

## EL EFECTO DE LAS TRANSMISIONES POR FLANCOS EN LA MEJORA DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO ENTRE RECINTOS MEDIANTE CAPAS ADICIONALES A UN ELEMENTO ESTRUCTURAL SOPORTE

Alexander Díaz Chyla<sup>1</sup>, Daniel de la Prida<sup>2</sup>, María Ángeles Navacerrada<sup>3</sup>, Antonio Pedrero<sup>4</sup> y César Díaz<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España  
{e-mail: [alexander.diaz@arup.com](mailto:alexander.diaz@arup.com)}

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España  
{e-mail: [d.delaprida@alumnos.upm.es](mailto:d.delaprida@alumnos.upm.es)}

<sup>3</sup>Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España  
{e-mail: [mdelosangeles.navacerrada@upm.es](mailto:mdelosangeles.navacerrada@upm.es)}

<sup>4</sup>Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España  
{e-mail: [antonio.pedrero@upm.es](mailto:antonio.pedrero@upm.es)}

<sup>5</sup>Grupo de Investigación en Acústica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España  
{e-mail: [cesar.diaz.sanchidrian@gmail.com](mailto:cesar.diaz.sanchidrian@gmail.com)}

### Resumen

En España la inmensa mayoría de las viviendas se han construido antes de la aplicación del DB HR Protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación y no están adecuadas a las actuales exigencias de calidad acústica. Estas deficientes condiciones se han puesto de manifiesto en la situación de confinamiento en nuestras viviendas. En este trabajo se analiza la mejora del aislamiento acústico entre recintos al añadir a algunos sistemas estructurales habituales en España capas adicionales. Se comparan los resultados obtenidos al aplicar las Normas UNE EN ISO 12354-1 y 2 para estimar la mejora en el índice de reducción acústica ponderado,  $\Delta R_w$ , o la reducción ponderada del nivel de presión acústica de impactos,  $\Delta L_{n,w}$ , con los obtenidos del índice de reducción acústica aparente ponderado,  $\Delta R'_w$  y de la mejora del nivel de presión acústica ponderado de impactos  $\Delta L'_{n,w}$ . En los edificios, las transmisiones por flancos son importantes y en algunos casos, pueden ser predominantes.

**Palabras clave:** capa adicional, rigidez dinámica, transmisiones por flancos, índice de reducción acústica, índice de reducción acústica ponderado

### Abstract

In Spain, the vast majority of homes were built before the application of the DB HR Protection against noise of the Technical Building Code and are not adequate to the current acoustic quality requirements. These poor conditions have been shown in the confinement situation in our homes. In this work, the improvement of acoustic insulation between rooms is analyzed by adding additional layers to some common structural systems in Spain. The results obtained when applying the UNE EN ISO 12354-1 and 2 standards are compared to estimate the improvement in the weighted noise reduction index,  $\Delta R_w$ , or the weighted reduction of the impact sound pressure level,  $\Delta L_{n,w}$ , with those obtained from the weighted apparent acoustic reduction index,  $\Delta R'_w$  and of the improvement of the weighted sound pressure level of impacts  $\Delta L'_{n,w}$ . In buildings, flank transmissions are important, and in some cases may be predominant.

**Keywords:** additional layer, dynamic stiffness, flank drives, noise reduction index, weighted noise reduction index

PACS n°. 43.55.-n, 43.55.Vj

## 1 Introducción

En España, la inmensa mayoría de las viviendas en edificios de uso residencial se han construido antes de tener una reglamentación acústica en los edificios. En el año 1982 comenzó la vigencia de la Norma Básica de la Edificación. Condiciones Acústicas, NBE-CA 82, aplicable a los edificios de nueva planta, sin exigencias con respecto al aislamiento entre recintos. La presente situación sanitaria donde los ciudadanos hemos tenido que estar mucho tiempo confinados en nuestras viviendas ha puesto de manifiesto las deficientes condiciones acústicas en las viviendas de uso residencial. Las quejas y denuncias por molestias derivadas del ruido vecinal se han incrementado y es posible que muchas personas quieran mejorar el aislamiento acústico a ruido aéreo y ruido de impactos de sus viviendas actuales.

Los fabricantes de productos acústicos nos informan de los resultados de sistemas constructivos obtenidos en ensayos realizados en laboratorio. Sin embargo, en los edificios, la transmisión del sonido entre recintos puede estar fuertemente influenciada por las transmisiones por flancos pudiendo ser éstas, en algunos casos, predominantes. En este trabajo se analiza la mejora del aislamiento acústico entre recintos al añadir capas adicionales a algunos sistemas estructurales habituales en España.

