



# FIA 2014

IX CONGRESO  
IBEROAMERICANO  
DE ACÚSTICA  
Valdivia CHILE

**01 al 03**  
de Diciembre

**Actas del Congreso**  
**Actas do Congresso**

[www.acusticauach.cl](http://www.acusticauach.cl)  
[www.socha.cl](http://www.socha.cl)



Universidad Austral de Chile  
*Conocimiento y Naturaleza*





**FIA 2014**

---

**IX CONGRESO  
IBEROAMERICANO  
DE ACÚSTICA  
Valdivia CHILE**

---

**ACTAS DEL CONGRESO  
ACTAS DO CONGRESSO**

---

ISBN: 978-956-9412-13-4



ISBN: 978-956-9412-13-4

Editor  
Jorge P. Arenas

Compilación Digital  
Marco Antonio Gaete

© Copyright: 2014, Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile  
[www.acusticauach.cl](http://www.acusticauach.cl)

## Comité Científico

|                       |   |
|-----------------------|---|
| Jesús Alba            | Univ. Politécnica de Valencia, España     |
| Danilo de Almeida     | Ford Motor Company, Brasil                |
| Daniel Álvarez        | Lloyd's Register, Singapur                |
| Julieta António       | Univ. de Coimbra, Portugal                |
| Hígini Arau-Puchades  | Arau Acústica, España                     |
| Jorge Arenas          | Univ. Austral, Chile                      |
| Pedro Arezes          | Univ. do Minho, Portugal                  |
| Claudia Arias         | Univ. Nacional de Córdoba, Argentina      |
| César Asensio         | Univ. Politécnica de Madrid, España       |
| Carla Badani          | Univ. de Chile                            |
| Juan Barrigón         | Univ. de Extremadura, España              |
| José Barros           | Univ. Austral, Chile                      |
| Francisco Beltrán     | Univ. Autónoma Metropolitana, México      |
| J.L Bento-Coelho      | Univ. de Lisboa, Portugal                 |
| Sylvio Bistafa        | Univ. de Sao Paulo, Brasil                |
| Ricardo Burdisso      | Virginia Tech, Estados Unidos             |
| Rodrigo Cádiz         | P Univ. Católica, Chile                   |
| Pedro Cobo            | CSIC, España                              |
| Víctor Cortínez       | Univ. Tecnológica Nacional, Argentina     |
| Francesc Daumal       | Univ. Politécnica de Cataluña, España     |
| Patricio de la Cuadra | P Univ. Católica, Chile                   |
| Jaime Delannoy        | DuocUC, Chile                             |
| Romina del Rey        | Univ. Politécnica de Valencia, España     |
| Francisco Denia       | Univ. Politécnica de Valencia, España     |
| César Díaz            | Univ. Politécnica de Madrid, España       |
| Fernando Elizondo     | Univ. Autónoma de Nuevo León, México      |
| José Espinosa         | Inst. de Salud Pública, Chile             |
| Pablo Faúndez         | Huawei European Research Center, Alemania |
| Chris Feuillade       | P Univ. Católica, Chile                   |
| Sergio Floody         | Univ. de Chile                            |
| Samir Gerges          | Univ. Federal de Santa Catarina, Brasil   |
| Luís Godinho          | Univ. de Coimbra, Portugal                |
| Elizabeth González    | Univ. de la República, Uruguay            |
| Ricardo Hernández     | Univ. de Cádiz, España                    |
| Fidel Hernández       | Univ. del Pinar del Río, Cuba             |
| José Herrera          | Zero America Latina, Chile                |
| Carlos Jiménez        | P Univ. Católica, Perú                    |
| Roberto Jordan        | Univ. Federal de Santa Catarina, Brasil   |
| Diego Ledezma         | Univ. Autónoma de Nuevo León, México      |
| Arcanjo Lenzi         | Univ. Federal de Santa Catarina, Brasil   |
| Celso Llimpe          | P Univ. Católica, Perú                    |
| Antonio Marzzano      | Seremi de Salud RM, Chile                 |
| Paulo Massarani       | Inmetro, Brasil                           |
| Leonardo Meza         | P. Univ. Católica, Chile                  |
| Leonardo Miranda      | Volkswagen AG, Alemania                   |
| Alfonso Moreira       | Bruel & Kjaer, Estados Unidos             |
| Jorge Moreno          | P Univ. Católica, Perú                    |
| Ricardo Musafir       | Univ. Federal de Río de Janeiro, Brasil   |
| Marco Nabuco          | Inmetro, Brasil                           |
| Rodrigo Ordoñez       | Univ. de Aalborg, Dinamarca               |
| Felipe Otondo         | Univ. Austral, Chile                      |
| Dinara Paixão         | Univ. Federal de Santa María, Brasil      |

