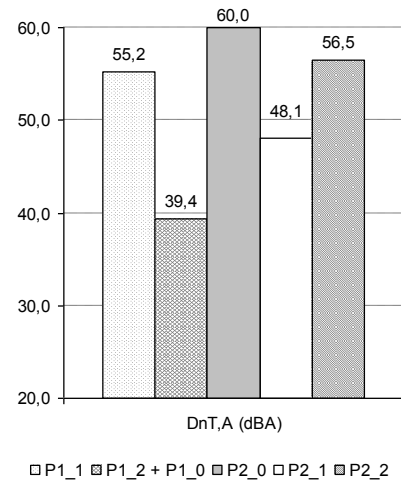
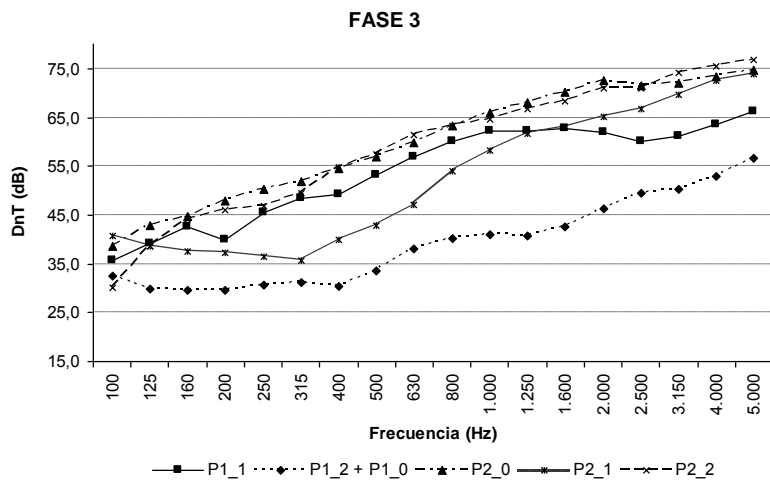
Aislamiento a ruido de impactos



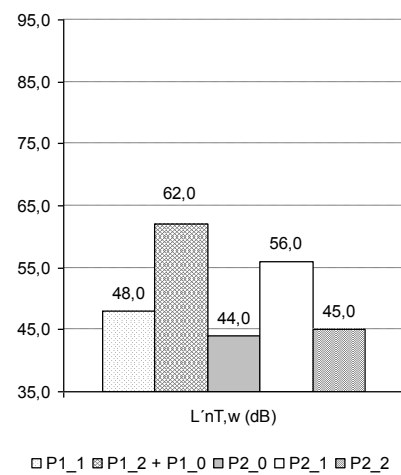
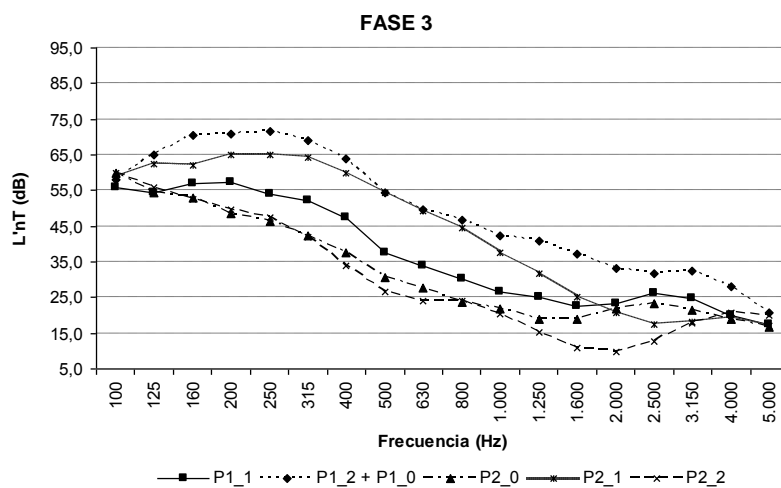
Fase 3

