

## FUTURO DE LA MEDIDA Y EVALUACIÓN DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO DE EDIFICIOS: ESTADO DE LA NORMATIVA EN PROCESO DE MODIFICACIÓN

PACS: 43.15.-s; 43.50.Qp; 43.50.Rq; 43.50.Sr

María Machimbarrena, Mariano Alvarez  
Dpto. Física Aplicada  
ETS Arquitectura - UVA  
Av Salamanca s/n  
47014 Valladolid  
Spain  
[mariao@opt.uva.es](mailto:mariao@opt.uva.es)

### ABSTRACT

Noise in dwellings is becoming a relevant problem in an increasingly noisy society. Often citizens are unprotected against noise aggressions and even though sound insulation legal requirements are becoming more and more demanding, this does not guarantee the acoustic comfort in our dwellings. This is the driving force for proposing alternative sound insulation measurement and evaluation procedures. The purpose of this paper is to summarize on going work being developed by ISO TC43/SC2 (building acoustics) concerning three main issues: in situ measurement of sound insulation, determination of single number quantities and corresponding uncertainty estimation (proposals for modification of existing ISO 140-4, ISO 717 and EN 20140-2 respectively)

### RESUMEN

El problema del ruido en las viviendas cobra protagonismo en una sociedad en la que el entorno es cada vez más ruidoso. El ciudadano frecuentemente está desprotegido frente a las agresiones sonoras, pues, a pesar de que la normativa es cada vez más exigente, todavía no es tal que se garantice un estado de confort acústico en las viviendas. Es precisamente este hecho el que motiva la propuesta de procedimientos alternativos de medida y evaluación del aislamiento. Se resumen en este trabajo las propuestas que se están desarrollando en el ISO TC43/SC2 (acústica en la edificación) por lo que respecta a la medida in situ de aislamiento a ruido aéreo, determinación de valores únicos y estimación de la correspondiente incertidumbre (modificaciones a las actuales normas UNE EN ISO 140-4 y UNE EN ISO 717 y EN 20140-2 respectivamente).

### INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Se puede decir que el objetivo real de esta comunicación es llamar la atención sobre la importancia que tiene el efectuar un adecuado seguimiento de las propuestas de modificación o

nueva redacción de normativa en cualquier ámbito, y en concreto en el de la acústica arquitectónica.

La redacción de nuevas normas así como las correspondientes revisiones y/o modificaciones suelen suponer cambios en diversos campos y es por ello que es muy importante divulgar, informar y recabar la opinión de tantos expertos y sectores implicados como sea posible durante el proceso de desarrollo y redacción de cualquier normativa.

En este sentido, y como secretaria del CTN 74/SC2 *Acústica de Edificios*, he tenido el privilegio de poder seguir de cerca los debates y planteamientos que inclinan la opinión de los expertos en un sentido o en otro y he considerado interesante compartirlo, señalando aquellos aspectos que en cada caso siguen siendo fuente de debate y/o pueden suponer cambios significativos en el largo plazo en nuestra propia sociedad. La mayor parte de la información que se sintetiza en este trabajo se puede encontrar publicada en distintos artículos que figuran en la bibliografía. El valor añadido que pretendo aportar es precisamente el “llamar la atención” sobre el hecho e invitar a la reflexión e investigación, pues son las únicas vías que se pueden usar para ser escuchado en el panorama internacional de normalización.

## PROPUESTA DE REVISION DE LA ISO 717, PARTES 1 Y 2

En 2008, el ISO TC43/SC2 se planteó la necesidad de revisar la normativa que regula la evaluación del aislamiento mediante valores globales ISO 717 partes 1 y 2 [1] y se asignó dicho cometido al grupo de trabajo WG18. La revisión pretendía abordar los siguientes fallos detectados en el sistema existente:

La existencia de una gran variedad de descriptores de aislamiento posibles tal y como resume la autora Birgit Rasmussen en sus artículos [2,3,4]

Los diferentes rangos de frecuencias utilizados en el mundo (ISO) para la evaluación del aislamiento en general (aéreo, impacto, fachadas)

La percepción subjetiva de la molestia no parece estar debidamente recogida por lo que se plantea definir nuevos índices que se correlacionen mejor o representen mejor la percepción subjetiva de la molestia.