|                    |  |
|--------------------|--|
| Jorge Patrício     | LNEC, Portugal                           |
| Stephan Paul       | Univ. Federal de Santa María, Brasil     |
| Ignacio Pavón      | Univ. Politécnica de Madrid, España      |
| Jaime Ramis        | Univ. de Alicante, España                |
| Stelamaris Rolla   | UNICAMP, Brasil                          |
| Claudia Rosas      | Univ. Austral, Chile                     |
| Heidi Ruiz         | Univ. Católica de Lovaina, Bélgica       |
| Isolina Sánchez    | Univ. de Cs. Médicas de Santiago de Cuba |
| Ilhuicamina Servín | Inst. Politécnico Nacional, México       |
| Francisco Simón    | CSIC, España                             |
| Enrique Suárez     | Univ. Austral, Chile                     |
| Felipe Torres      | Benbow Environmental, Australia          |
| Nilda Vechiatti    | LAL-CIC Bs. Aires, Argentina             |
| Rodolfo Venegas    | Carbon Air Ltd, Inglaterra               |
| Erasmio Vergara    | Univ. Federal de Santa Catarina, Brasil  |
| César Vasques      | Univ. de Porto, Portugal                 |

## **Organización**

Instituto de Acústica UACH  
 Sociedad Chilena de Acústica, SOChA  
 Federación Iberoamericana de Acústica, FIA  
 Universidad Austral de Chile

## **Patrocinadores**

International Institute of Acoustics and Vibration, IIAV  
 International Commission for Acoustics, ICA  
 Audio Engineering Society-Chile  
 Ministerio del Medio Ambiente  
 Centro de Estudios Científicos, CECs  
 Colegio de Ingenieros Acústicos de Chile, AG  
 Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Austral de Chile

## **Auspiciadores**

Acustical  
 AFE Sonido y Acústica  
 Cía. Industrial el Volcán S.A.  
 dBA Ingeniería  
 Hunter Douglas  
 INGMAC  
 Nicolaides S.A.  
 Proyectos Acústicos Ltda.  
 Silentium  
 Sonoflex  
 SoundPLAN  
 SPEVI  
 Surplast S.A.  
 Tecsis

## PREFACIO

Este volumen de Actas contiene las conferencias y comunicaciones presentadas durante el IX Congreso Iberoamericano de Acústica, FIA2014, realizado en el Centro de Convenciones del Hotel Dreams Pedro de Valdivia, en la hermosa ciudad de Valdivia al sur de Chile, entre el 1 y 3 de diciembre de 2014. El volumen en 1500 páginas incluye los más de 150 trabajos científicos aceptados que cubren los tópicos de acústica de la edificación, acústica ambiental, electroacústica y metrología, ultrasonidos, acústica subacuática, procesamiento digital de señales, ruido y vibraciones en la industria, acústica fisiológica y psicológica, acústica musical, normativa acústica, materiales acústicos y audio profesional. Los trabajos fueron seleccionados por el Comité Científico y presentados por sus autores durante las sesiones técnicas del congreso. El volumen presenta las distintas investigaciones que se desarrollan en la comunidad acústica iberoamericana, dando una particular atención al fortalecimiento de la literatura técnica en los idiomas oficiales de los congresos de la Federación Iberoamericana de Acústica, FIA.