FASE 3	P1_1 sobre PB_1	P1_2 + P1_0 sobre PB_2	P2_0 sobre P1_2 + P1_0	P2_1 sobre P1_1	P2_2 sobre P1_2 + P1_0
	SF - LM	SF - PE	SF - Tarima flotante	SF - EEPS	SF - Solera seca
D_{nT,A}	55,1 dBA	39,4 dBA	60 dBA	48,1 dBA	56,5 dBA
L'_{nT,w}	48 dB	62 dB	≤ 44 dB	56 dB	≤ 45 dB

Aislamiento a ruido aéreo



Aislamiento a ruido de impactos



ANÁLISIS DE RESULTADOS

En **Fase 1** tenemos los forjados en su estado inicial o básico e incluso original (sin recrecidos) en algunos casos. En general, los niveles de aislamiento acústico obtenidos son bastante bajos, tal y como cabía esperar, y además variables, con cierta aleatoriedad en los resultados debido a las características intrínsecas del forjado antiguo, con irregularidades y posibles puentes acústicos.

No es posible distinguir un comportamiento acústico específico para las dos tipologías de forjados descritas.

En cuanto a los valores de aislamiento a ruido aéreo de los forjados de tablero de madera parece destacar el nivel de P2_0 sobre el de P1_2; sin embargo, en el caso de P2_0 el acabado por el lado del recinto receptor era un falso techo de escayola que está aportando un aislamiento a ruido aéreo adicional.

Por otra parte, se aprecia como las prestaciones del forjado P1_2 están por debajo de las del resto de los forjados, tanto en las curvas de aislamiento a ruido aéreo como a ruido de impactos. Probablemente estas pérdidas de aislamiento sean debidas a la existencia de algún puente acústico en el propio forjado o alguna falta de sellado y estanquidad. En las fases siguientes se observa una tendencia similar en los resultados de este forjado.

En **Fase 2** tenemos los forjados mixtos hormigón – madera, tras la construcción de una capa de compresión de hormigón con refuerzos sobre los forjados iniciales de la Fase 1.

Se produce un incremento importante en el aislamiento (de 5 a 10dBA) a ruido aéreo según lo esperado ya que el aumento de masa en un sistema constructivo implica una mejora del aislamiento acústico a ruido aéreo. En cambio, este incremento de masa no tiene tanta influencia (aunque sí se aprecia cierta mejora) en las prestaciones del forjado a ruido de impactos. Nuevamente, el forjado P1_2 tiene un comportamiento acústico anómalo frente al resto de forjados.

En **Fase 3** tenemos los forjados terminados, tras la rehabilitación completa, en su estado final. A cada uno de los forjados mixtos con capa de compresión de la fase 2 se le ha añadido un sistema de suelo flotante diferente.

Tras la instalación de los suelos flotantes se aprecia un incremento de aislamiento a ruido aéreo del mismo orden de magnitud que el obtenido en la fase anterior (hasta 10dBA). Se observa cómo los aislamientos obtenidos en alta frecuencia muy altos.

En aislamiento a ruido de impacto en alta frecuencia los niveles de ruido recibidos son muy bajos y en algunas bandas de frecuencia los niveles podrían ser incluso menores que los indicados al quedar las medidas limitadas por el ruido de fondo.

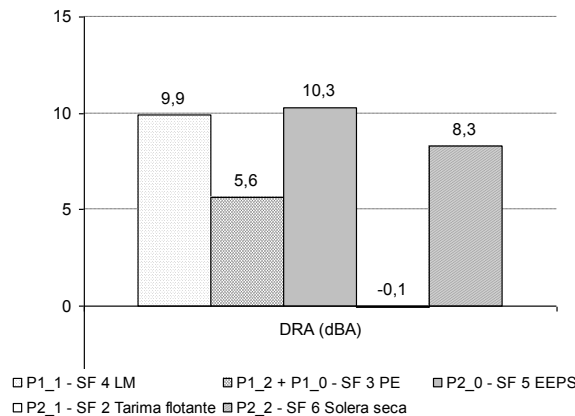
El forjado P1_2 tiene un aislamiento final a ruido aéreo significativamente menor que el del resto de forjados. Sus prestaciones a ruido de impactos, aunque algo mejores, también están por debajo de lo esperado y por debajo de las prestaciones de los demás.