Se comparan los resultados que se obtienen al aplicar las Normas EN ISO 12354-1:2017 [1] y EN ISO 12354-2:2017 [2] para estimar la mejora en el índice de reducción acústica ponderado,  $\Delta R_w$ , o la reducción ponderada del nivel de presión acústica de impactos,  $\Delta L_{n,w}$ , con los previstos del índice de reducción acústica aparente ponderado,  $\Delta R'_w$  y de la mejora del nivel de presión acústica aparente ponderado de impactos  $\Delta L'_{n,w}$ , al tener en cuenta las transmisiones por flancos. El estudio comparativo se realiza para dos casos: paredes medianeras entre recintos adyacentes y elementos horizontales de separación entre recintos superpuestos.

## 2 Método de cálculo

En la mejora del aislamiento acústico de un sistema constructivo mediante capas adicionales, la magnitud que más influye es la rigidez dinámica  $s'$  de la capa elástica intermedia entre el sistema constructivo soporte y la capa adicional. La rigidez de un material describe su capacidad para oponerse a las deformaciones. De manera general, se define como el cociente entre la fuerza dinámica aplicada perpendicularmente a un material elástico y el desplazamiento dinámico que experimenta el material [3].

### 2.1 Cálculo de la mejora del aislamiento acústico *en laboratorio* mediante capas adicionales

La mejora del índice de reducción acústica ponderado,  $R_w$ , de un elemento estructural soporte debido a una capa adicional como un revestimiento de pared montado elásticamente, un sistema de aislamiento térmico, un suelo flotante o un techo suspendido, es, en principio, diferente si se trata de una transmisión indirecta o de una transmisión directa a ruido aéreo y depende, además, del tipo de los elementos básicos estructurales a los que se apliquen. Si los recubrimientos se fijan a un elemento estructural básico homogéneo (elemento separador o elemento de flanco),  $R_w$  puede aumentar o disminuir dependiendo de la frecuencia de resonancia del sistema,  $f_0$ . En esta línea de mejora, se puede también reducir el nivel de presión acústica ponderado de impactos de un suelo  $L_{n,w}$  mediante la colocación de un suelo flotante.

La normas EN ISO 12354-1:2017 [1] y EN ISO 12354-2:2017 [2] indican cómo estimar la mejora en el índice de reducción acústica ponderado,  $\Delta R_w$ , o la reducción ponderada del nivel de presión acústica de impactos,  $\Delta L_{n,w}$ , de un forjado al añadir una capa adicional. Los resultados obtenidos en laboratorio son aplicables en el cálculo de la transmisión directa a ruido aéreo cuando la pared o el forjado tienen una masa por unidad de superficie superior a 200 kg/m<sup>2</sup>.

### a) Cálculo de $\Delta R_w$ de paredes pesadas o forjados al añadirle capas adicionales

El Anexo D de la norma EN ISO 12354-1:2017 [1] indica cómo se puede estimar la mejora en el índice de reducción acústica de una pared pesada o de un forjado al añadir una capa adicional en los dos casos siguientes:

1. Si el recubrimiento se fija directamente al elemento estructural básico homogéneo (elemento separador o elemento de flanco), sin montantes ni perfiles, la frecuencia de resonancia  $f_0$  se calcula mediante la expresión:

$$f_0 = 0,160 \sqrt{s' \left( \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} = 0,160 \sqrt{s' \left( \frac{m_1' + m_2'}{m_1' \cdot m_2'} \right)} \text{ Hz} \quad (1)$$

donde  $s'$  es la rigidez dinámica por unidad de área de la capa elástica,  $m_1'$  es la masa por unidad de superficie del elemento estructural básico y  $m_2'$  la masa por unidad de superficie de la capa adicional, ambas expresadas en kg/m<sup>2</sup>.

2. Si el recubrimiento se realiza con montantes de metal o madera, o perfiles no conectados directamente al elemento estructural básico, en los que la cavidad se rellena con una capa aislante porosa de resistividad al aire  $r$  mayor que 5 kPa.s/m<sup>2</sup>,  $f_0$  se calcula mediante la ecuación:

$$f_0 = 0,160 \sqrt{s_a' \left( \frac{m_1' + m_2'}{m_1' \cdot m_2'} \right)} = 0,160 \sqrt{\frac{0,111}{d} \left( \frac{m_1' + m_2'}{m_1' \cdot m_2'} \right)} \text{ Hz} \quad (2)$$

donde  $s_a' = \frac{0,111}{d}$  y  $d$  es la profundidad de la cámara expresada en metros.

Para elementos estructurales básicos con  $R_w$  entre 20 y 60 dB, la mejora  $\Delta R_w$  del índice ponderado de reducción acústica resultante como consecuencia del recubrimiento se puede estimar a partir de la frecuencia de resonancia  $f_0$ , redondeando a la frecuencia central de la banda de un tercio de octava en la que se sitúa la frecuencia de resonancia, según los valores de la Tabla 1. De estos valores se puede concluir que para frecuencias de resonancia inferiores a 200 Hz, el  $\Delta R_w$  del sistema será mayor cuanto menor sea el índice de reducción sonora del sistema original sin recubrimiento y que para frecuencias de resonancia superiores a 200 Hz lo que se produce es una disminución del índice de reducción acústica ponderado  $R_w$ .

