

POSIBLES PROBLEMAS ASOCIADOS A LA AMPLIACIÓN DEL RANGO DE FRECUENCIAS PARA LA EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO IN SITU

PACS 43.15

Pedersoli S.¹; Machimbarrena M.¹; Rodriguez C.³; Smith S.⁴

^{1,2,3} Dpto. Física Aplicada, ETS Arquitectura

Av. Salamanca s/n, 47014 Valladolid España

⁴ Institute for Sustainable Construction

Edinburgh Napier University, Edinburgh, UK

e-mail: ¹architecturalacoustics.ste@gmail.com ²mario@opt.uva.es

³carolarqurb@gmail.com ⁴Se.Smith@napier.ac.uk

ABSTRACT

The draft NWIP ISO 16717-1 represent the proposed replacement of the ISO 717-1 standard for the calculation of the single number ratings for airborne sound insulation in buildings. One of the main features of the proposal is that the traditional standardized noise level difference ($D_{nT,w}$) measured from 100 Hz to 3150 Hz will be replaced by a new single number rating ($D_{nT,living}$) which is calculated from 50 Hz to 5000 Hz. Although there is some agreement on the fact that the extended range could better represent buildings sound insulation, there is not a strong agreement on how these frequency bands would affect the measurements. The objective of this paper is to investigate on potential measurement problems of including lower and higher frequency bands based on a large in situ measurement database.

RESUMEN

Las normas UNE EN ISO 717 partes 1 y 2, se encuentran en proceso de revisión y en la actualidad existen propuestas alternativas por lo que respecta al cálculo de los valores globales de aislamiento a ruido aéreo e impacto. Una de las propuestas consiste en sustituir la diferencia de nivel estandarizada ponderada ($D_{nT,w}$) evaluada en el rango de frecuencias de 100 Hz a 3150 Hz por un nuevo índice ($D_{nT,living}$) calculado entre 50 Hz y 5000 Hz, análogo al existente $D_{nT,A}$. El objetivo de este trabajo es investigar sobre los posibles problemas que pueden surgir al ampliar el rango de frecuencias considerado para la evaluación del aislamiento a ruido aéreo. Los resultados se basan en un gran número de ensayos in situ.

1. INTRODUCCIÓN

En la acústica de edificios se vienen registrando desde hace unos años una serie de modificaciones normativas y otras se perfilan en un futuro cercano.

Las normas relativas a la medición del aislamiento acústico en laboratorio de la ISO 140 han sido recientemente actualizadas por medio de la nueva serie ISO 10140 [2] proporcionando mejoras respecto a la anterior. En este momento se está llevando a cabo la revisión del paquete normativo referente a la medición del aislamiento acústico "in situ" perteneciente a la misma serie [2].

Por otra parte, también la norma ISO 717 [3] se encuentra de alguna forma bajo revisión dentro del ISO/TC 43/SC 2 "Building Acoustics" que se dedica a las actividades de normalización relacionadas con la acústica arquitectónica [4]. Se están debatiendo los contenidos de la actual norma y gestando nuevas ideas. Con el objetivo de armonizar los métodos de medición de ruido a nivel internacional se está discutiendo sobre la propuesta de actualizar las existentes ISO 717 modificando los actuales métodos de cálculo de las magnitudes globales ($D_{nT,w}$, $L'_{nT,w}$ y $D_{2m,nT,w}$) por los nuevos índices $D_{nT,living}$, R_{impact} y $D_{2m,nT,traffic}$ [5] [6].

Aparte del diferente método de cálculo para la obtención de los nuevos índices, la mayor novedad que incorpora la propuesta de norma, es la ampliación del rango de frecuencias para un ensayo fijando el límite inferior en 50 Hz y el superior en 5000 Hz.

