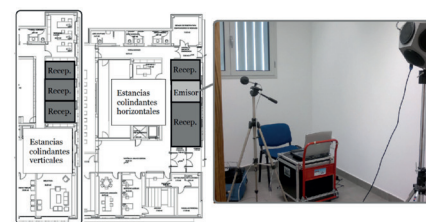


Control del aislamiento acústico al ruido aéreo entre particiones interiores en obra terminada según la normativa CTE



Control of airborne sound insulation between interior partitions of the finished construction according to the standard CTE



Jose Ángel Gonzalez¹, Gregorio Blanco-Roldan², Jose Antonio Entrenas-Angulo² y Rafael-Rubén Sola-Guirado^{3*}

¹ Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía. Calle Johan Gutenberg, 1 - 41092 Sevilla (España).

Universidad de Córdoba. Dpto. de Ingeniería Rural² y Dpto. de Ingeniería Mecánica³. Campus de Rabanales. Ctra. Nacional IV km 396 - 14014 Córdoba (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9176> | Recibido: 21/03/2019 • Inicio Evaluación: 25/03/2019 • Aceptado: 29/04/2019

ABSTRACT

• Updates on the Basic Document of Protection Against Noise (Dcc-DB-HR) (CTE, 8th April, 2016) in the section "Control of the finished construction" substituted the standard UNE EN ISO 140-4 by UNE EN ISO 16283-1, although after that, it was rectified to the use of the derogated standard. The present work focuses on the comparison between both standards and describes the main technical changes that will affect to both technicians and administration staff. 16 experimental measurement series were undertaken in public buildings with different purpose (sanitary, educational, cultural and administrative). Results obtained from the 'in situ' measurements comparing both standards showed no significant differences between the insulation values according the application of each standard.

Keywords: insulation; acoustic; in situ; public building, standard.

RESUMEN

Las actualizaciones en el Documento Básico de Protección Frente al Ruido (Dcc-DB-HR) (CTE, 8-4-2016), en su apartado "Control de la obra terminada", sustituyeron la aplicación de la norma UNE EN ISO 140-4 por la UNE EN ISO 16283-1, aunque poco después, se volvió a proponer la utilización de la norma derogada. El presente trabajo recoge una comparación entre ambas normas y describe los principales cambios técnicos que afectarían tanto a los técnicos como al personal de la administración. Se han realizado 16 tandas de medidas experimentales en edificios públicos de tipo sanitario, docente, cultural y administrativo. Los resultados obtenidos de la comparación de las medidas "in situ" entre ambas normas indican que los valores globales de aislamiento no varían de forma significativa según la aplicación de una u otra norma.

Palabras clave: aislamiento; acústico; in situ; edificios públicos; norma.

1. INTRODUCCIÓN

En la construcción de edificios es fundamental la realización de un diseño apropiado para que las características de insonorización acústica se adecúen al destino de la estancia. En este sentido, en los últimos años, se han aumentado las exigencias para la me-

jora del confort del ciudadano. Todo ha derivado en la aparición de una serie de normativas, tanto a nivel local o autonómico como nacional o comunitario, con objeto de prevenir, vigilar y regular el ruido transmitido entre recintos. Para efectuar un control adecuado, es necesario conocer los niveles de aislamiento, para lo cual se requiere estandarizar la toma de medidas.

Las regulaciones existentes exigen la obtención de medidas lo más fiables y reproducibles posibles, es decir con menos incertidumbre. Este es el caso, por ejemplo, del Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía [1], que regula el procedimiento de control para los valores de aislamiento acústico y que el promotor de un edificio debe presentar a los efectos de obtener la licencia de primera ocupación.

En 2009, entró en vigor el Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre que aprobó el Documento Básico de Protección Frente al Ruido DB-HR [2] y que forma parte del Código Técnico de la Edificación. Con ello, se regularon las exigencias de aislamiento acústico a través de las magnitudes acústicas referidas a las propiedades del edificio y, por tanto, pueden ser comprobables mediante ensayos "in situ".

En 2016, se publicó el documento actualizado con comentarios al CTE Dcc-DB HR [3], cuya primera versión fue publicada en 2011 con una revisión en 2015. En ella se indica que la aplicación de la norma UNE EN ISO 140-4 se sustituye por la aplicación de la UNE EN ISO 16283-1. Paralelamente, como guía de aplicación en las mediciones de aislamiento acústico al ruido aéreo entre recintos, se publicó el Documento de Apoyo (DA DB-HR/ 1): "Guía de uso de las magnitudes de aislamiento acústico en relación con las exigencias" [4].

Apenas dos meses después, en junio de 2016, el Ministerio de Fomento publicó la rectificación de ambos documentos: Documento actualizado de comentarios al CTE-DB HR [5], y Documento de Apoyo al DB-HR Protección frente al ruido (DA DB-HR/ 1) [6], indicando el motivo del nuevo cambio: "...conforme a lo establecido en el apartado III Criterios generales de aplicación, cuando se cita una norma UNE en el articulado debe entenderse que se hace referencia a la versión que se indica, aun cuando exista una versión posterior. Por lo que a efectos de la realización del Control de la obra terminada los ensayos se realizarán conforme a lo establecido en la norma UNE EN ISO 140-4".