Creada precisamente en Valdivia en el año 1995, la Federación Iberoamericana de Acústica organiza cada dos años los Congresos Iberoamericanos, con la finalidad de promover el desarrollo y progreso de la Acústica en todas sus áreas, reuniendo a las asociaciones de países iberoamericanos de habla española y portuguesa.

Aprovechamos de agradecer a todos los auspiciadores y patrocinadores de este congreso y, muy especialmente a la Dirección de Investigación y Desarrollo (DID-UACH) por su gentil aporte a la publicación de estas Actas. Confiamos que esta publicación oficial del congreso será de utilidad a la comunidad científica iberoamericana y un real aporte al conocimiento de la acústica.

Valdivia, diciembre de 2014.



Dr. Jorge P. Arenas  
Presidente FIA2014



Dr. Enrique Suárez  
Vicepresidente FIA2014

## TABLA DE CONTENIDOS

|      |   |   |     |
|------|---|---|-----|
| 1701 | Conforto sonoro em cidades – conceitos, instrumentos e estratégias  | J.L. Bento-Coelho   | 1   |
| 1702 | Acústica de turbinas eólicas: Medición, control e impacto ambiental   | R.A. Burdisso   | 13  |
| 1703 | Acontecimientos recientes en la dispersión acústica de cardúmenes de peces con vejiga natatoria   | C. Feuillade  | 23  |
| 1704 | Detecção e contribuição dos outliers para avaliações subjetivas de som  | S.N.Y. Gerges<br>R.A. Dias  | 33  |
| 1705 | Evolución del marco normativo internacional en acústica de la edificación   | M. Machimbarrena<br>B. Rasmussen<br>P. Fausti                           | 51  |
| 0102 | Caracterización Acústica de Superficies a través de Coeficientes de Absorción, Difusión y Dispersión.   | N. Bastián<br>A. Campos   | 71  |
| 0104 | Rediseño acústico óptimo de recintos industriales   | M.E. Sequeira<br>V.H. Cortínez  | 81  |
| 0105 | Rehabilitación acústica de fachadas de recintos en los alrededores del Aeropuerto Adolfo Suárez Madrid-Barajas  | C. Díaz<br>A. Pedrero<br>M <sup>a</sup> A. Navacerrada                  | 93  |
| 0106 | Estudio de sistemas de ventilación natural colocados en la carpintería de la ventana y su efecto sobre los niveles de inmisión sonora en los recintos | A. Díaz-Chyla<br>C. Díaz<br>M <sup>a</sup> A. Navacerrada<br>A. Pedrero | 103 |
| 0107 | Comparación de parámetros acústicos calculados mediante distintos software  | J. Mansilla<br>S. Sato<br>L. Rodiño<br>A. Arias                         | 113 |
| 0108 | Medición de tiempo de reverberación y caracterización acústica de la catedral de sal de Zipaquirá   | J.A. Aguacia<br>D.A. Pardo<br>B.J. Rodríguez                            | 123 |
| 0110 | Evaluación de la difusión acústica de recintos a partir de parámetros asociados a la reverberación  | I.T. Servín<br>D. Sánchez<br>G. Ávila                                   | 132 |
| 0111 | Reacondicionamiento y caracterización acústica de la cámara de reverberación del CIAL-UNC   | C.C. Herrán<br>A.R. Maristany<br>D.A. Moyano                            | 142 |
| 0112 | Desarrollo de una fuente sonora omnidireccional liviana para mediciones de campo  | A.R. Maristany<br>D.A. Moyano<br>P.E. Méndez                            | 152 |

## Evolución del marco normativo internacional en acústica de la edificación

M. Machimbarrena<sup>a</sup>, B. Rasmussen<sup>b</sup> & P. Fausti<sup>c</sup>

<sup>a</sup>*Dpto. Física Aplicada, ETS Arquitectura, Universidad de Valladolid, Avenida de Salamanca s/n 47014 Valladolid España, [mariao@opt.uva.es](mailto:mariao@opt.uva.es)*

