

## DETECCIÓN DE FALLAS EN AISLAMIENTO ENTRE AULAS DOCENTES MEDIANTE ENSAYOS CON TÉCNICAS DE INTENSIMETRÍA

**Jesús Calabria Ordóñez, Carlos G. Martín Cruzado, Salvador Luna Ramírez, Alfonso D. Ortega Valle, Cortinat Sánchez, Raquel**

jesus@genuix.es, carlos@genuix.es, sluna@ic.uma.es, alfonso@genuix.es, raquel.cortinat.sanchez@acciona.com

### Resumen

La metodología clásica de aislamiento entre recintos basada en la norma UNE EN ISO 140-4 cuantifica de forma global el aislamiento entre dos recintos. Sin embargo, no da información detallada acerca de las vías de transmisión preferentes, dificultando el diseño de soluciones eficientes ante posibles fallos de aislamiento.

En esta comunicación se presentan los resultados obtenidos en ensayos de aislamiento acústico aplicando la tecnología de intensimetría acústica y siguiendo la norma UNE EN ISO 15185-2 [2]. Los sistemas constructivos ensayados corresponden al paramento de separación vertical entre aulas contiguas de la facultad de Filosofía y Psicología de la Universidad de Sevilla. Los resultados muestran cómo la intensimetría permite visualizar claramente las fugas de sonido entre recintos, permitiendo proponer soluciones muy específicas a cada par de recintos ensayados.

**Palabras-clave:** aislamiento, intensimetría, soluciones, aulas

### Abstract

The classical methodology of isolation between enclosures based in the UNE EN ISO 140-4 quantifies the total isolation between two rooms. However, this methodology does not provide enough information about the preferred ways of transmission, so the design of solid solutions is not possible or inefficient.

The aim of this paper is to show the results of acoustic insulation tests obtained with the application of intensimetry technology, according to UNE EN ISO 15185-2 standard [2]. Measurements were carried out on the vertical face separation between contiguous classrooms in the Faculty of Philosophy and Psychology of the University of Seville. These intensity measurements allow knowing the direction where the sound comes from, thus doing the detection and later correction of acoustic bridges more efficient.

**Keywords:** insulation, intensimetry, solution, class-room

**PACS no. 43.55.Ti**

## 1 Introducción

El presente documento se ubica dentro del convenio de colaboración entre la empresa ACCIONA Infraestructuras S.A. y el organismo de investigación Universidad de Málaga, en el marco del Fondo Tecnológico, proyecto integrado “Rehabilitación energética de edificios docentes en Andalucía (Acrónimo: REDUCA)” Financiado con Fondos FEDER.

El objetivo del presente documento es presentar los resultados obtenidos tras los ensayos de aislamiento acústico, utilizando intensidad sonora, a los que se han sometido algunos de los sistemas constructivos de la facultad de Filosofía y Psicología de la Universidad de Sevilla. Posterior a las medidas, se presentan algunas propuestas para solventar las deficiencias que a priori conocemos que existen en el aislamiento acústico entre aulas colindantes.

## 2 Procedimiento de ensayo

### 2.1 Parámetros de ensayo

En la medición de aislamiento acústico utilizando intensidad sonora se presenta para cada una de las bandas en tercio de octava el resultado obtenido para estos parámetros [2]:

- Índice de reducción sonora aparente por intsimetría,  $R'_I$ :

$$R'_I = \left[ L_{p1} - 6 + 10 \log \left( \frac{S}{S_o} \right) \right] - \left[ \bar{L}_{1n} + 10 \log \left( \frac{S_M}{S_o} \right) \right] \quad (1)$$

donde el primer elemento de la ecuación corresponde a la potencia sonora incidente en el recinto emisor y el segundo elemento corresponde a la potencia sonora radiada por el(los) elemento(s) de construcción contenido(s) dentro del volumen de medición en el recinto receptor, y

- $L_{p1}$  es el nivel de presión sonora medio en el recinto emisor en decibelios;
- $S$  es el área del elemento de separación sometido a ensayo en metros cuadrados, o, en el caso de recintos escalonados, esa parte del área común al recinto emisor y receptor;
- $\bar{L}_{1n}$  es el nivel de intensidad sonora normal medio sobre la(s) superficie(s) de medición en el recinto receptor, en decibelios;
- $S_M$  es el área total de la(s) superficie(s) de medición en metros cuadrados;
- $S_o$  Unidad de superficie de referencia ( $1m^2$ )