Cabe resaltar, que todas las partes de la serie UNE EN ISO 140, donde la parte 4 corresponde a las medidas "in situ" del aislamiento a ruido acústico aéreo, están siendo derogadas y sustituidas [7]. Es necesario estudiar las implicaciones que tiene el uso de estas

Elemento	UNE-EN ISO 140-4	UNE-EN ISO 16283-1
<i>Objeto y campo de aplicación</i>		
Volúmenes de los recintos	No se cita específicamente	Desde 10 m³ hasta 250 m³
Condiciones de campo sonoro	Difuso	Puede o no aproximarse a un campo difuso
<i>Procedimiento de medida</i>		
Generalidades.	Un solo procedimiento	Dos procedimientos: por defecto y de baja frec
<i>Procedimiento de medida. Fuente sonora</i>		
Generación de campo sonoro en el recinto emisor.	No debe tener diferencias de nivel mayores de 6 dB entre bandas de tercio de octava adyacentes	<i>Idem.</i> 8 dB, al menos por encima de 100 Hz
Índices de directividad (DI)	De ± 2 a ± 8 dB (630-1000 Hz) y ± 8 dB (1000-5000 Hz).	± 5 dB (800 Hz) y ± 8 dB (1000-5000 Hz).
Posiciones óptimas de la fuente.	Distancia al elemento de separación: 0.5 m	Distancia al elemento de separación: mínimo 1 m medida de un suelo en el recinto superior
<i>Procedimiento de medida. Realización</i>		
Medida según posiciones del micrófono.	Dos formas: (1) posiciones de micrófono fijas, (2) posiciones de micrófono móvil	Procedimiento por defecto: (1) posiciones de micrófono fijas, (2) micrófono de movimiento continuo mecanizado, (3) micrófono de barrido manual. Procedimiento de baja frecuencia: micrófono en posición fija
Mediciones en las bandas de baja frec.	No cambia el procedimiento	Procedimiento específico
<i>Procedimiento de medida. Tiempo de reverberación</i>		
Medida.	Según norma ISO 354	Según norma ISO 3382-2 e ISO 18233
Rango de evaluación	No deberá ser menor que 20 dB	El rango preferido es de 20 dB
Mediciones en las bandas de baja frec.	No cambia el procedimiento	Procedimiento específico

Tabla 1: Principales aspectos de comparación entre las normas de medida del aislamiento acústico

regulaciones. En la Tabla 1, se expone una comparación entre algunas de estas implicaciones.

1.1. IMPLICACIONES DE LAS NORMATIVAS DE MEDICIÓN

En la norma UNE EN ISO 140-4:1999 [8] se exponían con detalle los materiales y métodos a seguir, los equipos necesarios para la realización de medidas, el detalle de las posiciones (fuente y receptores), las características del ruido generado en el recinto emisor (estacionario), el procedimiento para conseguir un campo sonoro lo más difuso posible y las correcciones necesarias debido al ruido de fondo, así como otras indicaciones. Para la obtención de los índices globales y los diferentes términos de adaptación espectral, se complementa con la norma UNE EN ISO 717-1 [9]. Más tarde, se inicia una revisión de la norma ISO 717 [10], que tal y como expuso Rassmussen [11-13], pretendía reducir el gran número de índices diferentes de aislamiento que existen en Europa. Parte de ello, motivó la sustitución de la norma UNE EN ISO 140-4:1999, por la UNE EN ISO 16283-1:2014, y a su vez por la norma UNE-EN ISO 16283-1:2015.

La norma UNE EN ISO 140-4 especificaba la metodología de medida entre dos recintos bajo condiciones de campo sonoro difuso, cuando esto no es siempre así. En recintos rectangulares con superficies absorbentes no suele haber campos sonoros difusos, excepto para las medias y altas frecuencias. En la norma UNE EN ISO 16263-1 se subsana este hecho mediante la introducción de un procedimiento específico de medida para bajas frecuencias. Por tanto, es posible medir el aislamiento en recintos amueblados o vacíos, donde el campo sonoro puede, o no puede, aproximarse a un campo difuso. Este procedimiento específico aumenta esencialmente el tiempo de medición, con una medida adicional del nivel de presión sonora y del tiempo de reverberación para las bajas frecuencias.

Los procedimientos de medida indicados en la norma UNE EN ISO 140-4 tendían a una alta incertidumbre en bajas frecuencias [15]. Muchos de los recintos habitables, tienen pequeños volúmenes donde la variación espacial de los niveles de presión sonora

aumenta considerablemente a bajas frecuencias, y con ello la incertidumbre de la medida. La norma, en su anexo informativo D, proponía aumentar las distancias mínimas de 0,5 m a 1-1,2 m para el rango de bajas frecuencias por debajo de los 100 Hz, pero ello es inviable en estos recintos pequeños. La nueva norma UNE EN ISO 16283-1 incluyó un procedimiento específico diferente para el muestreo del nivel de presión sonora en las frecuencias de tercio de octava de 50, 63 y 80 Hz, ya que son los valores centrales de dichos tercios de octava, en aquellas situaciones en las que el volumen del recinto sea inferior a 25 m3. Así, se reduce la incertidumbre de las medidas de aislamiento acústico en bajas frecuencias en estos pequeños recintos.