Con esta modificación las bandas de tercio de octava de frecuencia centrales de 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz a bajas frecuencias y de 4000 Hz y 5000Hz en altas frecuencias pasarían de ser un valor preferible a una obligación.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

La ampliación del rango de medición conllevará sin duda una serie de complicaciones asociadas a la dificultad de medición de las bajas y altas frecuencias y a la consecuente incidencia sobre la incertidumbre del valor final.

Este trabajo quiere aportar más luz sobre los posibles problemas que pueda acarrear la ampliación del rango de medida propuesto viendo qué impacto tendría este nuevo rango frecuencial sobre un amplio conjunto de mediciones pertenecientes a la base de datos de ensayos de aislamiento aéreo entre viviendas del marco de certificación "Robust Details – RD" del Reino Unido [7]

Se trata de un total de 3318 ensayos "in situ" efectuados entre junio 2008 y marzo 2012 por personal cualificado durante una serie de inspecciones aleatorias que se efectúan sobre edificaciones adheridas al procedimiento RD (comprometidos a adoptar soluciones constructivas pertenecientes al catálogo RD).

Los ensayos cubren una variada casuística de tipologías de paredes, superficie del elemento separador a medir y volumetría de la sala receptora, formando un compendio muy representativo de soluciones típicas en la construcción.

3. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE ERROR

En el estudio se valoran los efectos de la ampliación del rango de frecuencias sobre el cálculo del índice más empleado en España para la definición del aislamiento acústico a ruido aéreo: la diferencia de niveles estandarizada D_{nT} .

Ésta corresponde a la diferencia de niveles medidos respectivamente en el recinto emisor D corregida por un valor debido a las condiciones del recinto receptor medidas a través del tiempo de reverberación.

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}]$$

donde:

- L_1 (dB) es el nivel medio de presión sonora medido en el recinto emisor;
- L_2 (dB) es el nivel medio de presión sonora medido en el recinto receptor;
- T (s) es el tiempo de reverberación medido en el recinto receptor;
- T_0 (s) es el tiempo de reverberación de referencia de 0,5 para viviendas.

Existen por lo tanto tres magnitudes que participan en la definición del resultado: el nivel medio de presión sonora medido en el recinto emisor, el medido en el recinto receptor y el tiempo de reverberación medido en el recinto receptor.

Independientemente de las fuentes de incertidumbre de L_1 , L_2 y T que afectan al resultado del ensayo, existen aspectos prácticos de la medición que inciden aún más en el valor final porque representan la dificultad de efectuar una medida. El parámetro L_1 es seguramente el más fácil de obtener debido a su alto nivel sonoro mientras que los valores de L_2 y T son sensiblemente de más difíciles de medir.

El estudio se ha centrado precisamente en L_2 y T por ser las magnitudes más susceptibles de aumentar el error en el caso ampliar el rango de frecuencias de medida, lo cual incrementará previsiblemente el valor de la incertidumbre del correspondiente valor global.

Se ha dividido el estudio en dos partes: la primera centrada en los efectos sobre los valores del tiempo de reverberación y del ruido de fondo y la segunda sobre la incertidumbre del resultado final.

4. SELECCIÓN DE LOS DATOS PARA LA INVESTIGACIÓN

Los aspectos que hacen que un ensayo sea más fácil o difícil son diferentes dependiendo del parámetro que se mida.

El factor que más incide en la evaluación del tiempo de reverberación es el volumen de la sala receptora, mientras que la diferencia de niveles entre el nivel medio de presión sonora y el ruido de fondo medidos en el recinto receptor ($L_2 - L_f$) depende especialmente del valor de aislamiento de la pared y por tanto de su tipología.

Por lo que se refiere a la incertidumbre, siendo ésta una suma de errores debido al método de ensayo, a la cadena de medida y a los parámetros a medir, depende de un gran número de factores diferentes.

Para dar más homogeneidad a los resultados haciendo posible una comparación entre las diferentes aportaciones al error global, se ha decidido focalizar el estudio en relacionar los resultados de las mediciones con la tipología de pared ensayada. Se han elegido especialmente cuatro tipologías de paredes detalladas en la Figura 1 porque representan las tipologías más típicas de paredes pesadas (tipo A y B) y ligeras (tipo B y C) respectivamente empleadas en España y en el Reino Unido.