- Índice modificado de reducción sonora aparente por intsimetría,  $R'_{Im}$ :

$$R'_{Im} = R'_I + K_c \quad (2)$$

Para los propósitos de esta parte de la Norma ISO 15186-2, se deben utilizar unos valores definidos de  $K_c$ . Suponiendo que las mediciones de acuerdo con la Norma ISO 140 se han realizado en un recinto receptor bien definido, el valor del parámetro es:

$$K_c = 10 \log \left( 1 + \frac{S_{b2} \lambda}{8V_2} \right) \quad (3)$$

donde

- $S_{b2}$  es el área de todas las superficies límite en el recinto receptor;
- $V_2$  es el volumen del recinto receptor;
- $\lambda$  es la longitud de onda de la frecuencia central de la banda

- **Indicador de presión-intensidad de la superficie,  $F_{pIn}$ :**

Consiste en la diferencia, en decibelios, entre el nivel de presión sonora,  $L_p$ , y el nivel de intensidad sonora normal,  $L_{In}$ , en la superficie de medición, ambos promediados en el tiempo y en la superficie, expresada por:

$$F_{pIn} = \bar{L}_p - \bar{L}_{In} \quad (4)$$

donde

$$\bar{L}_p = 10 \log \left( \frac{1}{S_M} \sum_{i=1}^N S_{Mi} 10^{0.1 \bar{L}_{pi}} \right) - \bar{L}_{In} \quad (5)$$

y

$$\bar{L}_{In} = 10 \log \left( \frac{1}{S_M} \sum_{i=1}^N \frac{S_{Mi} \bar{I}_{ni}}{I_o} \right) \quad (6)$$

donde

- $L_{pi}$  es el nivel de presión sonora promediado en el tiempo y en la superficie, medido en la  $i$ -ésima sub-área;
- $I_{ni}$  es la intensidad normal algébrica promediada en el tiempo y en la superficie, medida en la  $i$ -ésima sub-área, con las  $N$  sub-áreas sumando un área total de  $S_M$

$$S_M = \sum_{i=1}^N S_{Mi} \quad (7)$$

- **Índice de intensidad de presión-residual,  $\delta_{pIo}$ :**

Diferencia, en decibelios, entre el nivel de presión sonora indicado,  $L_p$ , y el nivel de intensidad sonora indicado,  $L_I$ , cuando la sonda de intensidad está colocada y orientada en un campo sonoro tal que la intensidad sonora es cero.

$$\delta_{plo} = (L_p - L_{I\delta}) \quad (8)$$

donde  $L_{I\delta}$  es el nivel de intensidad residual y viene dado por

$$L_{I\delta} = 10 \log \frac{|I_\delta|}{I_o} \quad (9)$$

- **Clasificación de la superficie de medición**

Un entorno se considera satisfactorio si cumple con el siguiente criterio

$$F_{pIn} < \delta_{plo} - 7 \text{ dB} \quad (10)$$

para la muestra de ensayo reflectante y para cada banda de frecuencias de tercio de octava. Dicha criterio busca que el entorno de medida tenga unas condiciones sensiblemente mejores (intensidad sobre ruido ambiente) respecto al propio error de medida del equipo.

Si la intensidad sonora normal media es negativa, o si el indicador de presión-intensidad de la superficie,  $F_{pIn}$ , no cumple con (10), entonces ha de mejorarse el entorno de medición. Una primera medida de mejor consiste en aumentar la distancia de medición entre 5 cm y 10 cm. Si aun así sigue incumpléndose (10), se añade material de absorción acústica en el recinto receptor.

Las fuentes de ruido perturbadoras que están presentes durante la realización de mediciones *in situ* pueden crear condiciones de medición inaceptables. Este tipo de fuentes incluye superficies laterales que radian en el recinto receptor. Puede ser necesario suprimir o apantallar estas fuentes si se tiene que alcanzar un entorno de medición adecuado.

## 2.2 Recintos de ensayo

En este apartado se describirán de forma sistemática las características arquitectónicas de los recintos escogidos como emisor y receptor, así como el elemento de construcción sometido a ensayo en cada caso [1].

Recinto emisor: La sala emisora es el aula 6 de la facultad de psicología de la Universidad de Sevilla, situada en la planta baja del edificio. El recinto tiene un volumen aproximado de 422 m<sup>3</sup>, con una capacidad aproximada para 60 alumnos.