De forma paralela al trabajo desarrollado por ISO, en 2009 se crea un grupo de trabajo internacional, financiado por la Unión Europea, *COST TU0901 “Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions”* cuyos objetivos van más allá de los anteriormente mencionados y que colabora activamente con el correspondiente WG18.[5,6]

En el seno del WG18, se encarga a un pequeño grupo de trabajo la redacción de un borrador para la nueva propuesta (en los sucesivos New Working Item Proposal - NWIP 16717 -). Los primeros artículos accesibles a expertos que no pertenezcan al WG18 aparecen en 2011 publicados en *Acta Acustica* [7,8]. En ellos se presentan las nuevas propuestas del NWIP 16717 y es precisamente a partir de ese momento cuando se inicia un debate más amplio a nivel internacional, pues la información trasciende al WG18 y pasa a ser del dominio público.

Los puntos más novedosos y por tanto más delicados del NWIP 16717 son los siguientes:

- Eliminar el procedimiento de cálculo mediante comparación con una curva de referencia y mantener sólo el procedimiento de cálculo mediante una suma energética ponderada de acuerdo a un espectro de referencia. Se proponen tres espectros de referencia para el aislamiento a ruido aéreo: “living= ruido ambiental”, “traffic= ruido de tráfico” y “speech= conversación”. Los espectros “living” y “traffic” se corresponden con

los tradicionales “A” y “tráfico” con ligeras modificaciones para poder incluir frecuencias por debajo de los 100 Hz. Ver figura 1 y tabla 1.

- El espectro “speech” pretende ser de utilidad en aquellas situaciones en las que lo fundamental es evitar que la palabra hablada sea escuchada y entendida en un recinto contiguo, como es en el caso de oficinas, despachos de abogados, consultas de médicos... pero sin embargo a priori las demás fuentes de ruido de baja o alta frecuencia no son relevantes. El interés por este índice nace de diversas publicaciones canadienses [9,10,11] que indican la importancia de salvaguardar la privacidad de las conversaciones en determinados espacios.
- Se propone determinar el aislamiento a ruido de impacto de forma análoga al aislamiento a ruido aéreo, y por tanto se incluye un espectro de referencia a ruido de impacto. Con esta propuesta, los índices de evaluación de aislamiento a ruido de impacto se asemejarían a los utilizados ya en otros países como Estados Unidos y Canadá por ejemplo.
- Cada espectro de referencia se define en un rango de frecuencias propio, siendo lo más relevante el hecho de que en todos los casos excepto en el de la conversación, la frecuencia inferior es 50 Hz.

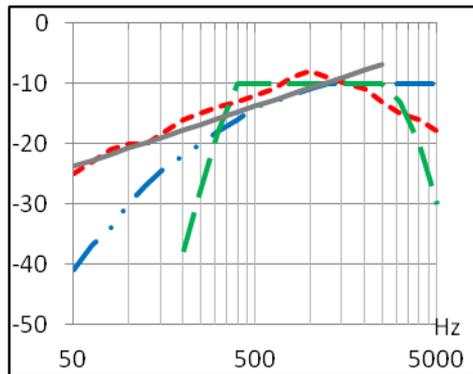


Figura 1: Espectros de referencia propuestos

Frecuencia (Hz)	Valores de espectros de referencia Li dB			
	Living	Traffic	Speech	Impact
50	-41	-25		-23,8
63	-37	-23		-22,8
80	-34	-21		-21,8
100	-30	-20		-20,8
125	-27	-20		-19,8
160	-24	-18		-18,8
200	-22	-16	-38	-17,8
250	-20	-15	-28	-16,8
315	-18	-14	-18	-15,8
400	-16	-13	-10	-14,8
500	-14	-12	-10	-13,8
630	-13	-11	-10	-12,8
800	-12	-9	-10	-11,8
1000	-11	-8	-10	-10,8
1250	-10	-9	-10	-9,8
1600	-10	-10	-10	-8,8
2000	-10	-11	-10	-7,8
2500	-10	-13	-10	-6,8
3150	-10	-15	-13	
4000	-10	-16	-20	
5000	-10	-18	-30	