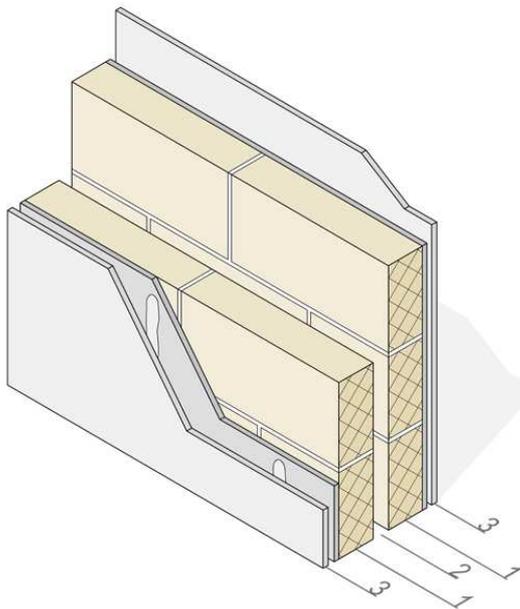
Para centrar aún más la investigación en casos de ensayos más comunes, se han seleccionado, dentro de la totalidad de 1042 ensayos disponibles, 480 mediciones efectuadas con superficies del elemento ensayado de entre 5 y 11 metros cuadrados y volúmenes de la sala receptora de entre 14 y 46 metros cúbicos.

Se han descartado de esta manera los ensayos efectuados en salas de tamaños grandes y pequeños para focalizar el estudio sobre el caso más común en acústica de edificios de habitaciones de entre 5 y 20 metros cuadrados limitando al mismo tiempo el campo de análisis a los valores que mayor número de ensayos garantizaban.

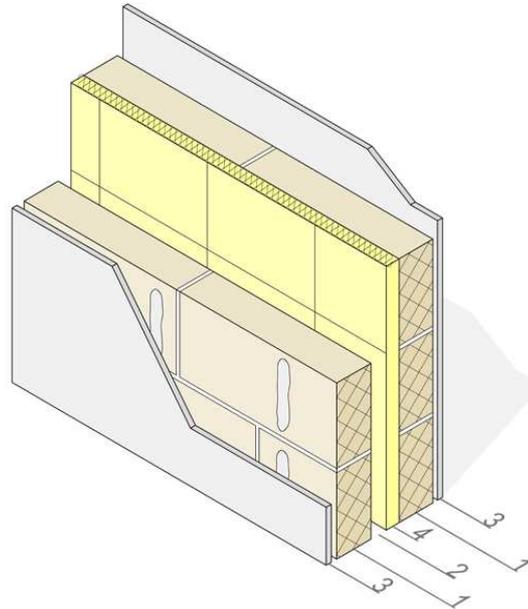
En la Tabla 1 vienen sumariados los datos referentes a los ensayos disponibles y al número de datos que finalmente se han elegido indicando los valores mínimos, máximos y promedio para cada tipología de pared estudiada.

tipo	numero ensayos			superficie (m ²)			sala receptora (m ³)			D _{nT,w} (dB)		
	total	elegidos	%	min	máx.	prom.	min	máx.	prom.	min	máx.	prom.
A	360	175	48,6%	4,8	11,1	7,8	17,0	42,5	30,4	50	70	59,7
B	341	165	48,4%	4,7	11,0	7,2	14,0	46,0	28,6	50	68	60,4
C	242	85	35,1%	5,1	10,0	7,4	19,0	38,0	28,4	54	72	63,6
D	99	55	55,6%	5,2	10,6	7,8	14,4	40,2	24,6	44	69	61,8