Recinto receptor: El aula 7, es el recinto receptor en este caso. Esta aula tiene un volumen aproximado de 422 m<sup>3</sup>, con una capacidad aproximada para 60 alumnos.

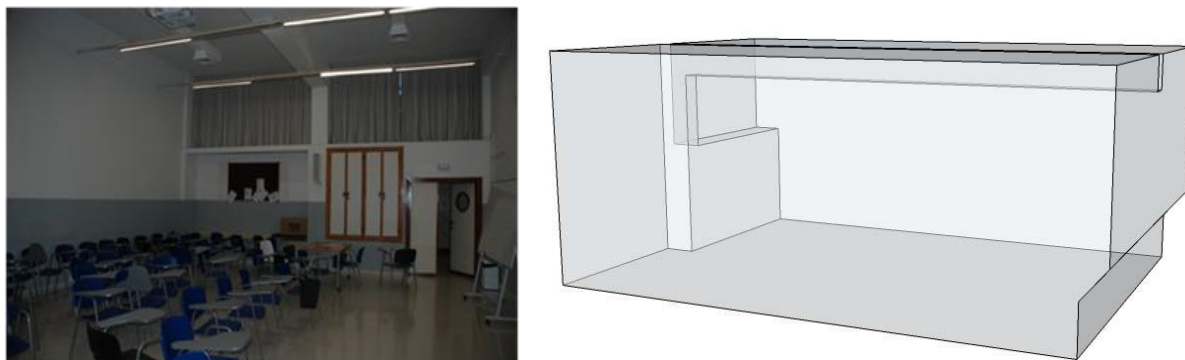


Figura 1 – Fotografía y simplificación geométrica del aula 6.

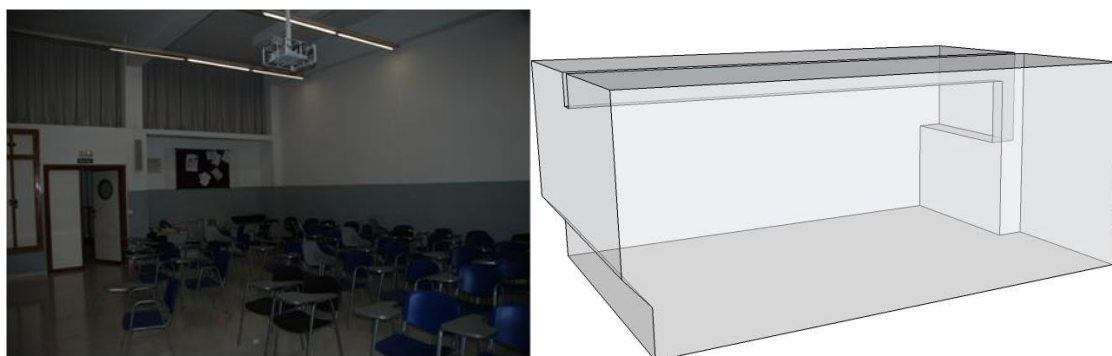


Figura 2 – Fotografía y simplificación geométrica del aula 7.

*Superficie de separación:* El elemento constructivo que divide ambos recintos es una citara de ladrillo hueco doble de 11,5 cm de espesor tomado con mortero 1:6. La superficie de separación entre ambos recintos es exactamente la del elemento que divide ambas aulas  $56,19 \text{ m}^2$ . Se ha mostrado en la Figura 3 el elemento separador extraído de la simplificación geométrica realizada del volumen que encierra el aula 7.

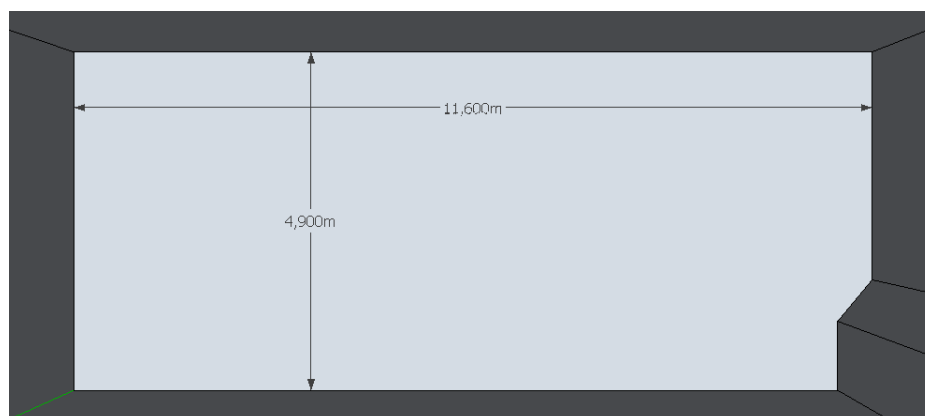


Figura 3 - Elemento separador. Vista desde aula 7.