Mejoras De Aislamiento De Los Suelos Flotantes

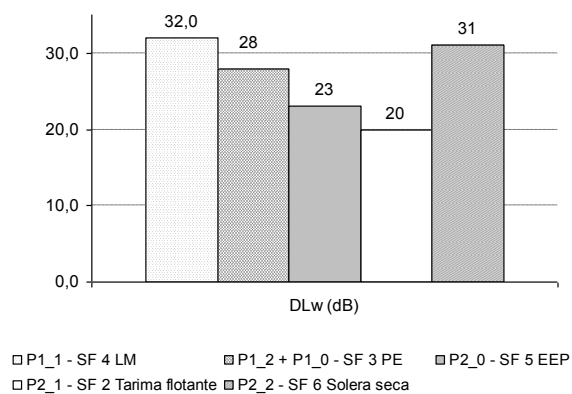
En general, un suelo flotante aporta ganancia de aislamiento tanto a ruido aéreo como a ruido de impacto, pero su gran aporte es en el aislamiento a ruido de impacto. Las diferentes tipologías de suelo flotante dan diferentes rangos de mejoras de estos aislamientos:

FASE 3	P1_1 SF 4 - LM	P1_2 + P1_0 SF 3 - PE	P2_0 SF 5 - EEPS	P2_1 SF 2 – Tarima flotante	P2_2 SF 6 – Solera seca
ΔR_A	9,9 dBA	5,6 dBA	10,3 dBA	-0,1 dBA	8,3 dBA
ΔL_w	32,0 dB	28 dB	≥ 23 dB	20 dBA	≥ 31 dB

Mejora de aislamiento a ruido aéreo de los suelos flotantes



Mejora de aislamiento a ruido de impactos de los suelos flotantes



La mejora de aislamiento a ruido aéreo está entre los 5 a 10dBA, exceptuando el SF2 consistente en una tarima flotante. Éste podría ser un resultado esperable dado que se trata de una tipología de SF consistente en una lámina delgada (3mm) de polietileno y un acabado de madera laminada que no aporta mejora a ruido aéreo, sin embargo, la capa de nivelación de mortero previa debería haber proporcionado alguna mejora.

En relación a la reducción de ruido de impactos debido a los suelos flotantes se han conseguido unos valores muy buenos, de 20 a 32dB. La eficacia contra el ruido de impactos de un suelo flotante dependerá de la tipología de suelo flotante y las características del material aislante que emplee. En este sentido, los suelos flotantes más eficaces han sido el SF4 de mortero sobre lana mineral y SF6 de solera seca, con una reducción del nivel de ruido de impactos de 32 y 31dB respectivamente.

Aún manteniendo un rendimiento muy bueno con respecto al ruido de impactos (20dB), podría haberse esperado más del suelo flotante SF5 de mortero sobre EEPS (5cm) ya que las prestaciones de los suelos flotantes con EEPS (sobre forjados más masivos) suelen estar cercanas a las de los suelos flotantes de lana mineral, que suelen ser los más aislantes, y por encima de los suelos flotantes de polietileno.

CONCLUSIONES

El objetivo general de este trabajo consistía en caracterizar las prestaciones acústicas de los forjados de madera en estado de rehabilitación y obtener una serie de primeras conclusiones en relación al comportamiento acústico *in situ* de los forjados de madera y de los sistemas de suelo flotante instalados sobre éstos. A continuación podríamos tener una idea de las prestaciones acústicas finales que pueden llegar a obtenerse con el objeto de cumplir los niveles de las exigencias de aislamiento acústico establecidas en la normativa actual sobre edificación (DB HR del CTE).