Tabla 1- Mejora del índice ponderado de reducción acústica  $\Delta R_w$  de un recubrimiento en función de la frecuencia de resonancia  $f_0$ .

Frecuencia de resonancia $f_0$ del recubrimiento, Hz	$\Delta R_w$ (dB)
$30 \leq f_0 \leq 160$	$74,4 - 20 \lg(f_0) - \frac{R_w}{2}$
200	- 1
250	- 3
315	- 5
400	- 7
500	- 9
630 – 1600	- 10
$1600 \leq f_0 \leq 5000$	- 5

1. Si  $f_0 < 200$  Hz, el valor mínimo de  $\Delta R_w$  es 0 dB.  
 2.  $R_w$  es el índice ponderado de reducción acústica del elemento estructural sin recubrimiento, en dB.

### b) Cálculo de $\Delta L_w$ de suelos flotantes

Existen muy diferentes tipos de acabados de los suelos y la mejora del aislamiento del ruido de impactos  $\Delta L_w$  de cada uno de ellos depende del forjado soporte. Por esta causa, para las mediciones normalizadas en los laboratorios, los forjados normalizados son diferentes para suelos de referencia pesados y para ligeros (EN ISO 10140-5:2011 [4], Anexo C). Para suelos de referencia pesados el forjado es preferentemente una losa de hormigón reforzado de espesor 140 mm.

Para suelos flotantes, la norma EN ISO 12354-2:2017 [2] proporciona las expresiones (3) y (4) para calcular  $\Delta L_w$ . El valor de  $\Delta L_w$  es función de la masa por unidad de superficie del suelo flotante  $m'$  y de la rigidez dinámica  $s'$  por unidad de área de la capa elástica intermedia.

*Suelos flotantes contruidos de arena/cemento o sulfato cálcico:*

$$\Delta L_w = 13 \lg m' - 14,2 \lg s' + 20,8 \text{ dB} \quad (3)$$

*Suelos flotantes hechos a base de asfalto o suelos flotantes secos:*

$$\Delta L_w = (-0,21m' - 5,45) \lg s' + 0,46m' + 23,8 \text{ dB} \quad (4)$$

## 2.2 Cálculo del aislamiento acústico entre dos recintos: *transmisiones por flancos*

En un recinto, una pared o un forjado no funcionan de forma independiente, dado que todos los sistemas constructivos del recinto son potenciales transmisores de la energía acústica. El estudio del comportamiento del estado de vibración de un edificio, por pequeño que sea, es un problema matemático de gran complejidad. Entre dos recintos adyacentes, cuando una fuente sonora genera una excitación en el recinto emisor, todos los paramentos que limitan éste se ponen en vibración y, consecuentemente, se genera una vibración en los paramentos que limitan el recinto receptor, como consecuencia de las uniones que tienen entre sí los paramentos de los dos recintos. Por todo esto, el aislamiento acústico a ruido aéreo entre dos recintos contiguos es menor que el aislamiento acústico a ruido aéreo de la pared separadora.

El sonido entre recintos contiguos se transmite de manera directa través de la pared separadora, o camino directo, y por los caminos de flanco, o caminos indirectos. Por lo tanto, en general, son 13 caminos de transmisión, 1 directo y 12 indirectos. En edificios con elementos constructivos tradicionales como paredes pesadas de albañilería, aproximadamente la mitad del sonido que se transmite entre recintos contiguos con una pared medianera se debe a la transmisión por flancos. El aislamiento acústico a ruido aéreo aparente total entre los dos recintos  $R'$  y el nivel de presión acústica aparente total del ruido de impactos  $L'_n$  dependerá de la cantidad de energía acústica transmitida por cada uno de los caminos según se indica a continuación.

#### a) Cálculo de $R'$

$$R' = 10 \log \frac{W_{inc}}{W_{dir} + W_{flancos}} = -10 \log(10^{-0,1R_{dir}} + 10^{-0,1R_{flancos}}) \text{ dB} \quad (5)$$

siendo  $R_{dir}$  el índice de reducción acústica directa debida únicamente al ruido incidente sobre el elemento separador y que, a continuación, es transmitido al recinto receptor, y  $R_{flancos}$  el índice de reducción acústica debido a todas las transmisiones indirectas, ambos en dB.