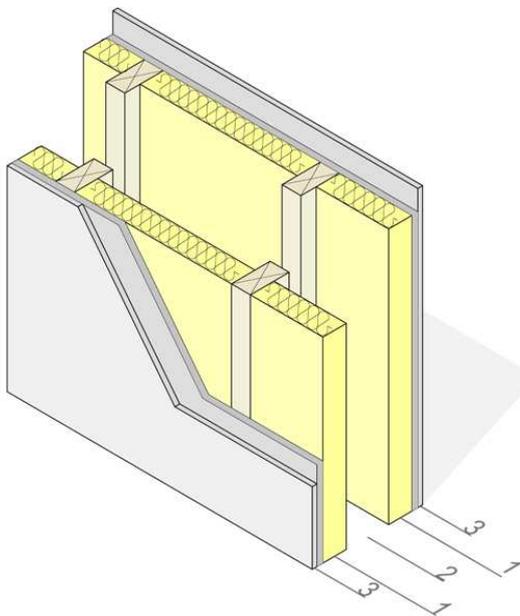
Tabla 1 – número de ensayos elegidos y sus características para cada tipología de pared



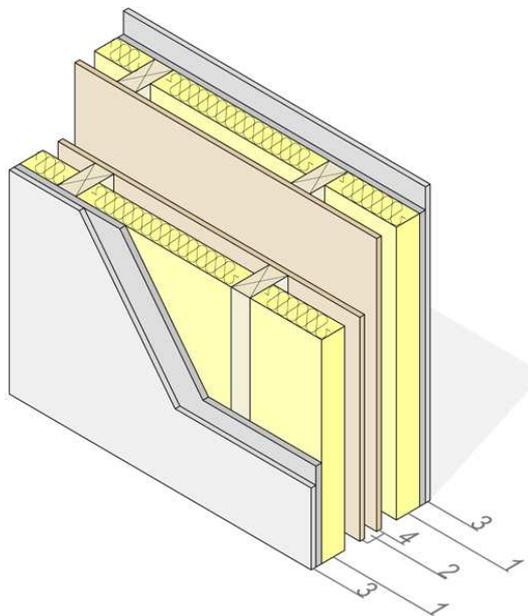
tipo A
1-bloques cerámicos (min. 100 mm)
2-camara de aire (min. 75 mm)
3-placa de yeso laminado



tipo B
1-bloques cerámicos (min. 100 mm)
2-camara de aire (min. 75 mm)
3-placa de yeso laminado
4-lana mineral (min. 35 mm)



tipo C
1-lana mineral (min. 60 mm)
2-camara de aire (min. 240 mm)
3-dos o más placas de yeso laminado



tipo D
1-lana mineral (min. 60 mm)
2-camara de aire (min. 240 mm)
3- dos o más placas de yeso laminado
4-tabla de madera (min. 9 mm)

Figura 1 - tipología de paredes empleadas en el estudio

5. MEDICIÓN DEL TIEMPO DE REVERBERACIÓN

En el estudio de las problemáticas referentes a la medición del tiempo de reverberación se han analizado los valores de cada banda de tercio de octava según dos magnitudes diferentes de error: la primera cuando la medida se clasifica como totalmente incorrecta y la segunda cuando es poco correcta. Se han considerado como medidas incorrectas todas aquellas donde el sonómetro no ha proporcionado resultado alguno porque el decaimiento del nivel sonoro no ha podido ser medido. Se han clasificado como medidas poco correctas aquellas donde el valor medido se aleja sensiblemente del valor promedio de todos los ensayos efectuados sobre la misma tipología de pared, como representado en la Figura 2. Los resultados obtenidos en estos casos y proporcionados en la Tablas 2 y 3 demuestran cómo el problema de las medidas incorrectas se concentra por debajo de 100 Hz, mientras que los valores poco correctos se generalizan a todas las frecuencias manteniendo una especial incidencia en la banda de 50 Hz.