El nivel de presión sonora (L) medio de un recinto, se calcula a partir del valor medio de energía. La norma UNE EN ISO 140-4 estimaba el nivel de presión sonora usando únicamente las posiciones medias de la zona central del habitáculo, que están a una distancia mínima de 0,50 m de los límites del recinto. La norma UNE EN ISO 16283-1 permite el cálculo usando todas las posiciones posibles del micrófono dentro del recinto cerca de las paredes/suelos y las esquinas [15]. Debido a laboriosidad de ello y para reducir el tiempo de medida, es posible hacer una buena estimación del nivel de presión sonora medio de bajas frecuencias, para las bandas de 50, 63 y 80 Hz, (LLF) (Ec. 1), combinando solamente medidas en cuatro de las esquinas del recinto (dos de ellas al nivel de suelo, y las otras dos a nivel de techo, pudiendo ser o no ser adyacentes a la partición común), conjuntamente con el nivel medio para la zona central del recinto.

$$L_{LF}(dB) = 10 \log \frac{10^{0,1 L_{esquina}} + 2 \cdot 10^{0,1 L}}{3}$$

(1)

- Siendo:
- L (dB) el nivel de presión acústica promediado energéticamente, obtenido con el procedimiento por defecto, es decir para la zona central del recinto, sin corregir con ruido de fondo (emisor) o corregido con ruido de fondo (receptor).

- L_{esquina} (dB): nivel de presión acústica más elevado del conjunto de esquinas medidas para cada una de las bandas de 50 Hz, 63 Hz y 80 Hz, obtenido con el procedimiento de bajas frecuencias sin corregir con ruido de fondo (emisor) o corregido con ruido de fondo (receptor).

Los tiempos de reverberación son difíciles de medir con exactitud en pequeños recintos para las bandas de tercio de octava por debajo de los 100 Hz. Esto es debido a que la densidad modal es muy baja, de modo que en cada tercio de octava aparecen pocos modos propios y en consecuencia dominan los del tiempo de extinción de cada modo específico, dando lugar a caídas no lineales. Para superar este problema, la norma UNE EN ISO 16283-1, propuso adoptar el procedimiento de baja frecuencia propuesto por Hopkins y Turner [15], el cual permite que el tiempo de reverberación se mida solamente en la banda de octava de 63 Hz, en lugar de en las tres bandas (50, 63 y 80 Hz); y que este único valor se use para representar cada una de estas tres bandas en el cálculo del índice de aislamiento acústico entre recintos interiores (D_{nT}) (Ec. 2).

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + \log \frac{T}{T_0} \quad (2)$$

Siendo:

- L_1 (dB): nivel de presión acústica en el recinto fuente, promediado energéticamente (volumen recinto $\geq 25 \text{ m}^3$), o promediado energéticamente a baja frecuencia (volumen recinto $\leq 25 \text{ m}^3$), aplicando en este último caso la Ec. 1.
- L_2 (dB): nivel de presión acústica en el recinto receptor, promediado energéticamente (volumen recinto $\geq 25 \text{ m}^3$), o promediado energéticamente a baja frecuencia (volumen recinto $\leq 25 \text{ m}^3$), aplicando en este último caso la Ec. 1.
- T (s): tiempo de reverberación del recinto receptor.
- T_0 (s): el tiempo de reverberación de referencia (0,5 s).

A partir de la Ec. 2, es posible obtener el índice de aislamiento global $D_{nT,A}$ definido, conforme al Código Técnico, como la diferencia de niveles estandarizada ponderada A, entre recintos interiores, y calculado mediante la Ec. 3 que sería el valor global, obtenido a partir de los valores de cada una de las frecuencias i , $D_{nT,i}$.

$$D_{nT,A} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{A,i} - D_{nT,i})/10} \quad (3)$$

Siendo:

- $D_{nT,i}$ (dB): diferencia de niveles estandarizada en la banda de frecuencia i (Ec. 2).
- $L_{r,i}$ (dBA): valor del espectro normalizado y tabulado del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i . El valor de este espectro está recogido en el Código técnico, así como en las normas correspondientes.
- i : recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

Por tanto, en el Código Técnico, no se disponen de valores de este espectro normalizado para las frecuencias de 50, 63 y 80 Hz. Para poder incorporar en la evaluación del aislamiento acústico las frecuencias por debajo de los 100 Hz y obtener el índice $D_{nT,A}$ (50-5000) se tiene en cuenta que los valores del espectro de referencia definidos por la propuesta de revisión de la ISO 717 [12] o de la vigente UNE EN ISO 717-1 [17] corresponden con un redondeo de los valores del espectro de referencia definidos por el DB-HR, menos por las frecuencias de 50, 63 y 80 Hz que no se consideran. Por tanto, para la obtención de este índice de aislamiento ampliado a bajas frecuencias $D_{nT,A}$ (50-5000), se pueden usar bien el espectro

de referencia definido por la propuesta de revisión de la ISO 717 [12] o de la vigente UNE EN ISO 717-1 [17], o bien los valores del espectro de referencia, definidos por el DB-HR ampliado a estas bajas frecuencias.

Los valores equivalentes a los $D_{nT,A}$ son las denominadas diferencias globales de niveles estandarizados corregidos con el término de adaptación espectral C ($D_{nT,w} + C$), para los rangos de frecuencia de 50 a 500 y de 100 a 5000. El valor de C , así como las ponderaciones globales del aislamiento según el método de la curva de referencia, designadas con el subíndice w , se calculan a través del procedimiento establecido en la UNE EN ISO 717-1 [9] que parte de los valores del índice $D_{nT,i}$ y usa curvas de referencia para su ajuste.