El método simplificado de cálculo de la Norma EN ISO 12354-1:2017 [1] predice el índice ponderado de reducción acústica aparente  $R'_w$  basándose en los índices de reducción acústica ponderados de los elementos constructivos implicados según las expresiones (6) y (7):

$$R'_w = -10 \log(10^{-0,1R_w} + 10^{-0,1R_{flancos,w}}) \text{ dB} \quad (6)$$

$$R_{flancos,w} = -10 \log(10^{-0,1R'_w} - 10^{-0,1R_w}) \text{ dB} \quad (7)$$

#### b) Cálculo de $L'_n$

En la transmisión de los ruidos de impacto entre recintos superpuestos hay una transmisión directa a través del elemento horizontal de separación y un camino de transmisión por flancos por cada una de las paredes laterales, siendo éstas cuatro habitualmente. Para recintos situados uno encima de otro, el nivel de presión acústica de impactos total  $L'_n$  en el recinto receptor viene determinado por la expresión (8):

$$L'_n = 10 \lg(10^{0,1L_{n,d}} + 10^{0,1L_{n,flancos}}) \quad (8)$$

siendo  $L_{n,d}$  el nivel de presión acústica de impactos normalizado debido a la transmisión directa y  $L_{n,flancos}$  el nivel de presión acústica de impactos normalizado debido a todas las transmisiones indirectas, ambos en dB.

El método simplificado de cálculo de la Norma EN ISO 12354-2:2017 [2] determina el nivel de presión acústica de impactos total ponderado  $L'_{n,w}$  basándose en los valores ponderados de los elementos constructivos implicados, en la manera que se indica en las expresiones (9) y (10):

$$L'_{n,w} = 10 \log(10^{0,1L_{n,w}} + 10^{0,1L_{n,flancos,w}}) \text{ dB} \quad (9)$$

$$L_{n,flancos,w} = 10 \log(10^{0,1L'_{n,w}} - 10^{0,1L_{n,w}}) \text{ dB} \quad (10)$$

A partir de éstas se deduce que, con un suelo flotante, los nuevos valores del índice de reducción acústica aparente ponderado  $R'_w$  y del nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado  $L'_{n,w}$  se calculan mediante las ecuaciones (11) y (12). En la expresión (12), para el ruido de impactos, se ha tenido en cuenta que la mejora  $\Delta L_{n,w}$  es igual para el camino directo y los cuatro caminos de flanco de las paredes.

$$R'_w = -10 \log(10^{-0,1(R_w + \Delta R_w)} + 10^{-0,1R_{flancos,w}}) \text{ dB} \quad (11)$$

$$L'_{n,w} = 10 \log(10^{0,1(L_{n,w} - \Delta L_{n,w})} + 10^{-0,1(L_{n,flancos,w} - \Delta L_{n,w})}) \text{ dB} \quad (12)$$

### 3 Resultados y discusión

#### 3.1 Mejora del aislamiento a ruido aéreo entre dos recintos adyacentes al colocar una capa adicional a la pared separadora

En el caso de estudio la pared separadora es de fábrica de una hoja de ladrillo cerámico perforado con revestimiento de yeso por las dos caras de masa por unidad de superficie  $m'_1 = 160 \text{ kg/m}^2$  y  $R_w = 45 \text{ dB}$ . El valor medido del índice ponderado de reducción acústica aparente entre dos recintos colindantes es  $R'_w = 41 \text{ dB}$ . En uno de los recintos se trasdosa directamente mediante pelladas un revestimiento de lana mineral de rigidez dinámica  $s'$  medido en  $\text{MN/m}^3$  pegada con un acabado de yeso laminado de masa por unidad de superficie  $m'_2$  expresada en  $\text{kg/m}^2$ . El cálculo para estimar el índice de reducción acústica ponderado por flancos del sistema según la ecuación (7) es el siguiente:

$$R_{flancos,w} = -10 \log(10^{-0,1(41)} - 10^{-0,1(45)}) = 43,2 \text{ dB}$$

A partir de este dato, se ha calculado según la expresión (11) el nuevo valor del índice ponderado de reducción acústica aparente entre los dos recintos para diferentes valores de la rigidez dinámica  $s'$  de la lana mineral y de la masa  $m'_2$  del acabado de yeso laminado. Los resultados se muestran en la Tabla 2. La tabla se divide en tres bloques, cada bloque corresponde a un valor diferente de  $s'$ , 10, 20 y 30  $\text{MN/m}^3$ . Fijado el valor de  $s'$  y para valores de la masa del yeso laminado del trasdosado entre 8 y 24  $\text{kg/m}^2$  se calcula la frecuencia de resonancia del sistema (segunda columna en la Tabla 2) y por tanto la mejora en el índice de reducción acústica ponderado  $\Delta R_w$  según la Tabla 1. A partir de aquí se calcula el nuevo índice ponderado de reducción acústica aparente  $R'_w$  entre los dos recintos según ecuación (11) y la mejora en el índice de reducción acústica aparente ponderado,  $\Delta R'_w$ . Se comprueba, según los resultados de la Tabla 2 (cálculo para los valores de 20 y 30  $\text{MN/m}^3$  de  $s'$ ) que al aumentar la rigidez dinámica de la capa elástica separadora la frecuencia de resonancia del sistema aumenta lo que dar lugar una disminución  $R'_w$ .