### 2.3 Metodología de medición

El procedimiento de ensayo seguido es el descrito en la Norma UNE EN ISO 15186-2 [2]. A continuación se detallan los puntos más significativos de la metodología seguida.

**Recinto emisor:** Se colocaron dos fuentes omnidireccionales del mismo tipo, siendo excitadas con el mismo nivel y mediante señales de ruido rosa no correlacionadas entre sí. Se realizaron medidas en cinco posiciones fijas diferentes distribuidas de uniformemente a lo largo de todo el espacio útil del recinto emisor para obtener los niveles de presión sonora.

**Recinto receptor:** Siendo el elemento sometido a ensayo una superficie completa del recinto, una pared de separación, la superficie de medición es un plano paralelo a la pared. Dadas las grandes dimensiones del mismo, se seleccionó la distancia de medición mayor permitida por la Norma [2], 0,3 metros, véase **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se empleó el procedimiento de medida mediante posiciones discretas, para lo cual se construyó un trípode que permita alcanzar la altura máxima (4,8 m) y se marcaron posiciones en el suelo mediante cinta de color cada 0,3 m. Gracias a esta metodología, el proceso de adquisición de datos se hizo de forma muy sistemática y precisa. En la Figura 4 se muestra la posición de una de las medidas recogidas. Con el objeto de evitar anomalías en la medida de nivel/intensidad recibido debidas a posibles variaciones de nivel de emisión a lo largo del ensayo, se repite la medición en varios de los puntos en la rejilla en distintos momentos a lo largo del ensayo. Estos puntos fueron escogidos aleatoriamente.

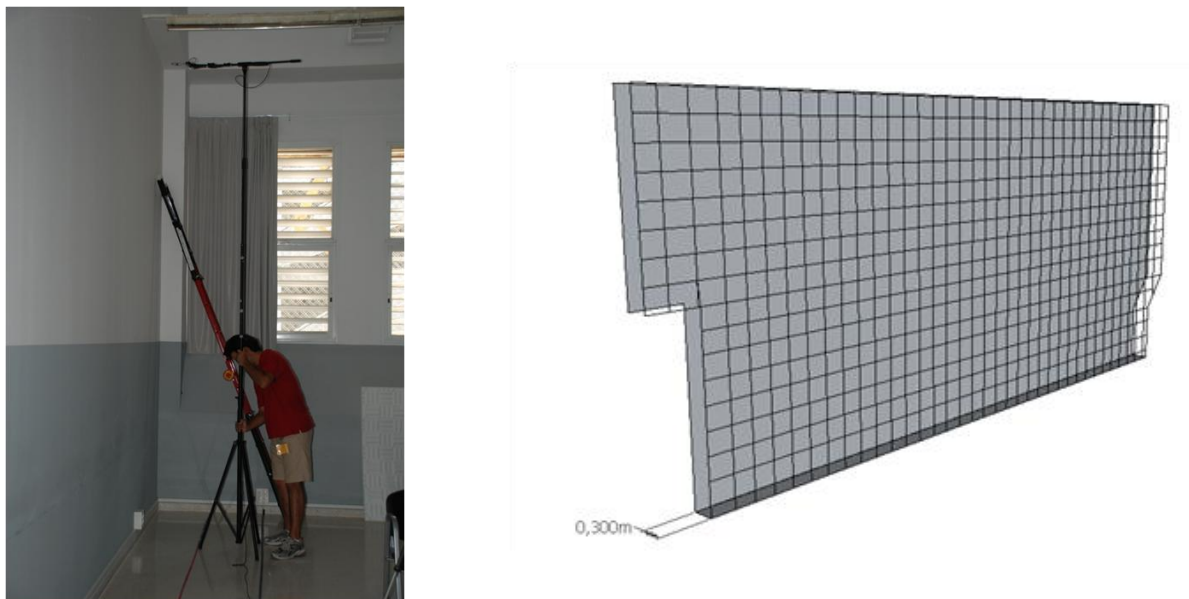


Figura 4 – Elemento separador (fotografía y rejilla de mediciones)

### 2.4 Consideraciones previas

Con el fin de conseguir un entorno de medición lo más satisfactorio posible, en base al cumplimiento de (10) se aumentó la distancia de medición hasta el límite permitido por la Norma (0,3 m) y además, se añadió material con un alto índice de absorción acústica en el interior del recinto escogido como receptor.