Este trabajo pretende comparar el efecto de considerar las magnitudes globales, considerando las bajas frecuencias o no, y el uso de ambas normas. Para discutir la incidencia de ambas normas y ambos índices se han realizado una serie de medidas in situ en recintos ubicados en diferentes edificios públicos de diferente su uso, con calidades similares, y construidos por una misma empresa constructora con los mismos procedimientos de ejecución y en el mismo período temporal. El objetivo es medir su nivel de aislamiento acústico al ruido aéreo y obtener las diferencias existentes entre los distintos índices comentados, $D_{nT,A}$ (50-5000) y $D_{nT,A}$ (100-5000), y a su vez, entre los equivalentes a la norma anterior $D_{nT,w} + C$ (50-5000) y $D_{nT,w} + C$ (100-5000).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. SISTEMA DE MEDIDA

Para las mediciones se han utilizado los siguientes sistemas:

- Sistema de generación del campo sonoro, formado por dos fuentes de ruido omnidireccionales dodecaédricas (Look Line Acustics, DL 301), amplificadores y generadores de ruido (Look Line Acustics, D 301)
- Sistema de adquisición y medida, formado por un micrófono prepolarizado de campo libre con preamplificador (Gras, 40AC), y un sonómetro (Harmonie, 01 Db-Stell) conectado a un ordenador.
- Sistema y software de procesado (AM Acustics, dBBATI) para el análisis de los parámetros acústicos y los espectros de frecuencia.

Las medidas se han realizado con las dos fuentes, generando ruido rosa de forma simultánea mediante señales del mismo tipo y nivel, pero no correlacionadas entre sí. Para ello se utilizaron generadores y amplificadores distintos para cada una de las fuentes.

2.2. EDIFICIOS Y PARTICIONES

Las mediciones han sido llevadas a cabo en diferentes recintos ubicados en edificios públicos de nueva construcción de la comunidad autónoma de Andalucía, construidos por la misma empresa constructora. Los datos de los diferentes recintos ensayados, así como las soluciones constructivas, son especificadas en la Tabla 1, indicando el número de medidas realizadas en cada ensayo. La heterogeneidad de los recintos usados y los elementos que contemplan permitirá evaluar, con una casuística variada, si existen diferencias en lo que concierne al cambio en la técnica de medida "in situ" y en los índices según las diferentes normativas.

2.3. PROCEDIMIENTO DE MEDIDA

Los ensayos se realizaron tomando medidas de aislamiento acústico en los diferentes recintos, utilizando posiciones fijas de

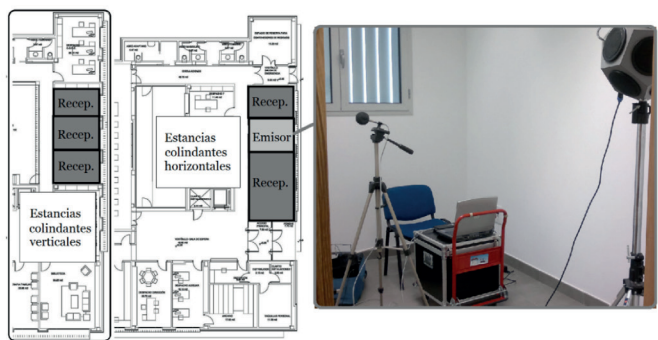


Fig. 1: Representación del recinto emisor en el edificio de tipo cultural usado en las medidas del aislamiento y parte del equipo de medida

micrófono en la zona central del recinto tal como se expone en la norma UNE EN ISO 140-4, así como en el procedimiento por defecto de la norma UNE EN ISO 16283-1; y a continuación, en aquellos recintos que le correspondían, se realizaron medidas según el procedimiento de bajas frecuencias (Fig. 1). Esto es, debido al tamaño de las estancias, se usó el método por defecto en todos los recintos, menos en el "despacho" que también se usó el método de esquina. Todos los procedimientos seguidos para la toma de medidas han sido los plasmados en ambas normas.

Previamente, se realizó una comprobación de la directividad de las dos fuentes omnidireccionales (Fig. 2), comprobando su idoneidad dentro de los límites establecidos: ± 2 dB (100-300Hz), ± 5 dB (800 Hz) y ± 8 dB (1000- 5000Hz). Para ello los equipos se situaron en campo libre y en terreno no muy reflectante, siguiendo las pautas indicadas en el Anexo A de la norma UNE EN ISO 16283-1, colocando el punto central de la fuente y el micrófono enfrentados y a una altura de 1,5 m.