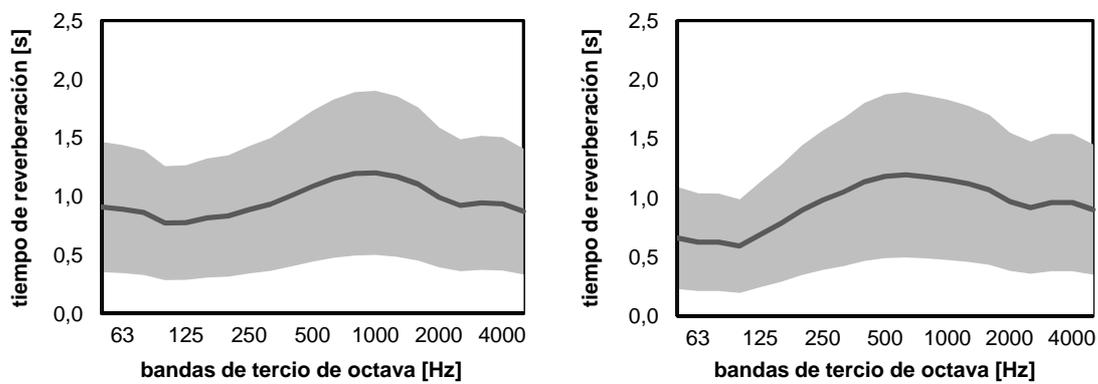


Figura 2 – T promedio (negro) y valores considerados aceptables (gris) para paredes A y D

tipo	50	63	80	100-1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
A	11,35%	2,24%	0,89%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,11%
B	10,99%	2,28%	0,35%	0,00%	0,13%	0,03%	0,05%	0,00%	0,00%	0,03%
C	15,21%	4,88%	1,46%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%
D	15,34%	4,14%	1,70%	0,02%	0,00%	0,00%	0,11%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabla 2 – casos en los cuales no se ha podido medir el tiempo de reverberación

tipo	50	63	80	100-1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
A	25,95%	14,17%	10,54%	9,69%	12,76%	10,32%	7,26%	7,48%	6,80%	5,32%
B	25,01%	13,19%	9,32%	8,77%	11,66%	8,72%	6,06%	6,00%	5,87%	4,68%
C	25,56%	12,85%	7,58%	8,68%	8,66%	6,26%	3,91%	4,24%	3,11%	2,40%
D	26,52%	12,89%	8,63%	7,62%	6,92%	5,38%	3,62%	3,73%	3,67%	2,98%

Tabla 3 – casos en los cuales el valor del tiempo de reverberación sea poco correcto

6. AFECCIÓN POR RUIDO DE FONDO

En el estudio de la posible afección del nivel sonoro medio medido en la sala receptora por sonidos ajenos al ensayo también se han analizado los valores de cada banda de tercio de octava en dos profundidades diferentes de error. Se han considerado como medidas incorrectas todas aquellas donde el nivel del ruido de fondo ha resultado mayor del nivel de L_2 . Se han clasificado como medidas poco correctas cuando la energía acústica del ruido de fondo ha resultado ser mayor o igual a la que se transmite a través de la pared ensayada ($L_f + 3\text{dB} > L_2$). Los resultados obtenidos en estos casos se proporcionan en la Tablas 4 y 5 y demuestran incidir especialmente por encima de 1250 Hz y por debajo de 80 Hz.

tipo	50	63	80	100-1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
A	9,84%	4,56%	1,63%	1,19%	6,06%	6,00%	6,45%	8,02%	12,13%	16,10%
B	9,76%	2,26%	0,40%	1,33%	9,84%	8,71%	8,63%	10,65%	15,32%	20,73%
C	8,78%	3,97%	0,71%	2,91%	12,46%	13,31%	13,46%	17,00%	20,25%	23,65%
D	4,66%	2,89%	1,61%	1,87%	11,58%	10,93%	10,13%	14,15%	17,85%	22,35%