Tabla 1: Espectros de referencia propuestos

$$R_{fuente} = 10 \cdot \log \left( \frac{\sum_i 10^{\frac{L_{i,fuente}}{10}}}{\sum_i 10^{\frac{(L_{i,fuente} - R_i)}{10}}} \right) dB$$

Donde el subíndice *fuente* se refiere a los valores de los espectros de referencia descritos anteriormente, es decir *living*, *traffic*, *speech* o *impact*.

$R_i$  = Es el valor del aislamiento acústico (cualquiera de los parámetros existentes) medido o calculado en bandas de tercio de octava.

$L_i$  = Es el nivel del espectro de referencia elegido en bandas de tercio de octava

$R_{fuente}$  = Es el valor único del parámetro de aislamiento correspondiente (en la ecuación, R)

Nota: esta propuesta es válida para cualquier parámetro:  $D_n$ ,  $D_{nT}$ ,  $R$ ,  $D_{2m, nT}$ ,  $L_n$ ,  $L_{nT}$  y es análoga formalmente a las existentes en el DB HR para la determinación de  $D_{nTA}$  (*living*) y  $D_{2m, nT Atr}$  (*traffic*) excepto por lo que respecta al rango de frecuencias utilizado.

A partir de este momento, se inicia una etapa de fuerte debate tanto en el seno del WG18 como en el del grupo de trabajo COST TU0901, intentando aportar evidencias con base científica para apoyar o no esta primera propuesta de trabajo. En la bibliografía se referencian algunos de los numerosos artículos [12-20] que han sido publicados a lo largo de los últimos años, en los que se exponen razones tanto para avanzar en la senda propuesta como para tomarse la modificación con más calma e ir recabando más información que avale o no la propuesta de cambio.

Por lo que respecta a la correlación de los índices propuestos con la molestia subjetiva percibida, diversos autores indican que el espectro "*living*" no es necesariamente el más adecuado para reflejar la molestia de los ruidos cotidianos ya que soluciones constructivas aparentemente iguales (mismo  $R$  *living*) son consideradas sustancialmente diferentes por el público. Para ello se basan en experiencias tipo "listening tests" (ensayos de escucha en condiciones controladas) y/o encuestas a la población [12,13,14].

También hay estudios que indican que las fuentes de ruido con componentes de baja frecuencia son las más molestas en las viviendas [15, 16], mientras que otros estudios indican que apenas se perciben dichas fuentes de ruido [17].

Sin embargo los estudios más críticos aluden al hecho de que ampliar el rango de frecuencias puede afectar de forma importante no sólo al valor del parámetro obtenido sino a la incertidumbre asociada a la medida. [17, 18, 19]. Desde el PTB no obstante, se asegura que la incertidumbre de los valores globales no se ve afectada por el hecho de aumentar el rango de frecuencias, como se comentará más adelante.

Desde el punto de vista de las limitaciones fundamentales, Sobreira et al [20] exponen la dificultad de medir el  $Tr$  a bajas frecuencias debida a la propia limitación del equipo de medida. Así mismo se ha demostrado en base a una gran base de datos de medidas in situ, la dificultad de realizar medidas aceptables tanto a bajas (limitaciones de equipo y espaciales-fundamentales) como a altas frecuencias (relación señal ruido excesivamente baja) [21].

Es evidente que no existe consenso respecto a algunos aspectos, especialmente en lo que concierne a la ampliación del rango de frecuencias. Así mismo se debate la inclusión de un nuevo índice  $R$  impact [8] cuyo fundamento físico es puesto en duda pero que sin embargo se acepta como una propuesta razonable con el fin de converger con otros países que ya utilizan este tipo de indicador y convertir el índice de aislamiento a ruido de impacto en un índice más fácilmente inteligible por personal no experto en el tema.