Tabla 2 - Cálculo del índice de reducción acústica aparente ponderado  $\Delta R'_w$  para tres valores de  $s'$  (10, 20 y 30 MN/m<sup>3</sup>). Para cada valor de  $s'$  se muestran, por este orden, los valores de la frecuencia de resonancia del sistema  $f_0$ , la mejora en el índice de reducción acústica ponderado  $\Delta R_w$ , el nuevo índice ponderado de reducción acústica aparente  $R'_w$  y la mejora del índice de reducción acústica aparente ponderado  $\Delta R'_w$ .

$s' = 10 \text{ MN/m}^3$				
$m'_2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$	$f_0 \text{ (Hz)}$	$DR_w \text{ (dB)}$	$R'_w \text{ (dB)}$	$\Delta R'_w \text{ (dB)}$
8,0	183,3	0,0	41,0	0,0
12,0	151,4	7,8	42,7	1,7
16,0	132,7	10,0	42,9	1,9
20,0	120,0	10,0	42,9	1,9
24,0	110,8	11,9	43,0	2,0

$s' = 20 \text{ MN/m}^3$				
$m'_2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$	$f_0 \text{ (Hz)}$	$DR_w \text{ (dB)}$	$R'_w \text{ (dB)}$	$\Delta R'_w \text{ (dB)}$
8,0	259,2	-3,0	39,0	-2,0
12,0	214,2	-1,0	39,5	-1,5
16,0	187,6	0,0	41,0	0,0
20,0	169,7	7,8	42,7	1,7
24,0	156,6	7,8	42,7	1,7

$s' = 30 \text{ MN/m}^3$				
$m'_2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$	$f_0 \text{ (Hz)}$	$DR_w \text{ (dB)}$	$R'_w \text{ (dB)}$	$\Delta R'_w \text{ (dB)}$
8,0	317,5	-5,0	38,3	-2,7
12,0	262,3	-3,0	39,0	-2,0
16,0	229,8	-3,0	39,0	-2,0
20,0	207,8	-1,0	39,5	-1,5
24,0	191,8	0,0	41,0	0,0

### 3.2 Mejora del aislamiento acústico entre recintos superpuestos en edificios de uso residencial con forjados unidireccionales sin capa elástica amortiguadora

Para el segundo caso de estudio los elementos constructivos analizados constan de forjados unidireccionales de semiviguetas pretensadas y bovedilla cerámica con capa de compresión sin solado amortiguador, con un suelo de terrazo o parqué encolado. Los suelos flotantes de mortero/cemento, en general, presentan mejores prestaciones acústicas que los suelos flotantes en seco, pero tienen un coste mayor de realización y obligan al realojamiento provisional de los habitantes de la vivienda. El realizar un suelo flotante de mortero/cemento requiere un estudio previo de la estructura del edificio para evaluar las sobrecargas extras en el edificio. La altura promedio de los recintos es de 2,5 m y este tipo de suelos flotantes elevan el suelo del recinto de forma significativa, entre 6 y 10 cm, esto afecta a la habitabilidad en la vivienda y a la accesibilidad a las zonas comunes del edificio. En este tipo de edificios es más fácil y económico instalar suelos flotantes en seco que necesitan menos espesor, pero su eficacia en la mejora del ruido aéreo es mucho menor.

En este apartado se realiza una comparación de los resultados obtenidos para  $R'_w$  y  $L'_{n,w}$  según los cálculos previstos en las normas EN ISO 12354-1 y EN ISO 12354-2 con los resultados de mediciones *in situ*. El estudio se realiza para un elemento horizontal de separación de masa por unidad de superficie  $m'_1 = 250 \text{ kg/m}^2$  y suelos flotantes en seco.

Para el cálculo de  $R'_w$ , el índice de reducción acústica ponderado  $R_w$  se obtiene para valores a partir de la expresión (13) de la ley de masa francesa para valores de  $m'_1$  mayores de  $150 \text{ kg/m}^2$ . Los valores obtenidos son prácticamente iguales a los que se obtienen aplicando las ecuaciones del DB HR Protección frente al ruido del CTE en España [4].

$$R_w = 40 \log \left( \frac{m'_1}{1 \text{ kg/m}^2} \right) - 45,0 \text{ dB} \quad (13)$$