Tabla 4 – casos en los cuales no se ha podido medir el ruido de fondo

tipo	50	63	80	100-1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
A	17,4%	8,7%	3,7%	3,06%	14,4%	14,8%	13,8%	18,0%	25,0%	34,6%
B	17,1%	6,1%	2,3%	3,81%	23,6%	22,7%	21,6%	25,6%	35,4%	45,3%
C	14,9%	6,2%	1,7%	5,86%	24,8%	24,5%	27,6%	36,0%	46,0%	54,0%
D	9,2%	3,7%	2,3%	6,07%	30,9%	29,7%	31,4%	35,0%	40,4%	46,9%

Tabla 5 – casos en los cuales no se ha podido medir el ruido de fondo correctamente

7. RESULTADOS CONJUNTOS

Debido a que en un ensayo se pueden presentar independientemente los dos problemas analizados precedentemente, se han sumado las dos aportaciones para obtener el número de veces que una banda de tercio de octava tiene que ser considerada incorrecta o poco correcta por al menos una de las dos razones. Analizando los datos presentados respectivamente en las figuras 3 y 4, se puede apreciar cómo los mayores porcentajes de error se encuentran en las bajas frecuencias por debajo de 100 Hz y en las altas frecuencias por encima de 1250 Hz. Examinando más a fondo las causas de estos errores en la Figura 5 se presentan como coparticipan las dos fuentes de error para cada banda de tercio de octava.

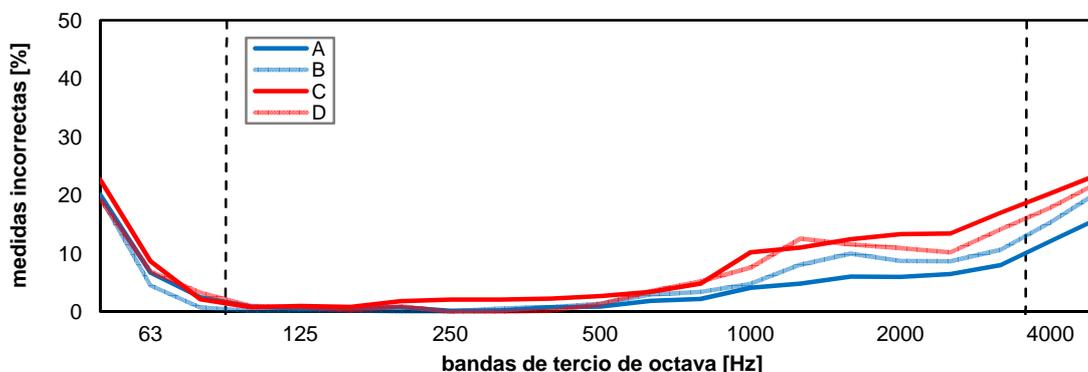


Figura 3 – casos en los cuales no se ha podido medir uno de los dos parámetros

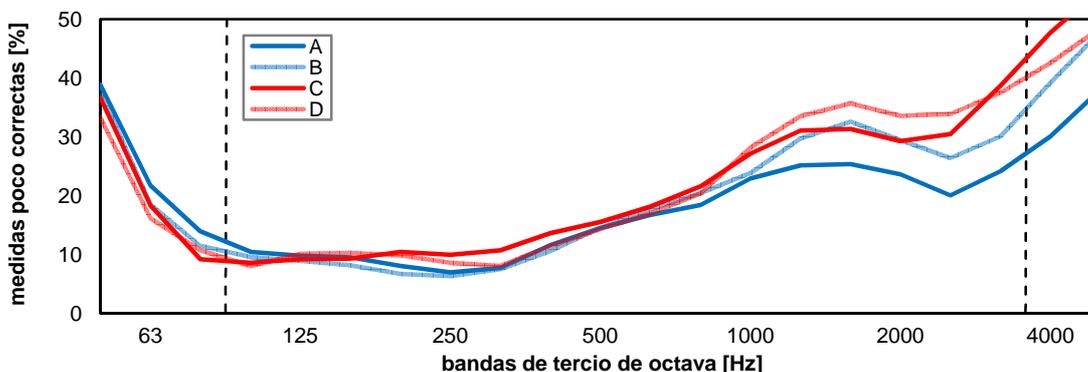


Figura 4 – casos en los cuales uno de los dos parámetros se ha medido poco correctamente