La caracterización de las nuevas condiciones de la sala se realizó midiendo la respuesta al impulso a través de la generación de una señal sinusoidal con barrido en frecuencia. Tanto la generación de la señal de excitación como la captación (mediante micrófonos omnidireccionales) y procesado posterior se realizaron con el software específico EASERA [3].

Además, para controlar las transmisiones laterales indeseadas que pudieran contaminar el resultado de la media, se apantallaron ambos laterales empleando el mismo material absorbente que en el resto del recinto, siguiendo la recomendación del Anexo C de la UNE EN ISO 15186-2.

A continuación, en la Tabla 1, se mostrarán las medidas del tiempo de reverberación en condiciones iniciales (primera fila) y tras la adición de absorbente (segunda fila).

Tabla 1 – Tiempo de reverberación. Condiciones iniciales vs Tratamiento absorbente.

Frecuencia (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
$TR_{cond. Inic.}$ (s)	2.6	2.5	2.3	2.1	1.9	1.8
$TR_{abs}$ (s)	1.4	1.3	1.1	1.0	0.9	0.8

### 3 Resultados, análisis y estimación de mejora

Este apartado está dedicado a la presentación de los resultados obtenidos tras las mediciones de aislamiento acústico por intensimetría. Se mostrarán los parámetros de ensayo definidos en el apartado 2.1, así como mapas de intensidad acústica.

En la Tabla 2 se recogen los valores obtenidos en este ensayo con el fin de evaluar el aislamiento acústico ( $R'_I$  y  $R'_{Im}$ ) así como el indicador de presión intensidad de superficie,  $F_{pin}$  y el índice de intensidad de presión residual,  $\delta_{p10}$ , en función de la frecuencia.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se ha representado mediante un mapa de colores el nivel de intensidad recibido,  $R'_I$ , en cada una de las posiciones del paramento estudiado. Se muestran los valores obtenidos en las bandas de 250 Hz, 500 Hz, 1kHz y 2kHz por ser aquellas en las que se localiza el rango frecuencial de la voz humana.

Es necesario destacar que aunque la representación del mapa de color se ha realizado sobre un rectángulo, el paramento estudiado no tiene exactamente esa forma, Figura 3. Esta es la razón de la existencia de zonas oscuras en el margen izquierdo y derecho de la figura, cuyo valor no es significativo.

A la vista de los resultados se pueden observar dos grandes características. En primer lugar, la diferencia entre los valores obtenidos en los diferentes rangos frecuenciales. Mientras que en la banda de 250 Hz el valor que se recoge de manera uniforme en todo el paramento está en torno a 45 dB, se puede apreciar cómo en la banda de 1kHz los colores representados son más fríos, identificando valores más bajos de intensidad sonora, alrededor de 35 dB.

En segundo lugar, a partir de la representación por mapa de colores se identifican fácilmente los puentes acústicos, puntos por los cuales atraviesa el sonido sin encontrar apenas oposición. Destacar

que estos puentes se localizan en los agujeros causados sobre el paramento para la instalación de las luminarias. Además se intuyen deficiencias en el sellado de la parte inferior del paramento, aunque de menor relevancia.

Tabla 2 – Valores medidos entre aula 6 y aula 7

Frecuencia [Hz]	Parámetros			
	$R'_I$ [dB]	$R'_{Im}$ [dB]	$\delta_{p10}$ [dB]	$F_{pin}$ [dB]
100	28,5	29,9	8,9	9,8
125	36,8	38,0	11,2	10,4
160	40,9	41,9	12,7	10,8
200	44,8	45,6	13,7	11,0
250	46,2	46,8	14,2	9,1
315	46,9	47,4	14,4	8,6
400	51,2	51,6	14,4	8,8
500	53,2	53,5	14,7	10,3
630	51,6	51,9	15,0	10,6
800	49,0	49,2	14,9	9,8
1000	48,9	49,0	15,0	9,1
1250	48,0	48,2	15,0	8,4
1600	46,7	46,8	15,1	9,3
2000	45,9	45,9	15,3	9,4
2500	45,1	45,2	15,6	9,1
3150	45,1	45,1	15,7	8,7