Después, se calculó el índice de directividad (DI) para su frecuencia (i) definido por la Ec. 4, mediante el cálculo de los diferentes niveles de presión sonora establecidos en la ecuación, para

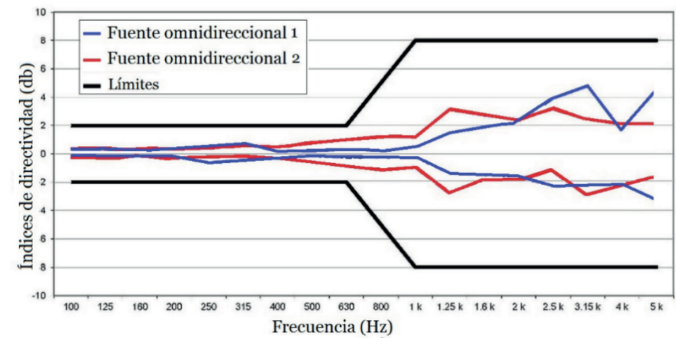


Fig. 2: Índices de directividad para las dos fuentes omnidireccionales empleadas en la toma de medidas de ruido

lo que se realizaron medidas discretas a intervalos de 5 grados y de 6 segundos de duración. La fuente se excitó con una señal de ruido rosa, con medidas en tercio de octava, y con un nivel lo suficientemente alto para que el ruido de fondo no afecte a la medida

$$DI_i = L_{360^\circ} - L_{30,i}$$

(4)

Siendo:

- L_{360° (dB): nivel de presión, promediado para los 360 grados.
- $L_{30,i}$ (dB): nivel de presión, promediado para 30 grados en la banda de frecuencia i.

Con los datos adquiridos, se calculó el índice de aislamiento acústico entre recintos interiores (D_{nT}). Finalmente, se obtuvieron los valores de los diferentes índices D_{nTA} (50-5000) y D_{nTA} (100-5000), así como sus equivalentes $D_{nTW}+C$ (50-5000) y $D_{nTW}+C$ (100-5000), calculados según sus diferentes normas con el procedimiento comentado.

3. RESULTADOS

Los valores obtenidos de aislamiento acústico en las distintas bandas de frecuencia (D_{nT}) y entre la tipología de recinto (sanitario, cultural, administrativo y docente) se muestran en la Fig. 3. Para estudiar las diferencias existentes se han calculado el promedio de los valores D_{nT} para cada banda de frecuencia obtenidos de los ensayos descritos en la Tabla 2, según cada tipología de recinto, y distinguiendo entre las medidas para cerramientos verticales y horizontales. Con estos valores se han calculado los coeficientes de variación como la relación de su desviación típica entre sus valores promedios (Fig. 4).

La Fig. 5 muestra las diferencias obtenidas, para todos los recintos ensayados, entre el índice de aislamiento ampliado a bajas frecuencias planteado por la norma UNE EN ISO 16283-1:2015, D_{nTA} (50-5000), y el índice definido en la actual normativa legal exigible, D_{nTA} (100-5000), que no contempla las bajas frecuencias, según los valores globales de la norma UNE EN ISO 717. Igualmente, se muestra la diferencia entre los índices $D_{nTW}+C$ (50-5000) y $D_{nTW}+C$ (100- 5000) que son su equivalente en la normativa anterior, UNE EN ISO 140-4. Los resultados de las magnitudes globales se resumen en la Tabla 3.

4. DISCUSIÓN

En los índices de aislamiento acústico D_{nT} (Fig. 3) se aprecian diferencias entre los niveles de aislamiento si el cerramiento es

Recinto emisor	Recinto receptor colindantes en la		Nº ensayo	Elemento constructivo			
	vertical	horizontal		Separación vertical	Forjado	Suelo flotante	Techo suspendido
Consulta. Edificio sanitario.		Consulta	1h,2h	Tipo 3	Reticular con losa de malla y hormigón	No	Sí
	Consulta		1v,2v,3v				
Despacho. Edificio cultural.		Despacho	3h,4h	Tipo 3	Reticular con losa de malla y hormigón	Sí	Sí
	Despacho		4v,5v,6v				
Oficina. Edificio administrativo.		Laboratorio	5h,6h	Tipo 1	Reticular con losa de malla y hormigón	No	Sí
	Despacho		7v				
Sala reuniones. Edificio docente.		Aula	7h	Tipo 3	Reticular con losa de malla y hormigón	No	Sí
	Despacho		8v,9v				

Tabla 2: Medidas realizadas entre las estancias de ensayo emisoras con sus anexas colindantes situadas en la vertical (cerramiento horizontal o forjados) y horizontal (cerramiento vertical o paredes) y descripción de los elementos constructivos que los conforman (según lo establecido en el CTE DB-HR).

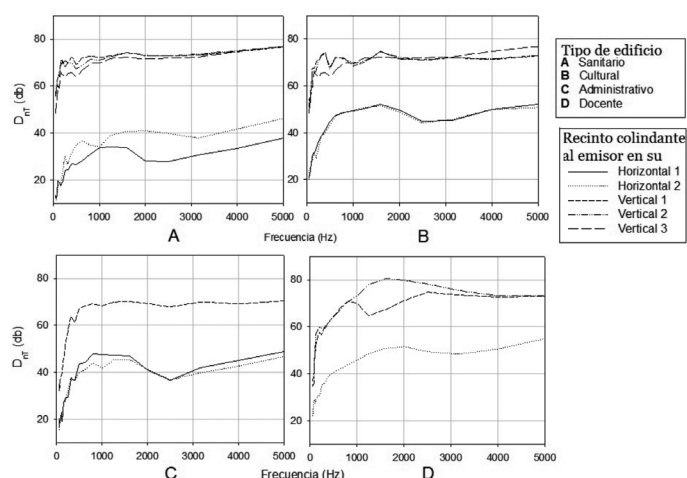


Fig. 3: Índices de aislamiento acústico D_{nT} medidos en distintos tipos de edificio (A, B, C, D) con diferente uso, con receptores en estancias colindantes horizontalmente (cerramiento vertical o paredes) y verticalmente (cerramiento horizontal o forjados).