Dada la fuerte resistencia encontrada a aceptar el NWIP 16717, en la última reunión del WG 18 en Junio de 2013 (fecha en la que se redacta este artículo) se acordó mantener como opciones normativas tanto la posibilidad de calcular los índices desde 50 Hz como desde 100 Hz junto con una serie de recomendaciones respecto a qué indicador es preferible usar en cada caso. Se propuso igualmente que la frecuencia superior fuera 3150 Hz en todos los casos.

Por el momento se mantiene la propuesta de los tres indicadores "*living*" "*traffic*" y "*speech*" y, en todo caso, una vez aprobada la nueva normativa para determinación de valores globales, la idea es que tanto la nueva normativa como la actualmente en vigor (ISO 717) convivan durante algunos años para dar tiempo a todos los sectores implicados a adaptarse a las nuevas propuestas.

### NUEVO PROCEDIMIENTO PARA MEDIDA DE AISLAMIENTO A BAJAS FRECUENCIAS: REVISION DE DE LA ISO 140-4

Lógicamente, si los valores globales pueden incorporar los datos medidos a bajas frecuencias, será necesario poder asegurar la correcta medida del aislamiento a bajas frecuencias. Esto hizo necesario iniciar el procedimiento de revisión y adaptación de la normativa de medida de aislamiento. En concreto, ya existe una propuesta de modificación de la normativa de medida de aislamiento a ruido aéreo in situ ISO 140-4, que pasará a denominarse ISO 16283-1 una vez aprobada.

Además de los métodos de muestreo del nivel presión sonora espacial ya utilizados (micrófonos fijos, barridos automatizados o barridos manuales), esta norma incluye nuevas propuestas de escaneo manual así como un procedimiento específico diferente para el muestreo del nivel de presión sonora a las frecuencias de 50, 63 y 80 Hz en aquellas situaciones en las que el volumen de la sala sea inferior a 25 m<sup>3</sup>.

La figura 2 muestra los cuatro tipos de trayectorias de escaneo manual adicionales propuestos en el borrador ISO/CD 16283-1: Trayectoria circular, helicoidal, cilíndrica y en tres semicírculos, ya estudiadas previamente por Hopkins [22,23,24].

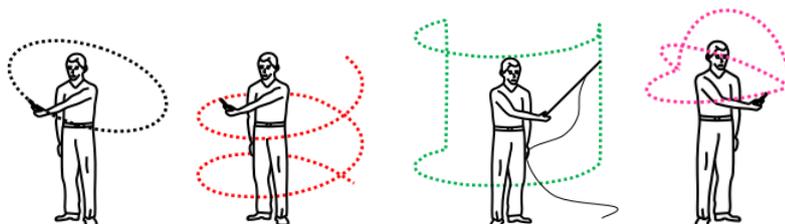
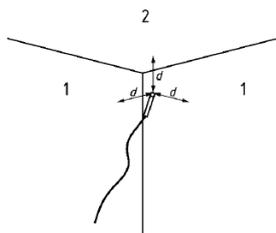


Figura 2: Diferentes tipos de trayectorias de escaneo manual de micrófonos [22]

El nivel de presión sonora promedio a bajas frecuencias se determina usando los datos obtenidos mediante alguno de los procedimientos propuestos junto con datos adicionales obtenidos mediante lo que se denomina “procedimiento específico de bajas frecuencias”.

Este procedimiento obliga a medir (en salas de V<25 m<sup>3</sup>) en las esquinas de la sala (Fig. 3) y obtener lo que se denomina un nivel de presión en la esquina (L<sub>esquina</sub>) para las banda de tercio de octava de 50, 63 y 80 Hz. El valor de L<sub>esquina</sub> depende de si se usa un solo altavoz o varios simultáneamente.



Cuando están funcionando varios altavoces simultáneamente se toma como nivel de presión acústica de la esquina el mayor de los valores medidos en cada una de los tercios de octava (50, 63, 80 Hz), independientemente de en qué esquina se ha medido.