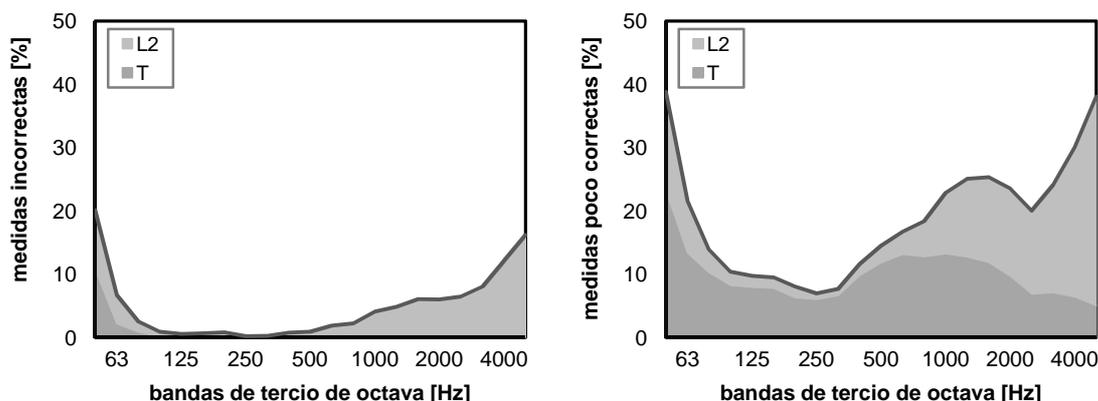


Figura 5 – causas de las mediciones incorrectas y poco correctas para la pared tipo A

8. INCERTIDUMBRE DE LA MEDIDA

El último paso del estudio ha sido investigar cuál era la incertidumbre de las mediciones empleadas y cómo afectaría el empleo de un rango de medición ampliado.

Para cada uno de los ensayos disponibles se ha calculado su incertidumbre utilizando la ISO Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM) [7].

Aunque el procedimiento empleado para este cálculo, por su amplitud, se detallará más adelante en otra comunicación de los mismos autores, se presenta un resumen de cómo se ha procedido.

Inicialmente se ha calculado el valor de la incertidumbre típica asociada a la cadena de medida (u_{sim}) como la suma de los elementos relacionados con la operativa del sonómetro obtenidos de los valores de verificación (δ_{PFE} , δ_{PFA} , δ_{LS} , δ_{RMS} , δ_{PT} , δ_{CA} , δ_{CC} , δ_{ES}) y los que están asociados con su uso (δ_{OB} , δ_{TS} , δ_{PS} , δ_{CS} , δ_{PA}).

$$u_{sim} = \delta_{PFE} + \delta_{PFA} + \delta_{LS} + \delta_{RMS} + \delta_{PT} + \delta_{CA} + \delta_{CC} + \delta_{ES} + \delta_{OB} + \delta_{TS} + \delta_{PS} + \delta_{CS} + \delta_{PA}$$

Sucesivamente se han calculado las incertidumbres típicas asociadas a las magnitudes medibles de L1, L2 y T como suma de cada una de las fuentes de incertidumbre de tipo “A” o “B” que contribuyen a la misma tal y como se indica en la GUM.

Finalmente se ha obtenido la incertidumbre típica combinada como suma de los productos entre estos valores y los diferentes coeficientes de sensibilidad.

De esta manera se ha obtenido un valor de incertidumbre para cada banda de tercio de octava de cada ensayo que ha permitido dibujar la curva de incertidumbre de cada una de las tipologías ensayadas que vienen representadas en la Figura 6.