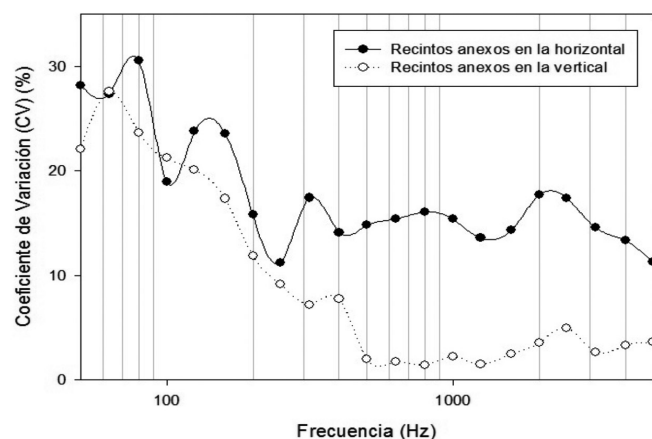


Fig. 4: Coeficiente de variación de los valores de índice D_{nT} obtenidos en los ensayos realizados en los recintos ensayados según su separación vertical o horizontal para el rango de frecuencias de 100 a 5000 Hz.

vertical u horizontal (curvas inferiores y superiores), coincidiendo con lo habitual en la construcción, donde los forjados suelen tener mayor nivel de aislamiento acústico. Cada uno de los recintos (sanitario, cultural, administrativo, docente) presenta un patrón diferente (Fig. 3), aunque con pequeñas diferencias, posiblemente atribuibles a las diferencias en la construcción de cada uno. Los coeficientes de variación de los D_{nT} entre tipos de recintos (Fig. 4) muestran que existen mayores diferencias en los cerramientos verticales, ya que como se ha comentado suelen presentar peor grado de aislamiento que los cerramientos horizontales. Cabe destacar, que las estancias del edificio sanitario (Fig.3) presentan mejor nivel de aislamiento acústico entre recintos anexos en la horizontal debido a la mejor solución constructiva o de ejecución.

En las bandas de bajas frecuencias se observa mayor variabilidad de los valores de aislamiento entre recintos, tanto para cerramiento vertical como horizontal (Fig. 4), y las diferencias de sus índices $D_{nTW}+C$ y D_{nTA} (58,8 y 62,1, respectivamente) son superiores que las de rango ampliado (55,13 y 60,7, respectivamente). Este hecho subraya la importancia de la incorporación del procedimiento de medida a bajas frecuencias de la norma UNE EN ISO 16263-1. Las diferencias constructivas entre las estancias (Tabla 1) influyen, como era lo esperado, en el nivel de aislamiento tal y como otros autores han señalado [16]. Estas diferencias dependen, además del tipo de cerramientos, de la ejecución de todos y cada uno de los elementos constructivos de los que forman parte los recintos del ensayo y sus colindantes [paredes, suelo, techo, en-

cuentros, regolas, puertas, ventanas...). Además, las condiciones de contorno del ensayo realizado pueden introducir otras pequeñas diferencias. No obstante, en la comparativa de resultados analizado con las diferencias entre normas, no se introduce este error.

Existen diferencias en los resultados obtenidos entre los índices D_{nTA} y $D_{nTW}+C$ según los métodos de medida del aislamiento acústico a ruido aéreo definidos por la nueva norma UNE EN ISO 16283-1:2015, y por la antigua norma UNE EN ISO 140-4:1999 (Fig. 5). Se observan diferencias en el uso de los diferentes índices. Existen diferencias significativas ($p < 0,01$, para la prueba no paramétrica con rangos de Wilcoxon) entre D_{nTA} y D_{nTW} cuando se usa el rango de 100-5000 Hz pero estas diferencias no son significativas ($p = 0,21$, para la prueba no paramétrica con rangos de Wilcoxon) cuando se usa el rango de 50-5000 Hz. Estas diferencias tienen su origen en la metodología de medida. En el índice $D_{nTW}+C$, obtenido por el método de la curva desplazada, se obtiene un valor ponderado "w" y corregido con la adaptación espectral "C" mientras que el índice D_{nTA} es obtenido por la aplicación directa de una curva de ponderación "A". En definitiva, se sustituye el proceso de cálculo por la comparativa con una curva de referencia, manteniendo sólo el procedimiento de cálculo mediante una suma energética ponderada de acuerdo con un espectro de referencia.

Este cambio procedimental, conlleva el relevo en el uso de descriptores normalizados (norma antigua) con el de descriptores estandarizados (curvas de ponderación en frecuencia), los cuales permiten obtener una medición que tiene en cuenta la percepción humana del aislamiento acústico (ponderación A). Esto ya fue recogido por el DB-HR con la utilización del índice D_{nTA} , aunque sin incluir en el análisis los umbrales de bajas frecuencias. Nótese además, que los valores de $D_{nTW}+C$ han de ser redondeados a un número entero, tal y como aparece en la norma ISO 717-1, mientras que los correspondientes a D_{nTA} no se les exige este redondeo tal y como aparece en el Decreto 6/2012 [1].