Cuando funciona un único altavoz se determina el valor del nivel de presión acústica de cada banda de 50, 63 y 80 Hz, a partir de la ecuación:

Fig. 3: Procedimiento medida esquina

$$L_{esquina} = 10 \cdot \log \left( \frac{p_{esquina 1}^2 + p_{esquina 2}^2 + \dots + p_{esquina q}^2}{q \cdot p_0^2} \right)$$

Por último, para calcular el valor del nivel de presión sonora a bajas frecuencias, se combina el nivel de esquina  $L_{\text{esquina}}$  con el valor obtenido en el tercio de octava correspondiente por el procedimiento elegido para el resto de tercios de octava (micrófonos fijos, barridos automatizados, barridos manuales...)  $L$  mediante la expresión:

$$L_{LF} = 10 \cdot \log \left[ \frac{10^{\frac{L_{\text{esquina}}}{10}} + \left( 2 \cdot 10^{\frac{L}{10}} \right)}{3} \right]$$

En todos los casos se especifican distancias mínimas, tiempos de medidas...

Así mismo, por lo que respecta a la medida del tiempo de reverberación, la norma propone utilizar el tiempo de reverberación de la octava de 63 Hz, para las tres bandas de tercio de octava inferiores (50, 63 y 80 Hz) dada la dificultad de medida en tercios de octava [22].

Con estas modificaciones, la nueva norma pretende soslayar las dificultades encontradas hasta el momento para medir adecuadamente el nivel de presión sonora y el  $T_r$  a bajas frecuencias cuando de medidas in situ se trata.

#### **INCERTIDUMBRE DE LAS MEDIDAS DE AISLAMIENTO AL AMPLIAR EL RANGO DE FRECUENCIAS: REVISIÓN DE LA EN 20140-2**

Según lo publicado por investigadores del PTB (Physikalisch-Technische Bundesanstalt) la incertidumbre de los valores globales no se ve afectada por el hecho de incorporar en los procedimientos de cálculo los tres tercios de octava inferiores (50, 63 y 80 Hz), [25]. Sin embargo esta afirmación es discutida por otros autores [17,18,19,26].

Actualmente también se encuentra en proceso de revisión la normativa relativa a la incertidumbre asociada a las medidas de aislamiento y a los valores únicos correspondientes propuestos por la actual ISO 717 y la futura norma ISO 16717, permitiendo en este último caso el cálculo de la incertidumbre asociada a la magnitud global. La futura norma que sustituirá a la actual EN 20140-2 es el actual borrador ISO DIS 12999, que recoge la incertidumbre asociada a determinados métodos de ensayo, basándose en una amplia base de datos de medida de aislamiento incluyendo bajas frecuencias recopilada por el PTB. Los nuevos valores de incertidumbre propuestos se recogen en tablas análogas a las existentes. Sin embargo tampoco existe consenso en el sentido de cuál es el procedimiento más adecuado para estimar la incertidumbre de un ensayo de aislamiento (tablas o cálculo de incertidumbre) y es previsible que la norma sufra nuevas modificaciones antes de ser publicada.

Dado que no muchos países han recopilado datos de medida por debajo de los 100 Hz, los resultados que se presentan en la mayor parte de los estudios se corresponden con datos obtenidos en aquellos países donde o bien la medida hasta 50 Hz era preceptiva desde hace muchos años (como en algunos países escandinavos) o se realizaba la medida de forma rutinaria aunque no se utilizaran los valores en el cálculo. Lamentablemente no existen publicaciones con datos de medida por debajo de los 100 Hz en países con tipologías constructivas típicamente del sur de Europa o mediterráneos.

## POSIBLES CONSECUENCIAS DE LA AMPLIACIÓN DEL RANGO DE FRECUENCIAS EN LA MEDIDA DE AISLAMIENTO

Todo cambio debe acarrear alguna consecuencia, pues precisamente para ello se provoca el cambio. El objetivo en última instancia es que, utilizando la tipología constructiva más adecuada en cada época o lugar, se consiga proteger debidamente al usuario frente al ruido en su vivienda.