Para el cálculo de  $L'_{n,w}$ , el nivel de presión acústica de impactos normalizado equivalente se obtiene mediante la ecuación (14) según la norma EN ISO 12354-2 para construcciones de suelo hechas con vigas de hormigón y ladrillos, o bloques cerámicos y una capa de pavimento ligero superior (estructura parcialmente homogénea).

$$L_{n,eq,0,w} = 160 - 35 \log \left( \frac{m'_1}{1 \text{ kg/m}^2} \right) \text{ dB} \quad (14)$$

Los valores *in situ* del índice de reducción acústica aparente ponderado  $R'_w$  y el nivel de presión acústica de impactos normalizado ponderado  $L'_{n,w}$  se obtienen a partir de las expresiones (15) y (16) deducidas a partir de los resultados de los ensayos acústicos realizados en España [5] para el caso de recintos superpuestos en edificios de uso residencial en función de la masa del elemento horizontal de separación.

$$R'_w = 26 + 9 \log \left( \frac{m'_1}{1 \text{ kg/m}^2} \right) \text{ dB} \quad (15)$$

$$L'_{n,w} = 126 - 20 \log \left( \frac{m'_1}{1 \text{ kg/m}^2} \right) \text{ dB} \quad (16)$$

Según la expresión (1) la frecuencia de resonancia del sistema forjado -capa elástica-suelo flotante en seco es en general elevada, pues está muy influenciada por la rigidez dinámica de la capa elástica intermedia, en particular con masas del suelo flotante pequeñas.

En primer lugar se analiza el efecto de un suelo flotante en seco sobre el aislamiento a ruido aéreo del sistema. En la Tabla 3 se muestran en detalle los valores que se obtienen en función de  $m'_2$  cuando la rigidez dinámica de la capa elástica intermedia es de  $10 \text{ MN/m}^3$ . En la Figura 1 se muestran la variación del índice de reducción acústica aparente ponderado,  $\Delta R'_w$  para diferentes valores de la rigidez dinámica de la capa elástica intermedia  $s'$  en función de la masa por unidad de superficie del suelo flotante. Se observa una disminución del aislamiento a ruido aéreo al aumentar el valor de la rigidez dinámica. Respecto a la variación del nivel de presión acústica ponderado de impactos  $\Delta L'_{n,w}$  según la ecuación (4) no está afectada por la masa del elemento estructural horizontal soporte. En la Tabla 4 se muestran en detalle los resultados obtenidos cuando la rigidez dinámica de la capa elástica intermedia es de  $10 \text{ MN/m}^3$  para un elemento horizontal de separación de  $250 \text{ kg/m}^2$ . Al tener en cuenta las transmisiones por flancos, las mejoras *in situ* y en laboratorio del nivel de presión acústica ponderado de impactos son prácticamente iguales,  $\Delta L_{m,w} \approx \Delta L'_{n,w}$ . Este cálculo se ha extendido a otros valores de  $s'$  de la capa elástica, en la Figura 2 se muestra la variación  $\Delta L_{n,w}$  para diferentes valores de la rigidez dinámica. En

todos los casos el nivel de presión acústica ponderado de impactos  $\Delta L_{n,w}$  aumenta. La variación es mayor cuanto menor es el valor de la rigidez dinámica de la capa elástica intermedia y mayor es la masa del suelo flotante.

Tabla 3 - Valores de la variación del índice de reducción acústica aparente ponderado  $\Delta R'_w$  para  $s' = 10$  MN/m<sup>3</sup> y distintos valores de la masa por unidad de superficie del suelo flotante.

$m'_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$R_w$	$\Delta R_w$	$R_w + \Delta R_w$	$R'_{flancos, w}$	$R'_w$	$R'_w$	$\Delta R'_w$
	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)
	Laboratorio				Con suelo	Sin suelo	
	<i>Ec (13)</i>	<i>Tabla 1</i>		<i>Ec(7)</i>	<i>Ec(11)</i>	<i>Ec(15)</i>	
5,0	50,9	-3,0	47,9	50,3	45,9	47,6	-1,7
10,0	50,9	4,9	55,8	50,3	49,2	47,6	1,6
15,0	50,9	6,6	57,5	50,3	49,5	47,6	1,9
20,0	50,9	7,9	58,8	50,3	49,7	47,6	2,1
30,0	50,9	9,6	60,5	50,3	49,9	47,6	2,3
40,0	50,9	10,9	61,8	50,3	50,0	47,6	2,4
50,0	50,9	11,9	62,8	50,3	50,1	47,6	2,5
60,0	50,9	12,6	63,5	50,3	50,3	47,6	2,7