Estos valores deben tomarse como un primer acercamiento al comportamiento acústico *in situ* de los forjados de madera y se trata además de un muestreo muy limitado, pero, si además queremos extrapolar conclusiones a casos similares, habría que estudiar la influencia de muchos aspectos como la geometría de los recintos, los espesores reales de las capas de compresión, el comportamiento de diferentes sistemas de conexión, etc.

En todo proceso de rehabilitación es necesaria la caracterización acústica de la situación de partida para saber cuán cerca o lejos estamos de los niveles marcados por las exigencias en vigor y qué alternativas de actuación podemos tener.

De la caracterización inicial de los forjados se puede concluir que los resultados obtenidos son bastante deficientes aunque dentro de lo esperable al tratarse de forjados muy básicos y de mucha antigüedad, probablemente con defectos de ejecución y de estanquidad propios de unos tiempos nada acordes con el conocimiento, la concienciación y la demanda de confort acústico que existen a fecha de hoy.

En relación a las prestaciones acústicas finales alcanzadas podemos concluir que se han alcanzados resultados muy satisfactorios llegando a los niveles de cumplimiento de la normativa en casi todos los casos.

A continuación se muestran los resultados de todos los ensayos realizados en este trabajo:

RECINTOS		ENSAYOS				
			FASE 1	FASE 2	FASE 3	
Planta 1	P1_1 sobre PB_1 Ensayos 3 – 8	D _{nT,A}	X	45,3 dBA	55,1 dBA	SF4 LM
		L' _{nT,w}		80 dB	48 dB	
	P1_2 + P1_0 sobre PB_2 Ensayos 5 – 6 – 7	D _{nT,A}	24,1 dBA	33,8 dBA	39,4 dBA	SF3 PE
		L' _{nT,w}	92 dB	90 dB	62 dB	
Planta 2	P2_0 sobre P1_2 + P1_0 Ensayos 9 – 10 – 11	D _{nT,A}	39,5 dBA	49,7 dBA	60 dBA	SF5 EEPS
		L' _{nT,w}	X	67 dB	≤44 dB	
	P2_1 sobre P1_1 Ensayos 4 – 12 – 13	D _{nT,A}	37,4 dBA	48,2 dBA	48,1 dBA	SF2 Tarima
		L' _{nT,w}	79 dB	76 dB	56 dB	
	P2_2 sobre P1_2 + P1_0 Ensayos 14 – 15 – 16	D _{nT,A}	43,4 dBA	48,3 dBA	56,5 dBA	SF6 Solera seca
		L' _{nT,w}	X	72 dB	≤45 dB	

En el transcurso de lo que queda de año, el Ministerio de Fomento probablemente apruebe los Documentos Básicos con modificaciones del CTE. Entre otras, la rehabilitación es una de las grandes aportaciones de estos documentos, incluido el de acústica. En ellos se establecen los casos en que son aplicables las exigencias a los proyectos de edificación existente así como unos criterios de aplicación para aplicarlas.

Como conclusión final es importante señalar que existen opciones de afrontar con éxito la rehabilitación en edificios con estructura de forjados de madera considerando los aspectos acústicos y llegar a cumplir los requisitos marcados por el Documento Básico de Protección contra el ruido (DB HR) del Código Técnico de la Edificación.

REFERENCIAS

- [1] Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo (BOE 28 de marzo de 2006). “Código Técnico de la Edificación”. Ministerio de Vivienda;
- [2] Documento Básico HR Protección frente al ruido. Abril 2009.
- [3] Arriaga, F., Peraza, E., Bobadilla, I. y García, F. (2002) *Intervención en estructuras de madera*. AITIM.
- [4] UNE EN ISO 140-4: 1999 Acústica. Medición de aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición in situ del aislamiento a ruido aéreo entre locales;
- [5] UNE EN ISO 140-7: 1999 Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 7: Medición in situ del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos (ISO 140-7: 1998)
- [6] Monjo, J., Maldonado, L. (2001) *Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas*. Munilla-Lería.
- [7] Pardo Ros, J. L. (1997) *Estructuras mixtas de hormigón-madera aplicadas a la rehabilitación de forjados*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.