Como primera consecuencia inmediata, las tipologías “ligeras” tendrán que mejorar sus diseños para poder hacer frente a las exigencias a bajas frecuencias, mientras que en general las tipologías pesadas se verán menos afectadas por la inclusión de las bajas frecuencias en el cálculo de los valores únicos [27]. Además, para excitar adecuadamente las bajas frecuencias, es posible que muchos laboratorios, ingenierías, consultorías... tengan que adaptar sus equipos y los técnicos adoptar los nuevos procedimientos de medida. También supondrá modificar algunos procedimientos de cálculo, estimación de las incertidumbres asociadas a los ensayos y, a la postre, incluso modificación del conjunto del catálogo de elementos constructivos para incorporar los datos de las soluciones constructivas incluyendo las bandas de 80, 63 y 50 Hz.

Previsiblemente se tendrá que trabajar todavía más en eliminar las transmisiones por flancos y mejorar los suelos flotantes, pues una reciente publicación apunta a la necesidad de medir incluso hasta 20 Hz cuando de ruido de impacto se trata [16].

A pesar de las dificultades, si somos capaces de mirar a un futuro a largo plazo, el cambio será altamente beneficioso para el usuario final, el ciudadano de a pie que compra una vivienda esperando disfrutar de un producto satisfactorio donde desarrollar su vida cotidiana. Es más, si conseguimos una “armonización” de parámetros en Europa, ese ciudadano entenderá con facilidad las características del producto “vivienda” ya sea comprada en Islandia o en Grecia (igual que entendemos las características de un teléfono móvil independientemente de dónde lo compremos). Esto, intrínsecamente, es bueno. Si, además, las prestaciones del producto “vivienda” son mejores que en la actualidad, pues efectivamente el cambio en el largo plazo es positivo.

Sin embargo, si miramos en el corto plazo y en un entorno de crisis económica, es difícil encajar el cambio como algo necesario y positivo. El hecho de modificar los procedimientos de medida y el rango de frecuencias utilizado para caracterizar los productos y las soluciones constructivas, exigirá un esfuerzo del sector de la construcción que, al menos en España, difícilmente está en condiciones de realizar. Y eso sin contar que los laboratorios deberán adaptarse a los nuevos sistemas de medida, incurriendo no sólo en gastos de formación, sino posiblemente de compra de nuevos equipos e incluso acreditación en caso de ser necesario. Los legisladores deberán valorar hasta qué punto conviene adoptar las nuevas propuestas o si por el contrario es más adecuado permanecer en el sistema casi recién estrenado (DB HR) hasta que se entre en un nuevo ciclo económico más favorable para el sector de la construcción.

En todo caso, desde los grupos de trabajo de ISO, la propuesta de cambio pretende ser consensuada y progresiva, de manera que cada Estado pueda adoptar los nuevos métodos y parámetros de evaluación del aislamiento en el momento en que mejor encaje en su propia evolución económica y política.

## BIBLIOGRAFÍA

- 1- EN ISO 717-1 and -2. Acoustics-Rating of sound insulation in buildings and of building elements.