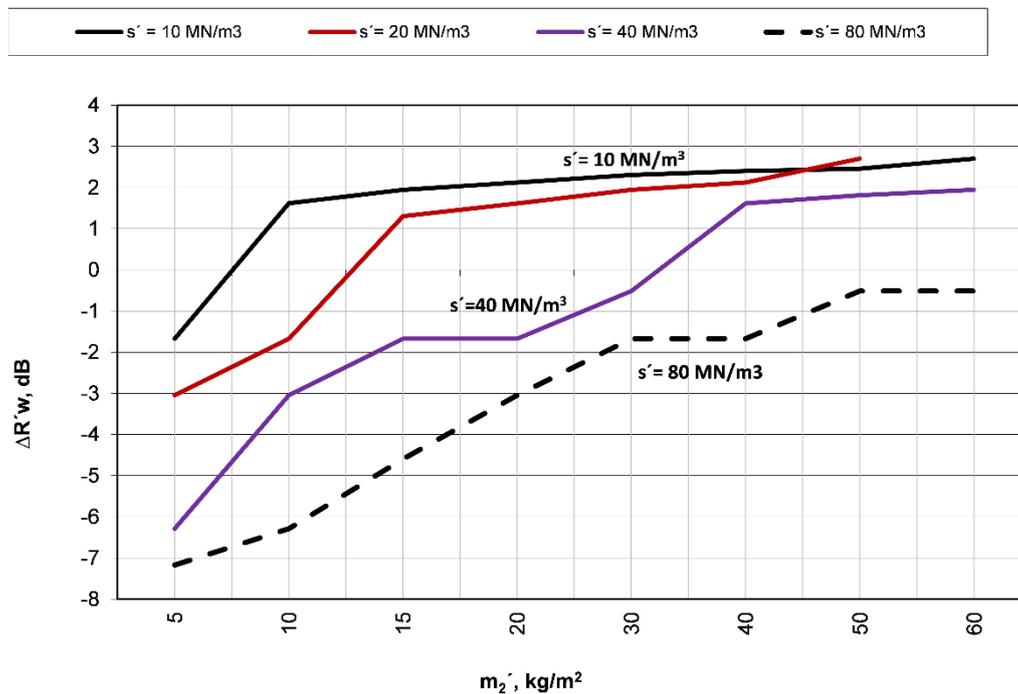


Figura 1-Variación del índice de reducción acústica aparente ponderado  $\Delta R'_w$  para diferentes valores de la rigidez dinámica  $s'$  de la capa elástica intermedia en función de la masa por unidad de superficie del suelo flotante.

Tabla 4- Valores de la variación del nivel de presión acústica ponderado de impactos aparente ponderado  $\Delta L'_{n,w}$  para  $s' = 10 \text{ MN/m}^3$  y distintos valores de la masa por unidad de superficie del suelo flotante.

$m'_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$L_{n,w}$ (dB)	$\Delta L_{n,w}$ (dB)	$L_{n,w} - \Delta L_{n,w}$ (dB)	$L'_{n,flancos,w} - \Delta L_{n,w}$ (dB)	$L'_{n,w}$ (dB)		$\Delta L'_{n,w}$ (dB)
					Laboratorio		
					Con suelo <i>Ec(11)</i>	Sin suelo <i>Ec(15)</i>	
	<i>Ec(13)</i>	<i>Tabla 1</i>		<i>Ec(7)</i>			
5,0	76,0	19,6	56,4	54,1	58,4	78	19,6
10,0	76,0	20,9	55,2	52,9	57,2	78	20,8
15,0	76,0	22,1	53,9	51,6	55,9	78	22,1
20,0	76,0	23,4	52,7	50,4	54,7	78	23,3
30,0	76,0	25,9	50,2	47,9	52,2	78	25,8
40,0	76,0	28,4	47,7	45,4	49,7	78	28,3
50,0	76,0	30,9	45,2	42,9	47,2	78	30,8
60,0	76,0	33,4	42,7	40,4	44,7	78	33,3