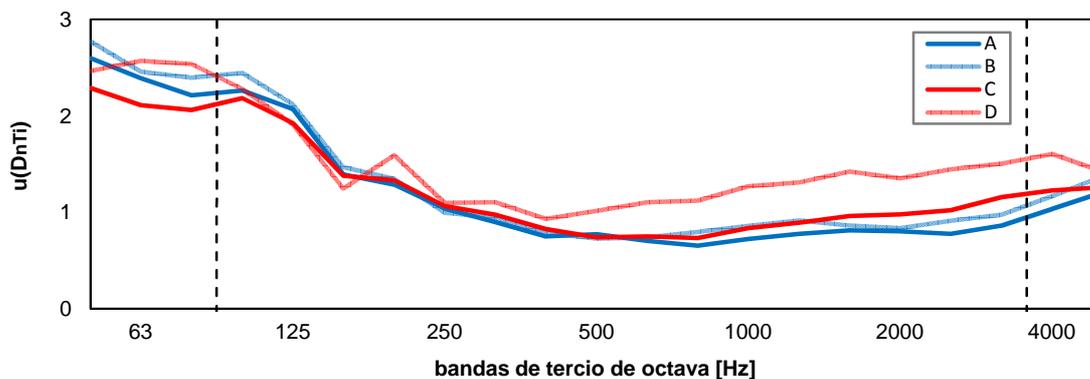


Figura 6 – valores de la incertidumbre para las diferentes tipologías de paredes

9. CONCLUSIONES

Se ha analizado una gran base de datos de ensayos “in situ” para poder perfilar los posibles problemas derivados de una ampliación del rango de frecuencias a medir en la evaluación de las magnitudes globales del aislamiento a ruido aéreo en edificios. Los resultados que arroja la investigación dan pie a formular unas preguntas que necesitarían ser tratadas más a fondo:

- existe el problema a altas frecuencias de medir niveles sonoros en la sala receptora mayores que el ruido de fondo, ¿que pasará en futuro con paredes con un aislamiento aún mayor?
- las dificultades a baja frecuencia de obtener un valor fiable del tiempo de reverberación son conocidas, ¿no sería mejor emplear un valor único para la banda de octava de 63 Hz?
- las últimas gráficas demuestran cómo la ampliación del rango de ensayo conlleva un aumento de la incertidumbre de las medidas, ¿podremos lidiar con este problema?

Con estos preámbulos surgen un par de preguntas sobre el fondo de la cuestión:

- ¿realmente las bajas y las altas frecuencias representan este gran problema para necesitar esos nuevos descriptores?
- si finalmente los valores de aislamiento se expresan con una ponderación A, ¿es necesario complicarse la vida en medir valores a 50 Hz cuando después se penalizan con 30 dB?

Para concluir, ¿estamos listos para pagar el alto precio de mediciones más difíciles y resultados con mayores incertidumbres para pasar a los nuevos descriptores?

10. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Edinburgh Napier University por haber proporcionado los datos necesarios para la realización del estudio.

11. REFERENCIAS

- [1] UNE-EN ISO 10140 “Acústica. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción - Partes 1 2 3 4 5” *International Organization for Standardization*
- [2] UNE-EN ISO 140 “Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción – Partes 4 5 7 14” *International Organization for Standardization*
- [3] UNE-EN ISO 717 “Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción – Partes 1 2” *International Organization for Standardization*
- [4] http://www.iso.org/iso/home/standards_development/list_of_iso_technical_committees/iso_technical_committee.htm?commid=48558
- [5] ISO 16717 “Acoustics. Evaluation of sound insulation spectra by single numbers – Part 1: Airborne sound insulation, Part 2: Impact sound insulation”. *International Organization for Standardization*
- [6] <http://www.robustdetails.com/>
- [7] JCGM 100:2008 “Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement” *Joint Committee for Guides in Metrology*.
- [8] ISO 12999-1 Draft – “Acoustics. Determination and Application of Measurement Uncertainties in Building Acoustics – Part 1: Sound Insulation”, *ISO/TC 43 / SC 2*.