- 2- Rasmussen B., Rindel J.H.; Sound insulation between dwellings. Descriptors applied in building regulations in Europe, *Applied Acoustics* 71, pp. 171-180.
- 3- Rasmussen, B.; Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe, *Applied Acoustics*, 2010, 71(4) , 373-385.
- 4- Rasmussen, B.; Sound insulation between Dwellings – Overview of the Variety of Descriptors and Requirements in Europe. *Forum Acusticum 2011*, Aalborg, Denmark, 2011.
- 5- <http://www.costtu0901.eu/>
- 6- Machimbarrena M.; García L.; Herráez M.; González J.; Tarrero A.I.; Martín M<sup>a</sup> A.; integracion y armonización de parámetros acústicos en el marco de edificaciones urbanas sostenibles: COST TU0901, *Tecnicacústica* 209; Cádiz.
- 7- Scholl, W., Lang, J., Wittstock, V.; Rating of Sound Insulation at Present and in Future. The Revision of ISO 717, *Acta Acustica united with Acustica*, 97, 686-698, 2011.
- 8- Scholl, W.: Why not use impact sound reduction indices instead of impact sound pressure levels? *Acta Acustica* 3, 2011
- 9- Bradley J.S; Evaluation of revised ISO airborne sound insulation ratings. NRC Construction, RR-330, 21 November 2012
- 10- Park HK, Bradley JS, Gover BN, Evaluating airborne sound insulation in terms of speech intelligibility, *J. Acoust. Soc. Am.* 123(3) 2008 1458-1471
- 11- Park, H.K., Bradley, J.S., Gover, B.N.; Rating airborne sound insulation in terms of the annoyance and loudness of transmitted speech and music sounds. IRC Research Report DBR-RR-242, NRC Canada, November, 2008
- 12- Rychtáriková M.; Müllner H.; Stani M.; Chmelík V.; Glorieux C.; Does the living noise spectrum adaptation of sound insulation match the subjective perception?; *Euronoise 2012*, Prague
- 13- Hongisto V.; Oliva D.; Keränen J.; Disturbance caused by airborne living sounds heard through walls – preliminary results of a laboratory experiment, *Internoise 2013*, Innsbruck
- 14- Hongisto V.; Mäkilä M.; Haapakangas A.; Hakala J.; Hyönä J.; Kylliäinen M.; Acoustic satisfaction in multi-storey buildings built after 1950 – preliminary results of a field survey, *Internoise 2013*, Innsbruck
- 15- Lang J.; Muellner H.; The importance of music as sound source in residential buildings, *Internoise 2013*, Innsbruck
- 16- Ljunggren F.; Simmons C.; Hagberg K.; Correlation between sound insulation and occupants' perception – proposal of alternative single number rating of impact sound. *Internoise 2013*, Innsbruck
- 17- Hongisto V., Keränen J., Kylliäinen M., Mahn J.; Reproducibility of the Present and the Proposed Single-Number Quantities of Airborne Sound Insulation, *Acta Acustica united with Acustica*, Vol. 98 (2012) 811 – 819; doi 10.3813/AAA.918563
- 18- Mahn J., Pearse J.; The Uncertainty of the Proposed Single Number Ratings for Airborne Sound Insulation, *Journal of Building Acoustics*, Volume 19 · Number 3 · 2012
- 19- Rodriguez A. Monteiro C.; Machimbarrena M.; Pedersoli S.; Smith S.; Johansson R.; Contribution to uncertainty of in-situ airborne sound insulation measurements, *Internoise 2013*, Innsbruck

- 20- Sobreira-Seoane M.; Pérez Cabo D.; Jacobsen F; The influence of the group delay of digital filters on acoustic decay measurements; Applied Acoustics Vol. 73, nº 9 pp 877-883
- 21- Pedersoli S.; Machimbarrena M.; Rodrigues A. Monteiro C.; Posibles problemas asociados a la ampliación del rango de frecuencias para la evaluación del aislamiento a ruido aéreo in situ, Tecniacústica 2013, Valladolid.
- 22- Hopkins C., Turner P.; Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies, Applied Acoustics 66 (2005) 1339–1382; doi:10.1016/j.apacoust.2005.04.005
- 23- Hopkins C.; The effectiveness of manual scanning measurements to determine the spatial average sound pressure level in rooms. Internoise 2010. I-INCE, Lisbon
- 24- Hopkins C.; Spatial sampling of sound pressure in rooms using manual scanning paths. Euronoise 2009, Edinburgh
- 25- V. Wittstock: On the uncertainty of single-number quantities for rating airborne sound insulation. Acta Acustica united with Acustica 93 (2007) 375–386
- 26- Simmons C.; Uncertainties of room average sound pressure levels measured in the field according to the draft standard ISO 16283-1 Noise Control Engr. J. 60 (4), July-August 2012
- 27- Monteiro, C., Marino, C., Torchia, F., Nannipieri, E., Robertson, N., Smith, R. S., Machimbarrena, M.; Comparative analysis of airborne sound insulation field measurements using different ISO 717-1 performance descriptors - Lightweight separating walls and floors. Euronoise 2012, Prague