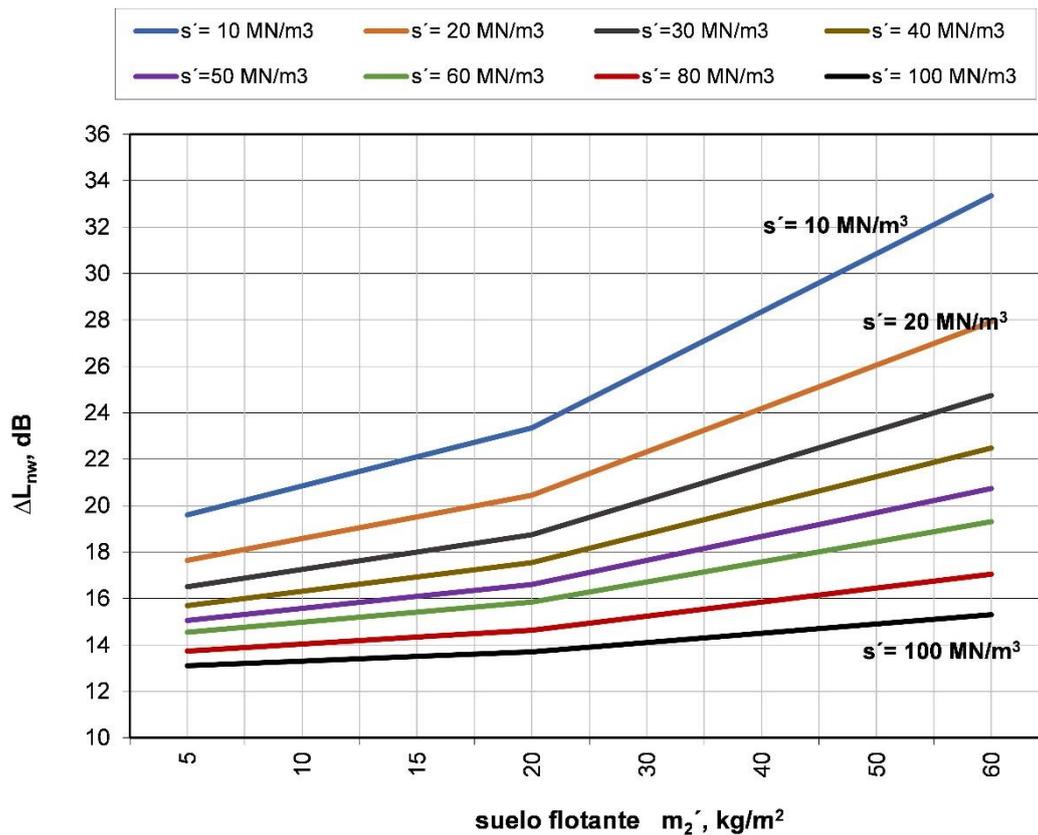


Figura 2. Variación del nivel de presión acústica ponderado de impactos  $\Delta L_{m,w}$  de un forjado al colocar un suelo flotante en seco de masa  $m'_2$ , kg/m<sup>2</sup> en función del valor de la rigidez dinámica de la capa elástica intermedia.

## 4 Conclusiones

En el tipo de viviendas en edificios de uso residencial objeto del estudio se ha analizado en primer lugar la mejora del índice de reducción acústica aparente ponderado  $\Delta R'_w$  de una pared separadora de fábrica de una hoja de ladrillo cerámico perforado con revestimiento de yeso por las dos caras de masa por unidad de superficie  $m'_j = 160 \text{ kg/m}^2$  a la que se trasdosa directamente mediante pelladas un revestimiento de lana mineral. Se ha estudiado el efecto de la variación de la rigidez dinámica del revestimiento de la lana mineral y de la masa por unidad de superficie del yeso laminado. En los casos donde la mejora teórica del índice de reducción acústica aparente ponderado es importante, esta queda muy atenuada por las transmisiones por flancos.

Posteriormente se ha analizado para recintos superpuestos con elementos de separación horizontal la compatibilidad de la mejora simultánea del índice de reducción acústica aparente ponderado  $\Delta R'_w$  y la reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos  $\Delta L'_{nw}$  mediante la colocación de un suelo flotante en seco. Para cualquier valor de la masa por unidad de superficie del suelo flotante y un rango muy amplio de valores de la rigidez dinámica de la capa elástica intermedia se consigue una reducción del nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado al no estar prácticamente afectado por las transmisiones por flancos, esta reducción es mayor cuanto menor es el valor de la rigidez dinámica, sin embargo la mejora del aislamiento a ruido aéreo es más difícil de conseguir pues está muy afectada por las transmisiones por flancos. Para valores de la rigidez dinámica de la capa elástica intermedia menores de  $20 \text{ MN/m}^3$  se pueden conseguir pequeñas mejoras del aislamiento a ruido aéreo siempre que la masa del suelo flotante sea superior a  $15 \text{ kg/m}^2$ . Los suelos flotantes en seco que no cumplan lo anterior disminuyen el aislamiento a ruido aéreo del sistema.

## Referencias

- [1] EN ISO 12354 – 1: 2017. Building Acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms.
- [2] EN ISO 12354 – 2: 2017. Building Acoustics, Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 2: Impact sound insulation between rooms.
- [3] EN 29052-1:1992. Acoustics. Determination of dynamic stiffness. Part 1: Materials used under floating floors in dwellings.
- [4] UNE-EN ISO 10140-5:2011. Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 5: Requisitos para instalaciones y equipos de ensayo. (ISO 10140-5:2010)
- [5] DB-HR. Protección frente al ruido. Código Técnico de la Edificación. RD 1371/2007.
- [6] Díaz, C y Pedrero, A. Field measurements of airborne and impact sound insulation between rooms, one on top the other, with beam and pot floor structures. *Acta Acustica united with Acustica*, Vol 90, 2004, pp. 982-986.