El principal cambio concerniente a las medidas de campo del aislamiento acústico a ruido aéreo en la nueva norma UNE EN ISO 16283-1 por debajo de los 100 Hz, para recintos con volúmenes inferiores a 25 m³, ha sido el uso de medidas en esquina para determinar la media espacial del nivel de presión sonora, y medidas en la banda de octava de 63 Hz para la medida del tiempo de reverberación. Al ampliar el rango de medida los resultados globales de aislamiento acústico son muy similares respecto a los resultados obtenidos en el rango entre 100-5000 Hz, tal y como son exigibles actualmente en el DB-HR y en el Real Decreto 6/2012 [1].

En lo relativo a los índices $D_{nTW}+C$ (Fig. 5), se observa que en el 50% de los ensayos realizados arrojan el mismo resultado al ampliar el rango de frecuencias. En el 37 % de los casos la diferencia es positiva, es decir la utilización del índice ampliado a bajas

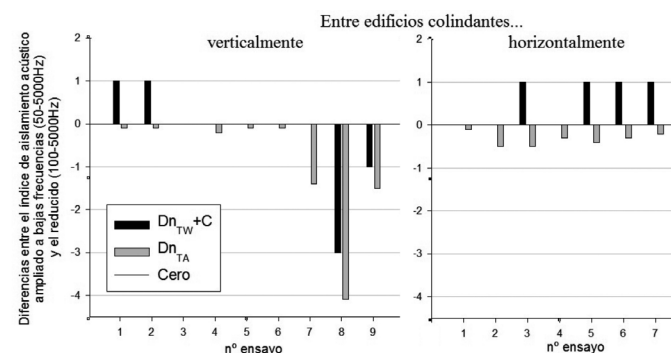


Fig. 5: Diferencias entre los índices de aislamiento acústico ampliados a baja frecuencia, utilizando el espectro ampliado de la norma UNE EN ISO 717 y reducidos contemplados en las diferentes normas UNE EN ISO 140-4 y UNE EN ISO 16283-1

Nº ensayo	Entre recintos colindantes	D _{nTw} +C (100-5000)	D _{nTw} +C (50-5000)	D _{nTA} (100-5000)	D _{nTA} (50-5000)
1v	Verticalmente	69	70	69,9	69,8
2v	Verticalmente	72	73	72,8	72,7
3v	Verticalmente	72	72	72,1	72,1
4v	Verticalmente	71	71	71,1	70,9
5v	Verticalmente	71	71	71,2	71,1
6v	Verticalmente	71	71	71,2	71,1
7v	Verticalmente	61	61	62,1	60,7
8v	Verticalmente	68	65	69	64,9
9v	Verticalmente	66	65	66,6	65,1
1h	Horizontalmente	29	29	29,4	29,3
2h	Horizontalmente	34	34	34,6	34,1
3h	Horizontalmente	44	45	45	44,5
4h	Horizontalmente	43	43	43,6	43,3
5h	Horizontalmente	38	39	39,2	38,8
6h	Horizontalmente	38	39	38,9	38,6
7h	Horizontalmente	43	44	43,7	43,5

Tabla 3: Valores globales en unidades dBA de los índices de aislamiento acústico medidos

frecuencias, implica un aumento del valor del aislamiento acústico a ruido aéreo, si bien este aumento es sólo 1 dBA. Únicamente en dos de los ensayos la diferencia es negativa, siendo en uno de ellos pequeña, de 1, y en el otro más grande de 3, lo cual puede ser atribuido a que la solución constructiva empleado o bien su ejecución, tenga un comportamiento diferente al resto de los casos, ya que sólo se observa en las estancias del edificio docente. En general, no existen diferencias significativas en este índice entre los diferentes rangos de frecuencias ($p=0,06$, para la prueba no paramétrica con rangos de Wilcoxon).

Si se analizan las diferencias obtenidas entre los índices D_{nTA} según su ampliación a bajas frecuencias (50-5000 Hz) se puede observar que solamente en uno de los ensayos es nula, es decir coinciden ambos índices. En todos los demás, la diferencia es negativa, es decir la utilización del nuevo índice implica una pérdida del valor del aislamiento acústico a ruido aéreo, si bien en el 75 % de los casos esta pérdida es menor a 1 dBA, por lo tanto, despreciable. Únicamente en uno de los ensayos se obtuvo una pérdida considerable de 4,1 dBA, por el mismo motivo comentado anteriormente. En general, existen diferencias significativas en este índice entre los diferentes rangos de frecuencias ($p<0,01$, para la prueba no paramétrica con rangos de Wilcoxon).