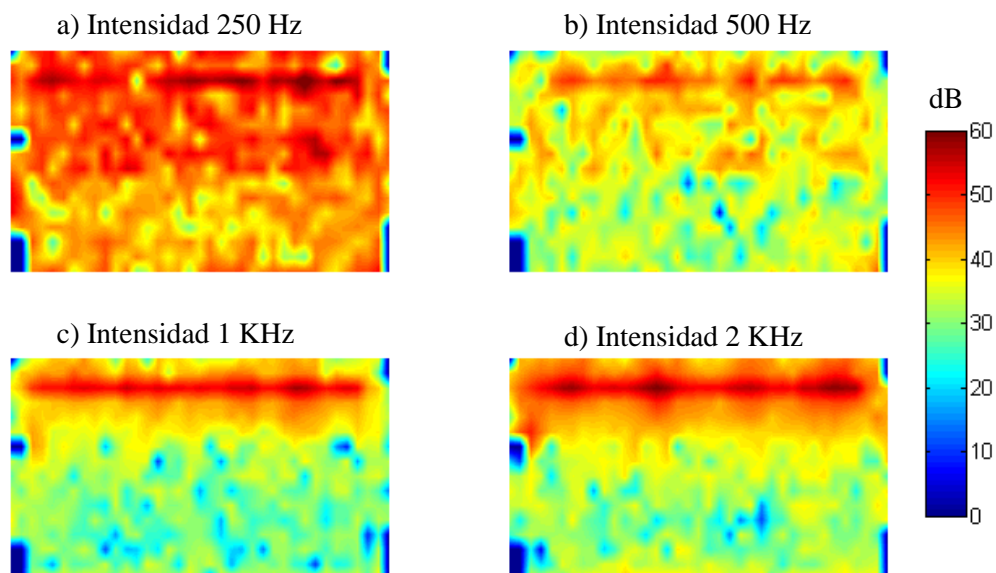


Figura 5 – Colorimetría de intensidad sonora,  $R'_I$ .



Con todo esto, se puede concluir que el aislamiento del paramento es menos efectivo cuanto menor es la frecuencia con la que se excita. Además se han localizado diferentes puentes acústicos debido a una mala resolución respecto al sistema de iluminación preexistente en el aula.

### 3.1 Análisis de resultados

En la Tabla 3 se han recogido los valores correspondientes a las medidas de aislamiento a ruido aéreo entre recintos, según Norma ISO 140-4, realizadas en fases anteriores del citado proyecto REDUCA.

Tabla 3 – Aislamiento a ruido aéreo según Norma 140-4.

Emisor	Área compartida	Receptor	Aislamiento acústico a ruido aéreo [dBA]		Exigencia
Aula 6	54,4 m <sup>2</sup>	Aula 7	D <sub>nT,A</sub>	43	≥ 50

En la Tabla 4 se muestra el valor del índice de reducción acústica modificado por intensimetría,  $R'_{I,m,W}$  obtenido en este caso.

Tabla 4 – Aislamiento a ruidos aéreo según Norma 15186-2.

Emisor	Área compartida	Receptor	Aislamiento acústico a ruido aéreo			
Aula 6	56,2 m <sup>2</sup>	Aula 7	$R'_{I,m,W}$ [dB]	47	$R'_{I,m,W,A}$ [dBA]	45

Comparando los resultados obtenidos con los distintos métodos se observa que el índice aislamiento, estudiado con el método de intensimetría, del elemento separador es mayor que el obtenido mediante el método tradicional de la Norma 140-4. De lo que se puede deducir que existen otros caminos, distintos al camino directo, por donde viaja el sonido desde el recinto emisor al receptor, bajando el valor global del aislamiento frente al valor del camino directo.

Por otra parte, con el fin de valorar la importancia de los puentes acústicos existentes en el paramento estudiado, en la Figura 6 se representan los valores del índice de reducción sonora aparente por intensidad,  $R'_I$ , en diferentes franjas horizontales del elemento separador y superpuestas a la curva obtenida para el aislamiento global del paramento (azul grueso). La franja 1 corresponde a aquella donde se localizan los puentes acústicos debido a la instalación de luminarias. Las franjas 2 y 3 se corresponden a las medidas tomadas a lo largo de todo el paramento a una altura de 2.25 m y 1.35m del suelo, respectivamente.