<sup>b</sup>*SBI, Danish Building Research Institute, Aalborg University (AAU-CPH), Copenhagen, Denmark*

<sup>c</sup>*Engineering Department, University of Ferrara; Via Saragat 1, 44100 Ferrara (FE), Italy*

**RESUMEN:** Por fin en pleno siglo XXI la sociedad es consciente de la necesidad de incluir los conceptos de sostenibilidad y eficiencia energética en el sector de la edificación. Gracias a que existe un amplio consenso internacional, la mayor parte de los países desarrollados han establecido fechas límite a partir de las cuales todos los edificios nuevos deberán tener un consumo de energía casi nulo y para ello están desarrollando políticas y medidas financieras orientadas a cumplir los objetivos previstos. Así mismo, existe una gran preocupación a nivel internacional sobre el problema de la contaminación acústica desde el punto de vista medioambiental y también se han desarrollado políticas y medidas financieras destinadas conocer, valorar y mitigar el problema del ruido ambiental.

En Europa las Directivas 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental desarrollan la política comunitaria en ambos aspectos.

Sin embargo, el ruido en nuestras viviendas parece ser un tema “olvidado”. Si se observa el panorama internacional, existen muchos países en los que actualmente no existe legislación al respecto, y la que existe difiere sensiblemente de unos países a otros. Es precisamente el problema del ruido en las viviendas lo que ha motivado que tanto desde la red COST TU0901 (<http://www.costtu0901.eu/>) como desde el Comité ISO TC43/SC2 (acústica en la edificación) se esté investigando acerca de procedimientos alternativos de medida y evaluación del aislamiento acústico así como sobre la posible creación de un sistema de clasificación acústica de viviendas que pudiera ser adoptada a nivel internacional.

Se trata pues de motivar el debate sobre la conveniencia de desarrollar políticas comunes en materia de Acústica de Edificios que pudieran ser integradas con las directrices relativas a la eficiencia energética de edificios y que a la postre redundaran en un beneficio a la sociedad y al ciudadano tanto en lo que a consumo energético respecta como en lo relativo a salud, confort y bienestar en el hogar.

**KEYWORDS:** Acústica de edificios, aislamiento acústico, normativa.

## 1. ANTECEDENTES

A mediados del siglo XX se planteaba por primera vez una inquietud en el ámbito internacional con respecto al ruido en los edificios y la necesidad de proteger a los usuarios frente al mismo. Es por ello que en 1960 se publica la primera normativa internacional relativa a la medida, tanto en laboratorio como in situ, del aislamiento a ruido aéreo e impacto: ISO Recommendation 140 [1]. Con el tiempo, y en función de los avances tecnológicos y las necesidades, la normativa evolucionó en forma de distintas versiones hasta que en 2006 existían hasta 18 partes diferentes que regulaban otros aspectos como fachadas, ruido debido a la lluvia, cómo medir mejoras al aislamiento debida a trasdosados o recubrimientos, transmisiones laterales etc. [2,3]

La estructura y contenidos de la serie ISO 140 había pasado de un único documento de 11 páginas en 1960 a 18 documentos de aproximadamente 500 páginas en conjunto. Este hecho, junto con el nacimiento de nuevas normas dedicadas a caracterizar la transmisión por flancos [4], estimar el aislamiento de los elementos constructivos [5] y desarrollar nuevas técnicas de medida [6] motivó la revisión profunda de la serie ISO 140.

El ISO TC43/SC2 acordó por tanto en 2006 abordar la revisión de la normativa de medida de aislamiento acústico (serie ISO 140). La primera fase de dicha revisión se centró en la revisión y actualización de todas las normas de medida de aislamiento acústico en laboratorio, las cuales fueron agrupadas en una nueva serie ISO 10140 [3,7] publicada en 2010. La normativa de medida in situ, se agrupará en la nueva serie ISO 16283 cuya parte 1 (ruido aéreo) ha sido aprobada recientemente [8]. La parte 2 (ruido de impacto) [9] verá la luz en los próximos meses y la parte 3 (fachadas) [10] se encuentra en proceso de revisión. Las partes 1, 2 y 3 de esta nueva serie sustituirán a las actuales ISO 140-4, ISO 140-7 e ISO 140-5 respectivamente. La ISO 140-14 también quedará incluida en las distintas partes de la serie ISO 16283.