Las rectificaciones de normativa, orientadas a la utilización de nuevo de la derogada norma UNE EN ISO 140-4 subsanan el problema de usar la norma UNE EN ISO 16283-1:2015 como procedimiento de medida, ya que estaba limitada su utilización para las bandas de frecuencia comprendidas entre los 100 Hz y 5 kHz, por lo que desde un punto de vista práctico suponía continuar con la metodología de medida anterior. Además, estos cambios de medidas hacia bajas frecuencias vienen impulsado por la queja sistemática de los ciudadanos de percibir ruido de baja frecuencia en sus viviendas [17]. Por tanto, al incorporar en la evaluación del aislamiento acústico estas bajas frecuencias, se atienden estas demandas a la par que se mejora la fiabilidad.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado y discutido las diferencias de los valores de los índices globales de aislamiento acústico a ruido aéreo obtenidos mediante medidas “in situ” con las normas UNE-EN ISO 140-4 (derogada) y UNE-EN ISO 16283-1 (nueva) en edificios públicos resultando ser reducidas. Existen diferencias sig-

nificativas al usar rango de frecuencias ampliado o no con el uso del descriptor D_{nTA} aunque carecen de significación en el descriptor $D_{nTw}+C$. La aplicación de los nuevos criterios no debe suponer un perjuicio para los agentes implicados (técnicos de laboratorios, fabricantes de materiales, arquitectos, técnicos de la administración, etc.). La normativa persigue incorporar la evolución de la técnica y, en este caso, la UNE-EN ISO 16283-1 incorpora aspectos, algunos más exigentes y otros no considerados anteriormente, que redundan en la mejora de la calidad de las medidas realizadas, y que, lógicamente, supondrán la necesidad de formación práctica para su realización.

Hay que indicar que en la edificación privada sería necesario revisar con cautela la comparativa entre sistemas de medida por la gran diversidad entre calidades y procedimientos constructivos. Es aquí, donde quizás se requiera un esfuerzo mayor al sector de la acústica, ya que, los técnicos y los laboratorios tendrán que adaptarse a los nuevos procedimientos y el sector de la construcción tendrá la dificultad añadida de disponer limitados valores del aislamiento acústico a ruido aéreo de los elementos constructivos en bajas frecuencias. No obstante, la rectificación que el Ministerio de Fomento publicó, en junio de 2016, del documento actualizado de comentarios al CTE, indica que las medidas se realizarán con la anulada UNE EN ISO 140-4, lo cual hace pensar que la decisión, por parte de las administraciones, de adoptar la nueva norma será a largo plazo.

REFERENCIAS

[1] Real Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, núm. 24, de 6 de febrero 2012. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2012/24/4.html> (Consultado 12/08/2018)

[2] Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico “DB-HR Protección Frente al Ruido” del Código Técnico de la Edificación. Boletín Oficial del Estado, núm. 254, de 23 octubre 2007. <https://www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42992-43045.pdf> (Consultado 12/08/2018)

[3] Documento Básico con Comentarios DB-HR. Protección frente al ruido (Dcc-DB-HR). Abril 2016. 256 https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/historico/DccHR_201604.pdf (Consultado 20/08/2018)

[4] Documento de Apoyo al DB-HR Protección frente al ruido (DA DB-HR/ 1): “Guía de uso de las magnitudes de aislamiento acústico en relación con las exigencias”. Abril 2016. https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/historico/DA-DB-HR-1_201604.pdf (Consultado 20/08/2018)

[5] Documento Básico con Comentarios DB-HR. Protección frente al ruido (Dcc-DB-HR). Junio 2016. 261 https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/proteccionRuido/historico/DccHR_201606.pdf (Consultado 20/08/2018)

[6] Documento de Apoyo al DB-HR Protección frente al ruido (DA DB-HR/ 1): “Guía de uso de las magnitudes de aislamiento acústico en relación con las exigencias”. Junio 2016. (Consultado 20/08/2018)

[7] Hopkins, C. Revision of international standards on field measurements of airborne, impact and facade sound insulation to form the ISO 16283 series. Building and Environment. 2015. Vol. 92. p. 703-712. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.043>

[8] AENOR-CEN. UNE EN ISO 140-4. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 4: Medición in situ del aislamiento al ruido aéreo entre locales. 1999. Asociación Española de Normalización (AENOR).

[9] AENOR-CEN. UNE EN ISO 1717-1. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. 2013. Asociación Española de Normalización (AENOR).

[10] CD 16717-1 Proposal Acoustics -Evaluation of Sound Insulation Spectra by Single-Numbers -Part 1: Airborne Sound Insulation. International Organization for Standardization TC 43 / SC; 2013.

[11] Rasmussen, B., y Rindel, J.H. “Sound insulation between dwellings. Descriptors applied in building regulations in Europe”. 2010. Applied Acoustics. Vol. 71(3). p. 171-180. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.05.002>

[12] Rasmussen, B. “Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe”. Applied Acoustics. 2010. Vol. 71(4). p. 373-385. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.08.011>

[13] Rasmussen, B. “Sound insulation between Dwellings – Overview of the Variety of Descriptors and Requirements in Europe”. June 2011. Proceedings of Forum Acusticum. Denmark.

[14] AENOR-CEN (2015). UNE EN ISO 16283-1. Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. Asociación Española de Normalización (AENOR).

[15] Hopkins, C., y Turner, P. “Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies”. Applied Acoustics. 2005. Vol. 66(12). p. 1339-1382. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2005.04.005>

[16] Rodrigues Monteiro C., Mondaca C., Machimbarrena M., Smith S. “Revisión de la ISO 717-1. Análisis comparativo de medidas de aislamiento a ruido aéreo en paredes ligeras y pesadas utilizando diferentes descriptores de aislamiento acústico”. October 2012. VIII Congreso Ibero-americano de Acústica, Évora, Portugal.

[17] Lang, J., y) Muellner, H. The importance of music as sound source in residential buildings. Internoise September 2013. Innsbruck, Austria.