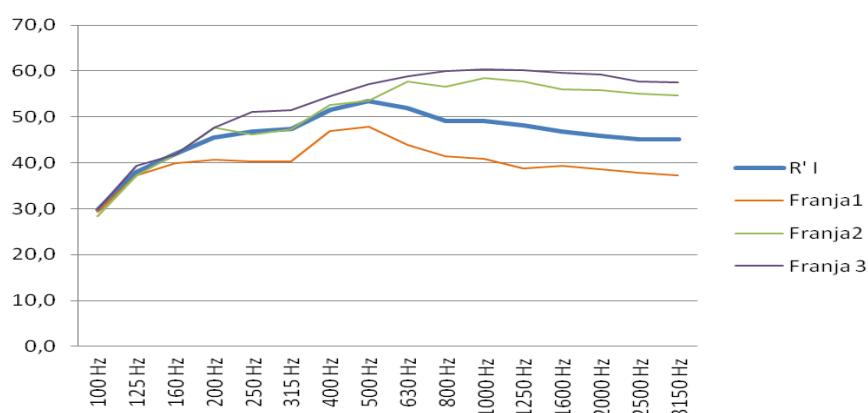


Figura 6 - Índice de reducción sonora aparente por intensimetría. Por franjas.

A la vista de los resultados se puede cuantificar el deterioro que ocasionan los puentes acústicos. El valor global del aislamiento acústico se ve altamente perjudicado por la presencia de esas fugas. Se observa una diferencia, en torno a 10 dB, entre la franja dónde se localizan los agujeros y las que corresponden a otras zonas del elemento sometido a ensayo.

### 3.2 Estimación de mejora

Con intención de valorar la influencia de los puentes acústicos frente al aislamiento global del paramento se realiza un estudio teórico previo basado en el análisis mediante ecuaciones, del aislamiento de paredes mixtas [6], combinado con los datos extraídos de la medición realizada con la sonda intensiométrica.

La ecuación que define el aislamiento global,  $R_g$ , de un paramento heterogéneo en función del aislamiento de cada uno de los sub-paramentos homogéneos que lo componen es:

$$R_g = 10 \log \frac{\sum S_i}{\sum S_i \cdot 10^{\frac{-R_i}{10}}} \quad (11)$$

siendo:

$S_i$  El área de la pared homogénea  $i$  [ $m^2$ ]

$R_i$  El aislamiento a ruido aéreo del sub-paramento homogéneo  $i$  [dB]

En el caso que nos ocupa el paramento heterogéneo lo componen, una pared ciega, de aislamiento  $R_c$  y superficie  $S_c$ , y unos puentes acústicos, de aislamiento  $R_p$  y superficie  $S_p$ , por lo que el aislamiento acústico efectivo vendrá dado por:

$$R_g = 10 \log \frac{S_c + S_p}{S_c \cdot 10^{\frac{-R_c}{10}} + S_p \cdot 10^{\frac{-R_p}{10}}} \quad (12)$$

Se ha declarado zona libre de influencia fugas al área del elemento ensayado que se encuentra por debajo de la altura de 2.85 m. Aplicando el método descrito en (12), se ha obtenido el índice de reducción acústica aparente por intensimetría de la zona libre de influencias de fugas acústicas,  $R_c$ , con el fin de caracterizar el paramento ciego.

Se aplicará la ecuación que describe el cálculo de la diferencia de niveles estandarizada, ponderado A,  $D_{nT,A}$ , utilizada para recintos interiores

$$D_{nT,A} = R'_A + 10 \log \left( \frac{0.32 \cdot V}{S_s} \right) \quad (13)$$

siendo:

$V$  volumen del recinto receptor, [ $m^3$ ]

$S_s$  área compartida del elemento de separación, [ $m^2$ ]

$R'_A$  índice global de reducción acústica aparente, ponderado A, [dBA]

En la Tabla 5 se resume el valor obtenido para el aislamiento a ruido aéreo del fragmento de superficie ciega, libre de la influencia de las fugas acústicas detectadas. Comentar que el cálculo del aislamiento de la superficie ciega se ha realizado en un área denominada libre de influencia de puentes acústicos, superficie del paramento hasta una altura máxima de 2,85 metros. Por lo que se extrapolarán los resultados obtenido a la superficie completa del paramento, salvo los orificios que provocan los puentes acústicos.

Tabla 5 - Aislamiento a ruidos aéreo de superficies homogéneas

	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Aislamiento a ruido aéreo [dBA]
Superficie ciega	56.198	$R'_{I_{m,W,A}} = 49$
Puentes acústicos	$(0.02 \times 0.02) \times 4 = 0.0016$	$R'_{I_{m,W,A}} = 0$

Aplicando (12) y los datos de la Tabla 5 se estima el valor del aislamiento global del paramento ensayado:

$$R_g = 10 \log \frac{56.198 + 0.0016}{56.198 \cdot 10^{\frac{-49}{10}} + 0.0016 \cdot 10^{\frac{-0}{10}}} = 43.9 \text{ [dBA]} \quad (14)$$

De los resultados obtenidos se destaca la gran influencia que ejercen las fugas acústicas sobre el valor del aislamiento global del paramento estudiado, pues teniendo una superficie total de 0,0016 m<sup>2</sup> reducen en 5 dB el valor del aislamiento global del paramento. Comentar además que en las medidas in situ se obtuvieron 45 dBA en el ensayo de aislamiento a ruido aéreo por intensimetría para este paramento.

Aplicando en este punto (13) se obtendrá la diferencias de niveles estandarizada del elemento separador extrapolando los valores obtenidos en la superficie ciega libre de influencia de las fugas al total del paramento, suponiendo que se han eliminado los puentes acústicos, con el fin de estudiar si cumple con las exigencias del Código Técnico.

$$D_{nT,A} = 49 + 10 \log \left( \frac{0.32 \cdot 422}{56.6} \right) = 52.8 \text{ [dBA]} \quad (15)$$

A la vista del resultado obtenido, se puede decir que cumpliría con las exigencias del Código Técnico,  $D_{nT,A} > 50 \text{ dBA}$  [6]

## 4 Conclusiones

En este documento se ha expuesto la metodología seguida para realizar un ensayo de aislamiento acústico basado en la técnica de intensimetría descrita en la Norma UNE EN ISO 15186-2. Además se ha estimado la mejora en las condiciones de aislamiento por el cierre de las fugas acústicas detectadas entre aulas contiguas de las Facultad de Filosofía y Psicología de la Universidad de Sevilla.

En las fases iniciales del proyecto, se detectaron deficiencias en el aislamiento acústico causadas principalmente por la presencia de puentes acústicos por la instalación del sistema de iluminación de

las aulas. Por tanto, el primer objetivo se centró en eliminar esas fugas, consiguiendo con esto una diferencia de niveles entre recintos adyacentes mayor al mínimo exigido por el Código Técnico de la Edificación ( $D_{nT,A} > 50$  dBA).

Además se propone la renovación de los cerramientos de entrada de las diferentes aulas, ya que se detectaron caminos secundarios a través de los cuales viaja el sonido perjudicando el aislamiento bruto entre aulas colindantes.

Por último, si con las actuaciones anteriormente comentadas no se cumplen las exigencias, la solución pasa por mejorar el índice de reducción del elemento separador, lo que implica aumentar su masa por unidad de superficie, previsiblemente con la incorporación de un elemento de entramado autoportante basado en placas de yeso laminado [5]. Aunque a la vista del cálculo teórico expuesto se entiende que no será necesario.

## Referencias

- [1] ACCIONA Infraestructuras. *Cumplimiento del DB-HR de la Facultad de Filosofía y Psicología, Universidad de Sevilla*. Evaluación de los niveles de aislamiento y tiempo de reverberación. Medidas in situ.
- [2] UNE-EN-ISO 15186-2:2011: Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción utilizando intensidad sonora. Parte 2 Medición in situ, Marzo 2011
- [3] Software Design Ahnert GmbH, Manual de EASERA v.1.1, Berlin, 2006.
- [4] Nijs, L.; Rychtáriková, M. Calculating the optimum reverberation time and absorption coefficient for good speech intelligibility in classroom design using U50. *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 97, 2011, pp. 93 – 102.
- [5] Chisca, B.; Feijoo, S.; Álvarez, J.M. Condiciones acústicas en aulas de la Universidad de Santiago de Compostela. *Tecniacústica*, Terrasa, 2005.
- [6] CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACION Documento básico HR. Protección frente al ruido. 2009