Tabla 1: Reestructuración de la serie ISO 140<sup>1</sup>

|  |  |
|--|--|
| ISO 140-1<br>ISO 140-3<br>ISO 140-6<br>ISO 140-8<br>ISO 140-10<br>ISO 140-11<br>ISO 140-16<br>ISO 140-18 | ISO 10140<br>partes 1 a 5              |
| ISO 140-4<br>ISO 140-5<br>ISO 140-7<br>ISO 140-14  | ISO 16283<br>partes 1 a 3 <sup>2</sup> |
| ISO 140-9<br>ISO 140-12  | ISO 10848<br>parte 2                   |
| ISO 140-2  | ISO 12999-1                            |

<sup>1</sup> La norma ISO 140-13 fue revisada y cancelada por la ISO 140-14:2004/Cor 1:2007. Las partes 15 y 17 nunca fueron publicadas y se incorporaron como revisiones a la ISO 140 1-3 e ISO 10848 respectivamente.

<sup>2</sup> Parte 1 recién publicada. La parte 2 se publicará próximamente y la parte 3 se encuentra en desarrollo.

Por lo que respecta a la ISO 140-2 relativa a la incertidumbre asociada a las medidas de aislamiento, recientemente se ha sustituido por la ISO 12999 [11]. Paralelamente, en el ámbito internacional han surgido nuevas inquietudes tales como la clasificación de productos de construcción, sostenibilidad de la edificación y cuestionamiento acerca de la idoneidad y variedad de descriptores objetivos de aislamiento acústico existentes. Por ejemplo, en algunos países del norte de Europa, los parámetros que caracterizan el aislamiento acústico de los elementos de construcción y/o de los elementos constructivos se evalúan considerando el comportamiento acústico de los mismos desde 50 Hz mientras que la normativa de medida [2,7] y evaluación del aislamiento [12] hasta ahora no incorpora procedimientos por debajo de 100 Hz, excepto en forma de recomendaciones.

Por otra parte cabe señalar que ya en 2010, Rasmussen [13,14] denunciaba la gran variedad de descriptores de aislamiento existentes, valores límites exigidos y la necesidad de investigar en este campo con el fin de proponer nuevos descriptores de aislamiento armonizados que incorporaran debidamente las recientes y crecientes demandas de la sociedad. Así mismo puso en evidencia la disparidad y escasez de esquemas de clasificación acústica de viviendas existentes en Europa [14] provocando el debate al respecto. Tanto desde los organismos responsables de normalización, ISO TC43/SC2, como desde muy diversas instituciones y organizaciones se está trabajando para revisar la normativa a partir de la cual se pasa de valores medidos o estimados en frecuencias a valores únicos [12] que son los comúnmente manejados por proyectistas, constructores, legisladores y usuarios finales. En concreto, desde el grupo de trabajo COST TU0901 [15] se ha trabajado a lo largo de un periodo de 4 años para elaborar una propuesta de indicadores de aislamiento acústico consensuados entre un gran número de expertos así como una propuesta preliminar de esquema de clasificación acústica que pudiera ser adoptada a nivel internacional conforme cada país fuera desarrollando su propia legislación en materia de aislamiento acústico. Esta propuesta ha servido de base para la creación de un nuevo grupo de trabajo ISO TC43/SC2/WG 29 "Acoustic classification scheme for buildings" como se explicará más adelante.

## 2. ¿POR QUÉ ARMONIZAR DESCRIPTORES?

### 2.1 Descriptores posibles de acuerdo a ISO 717 y equivalencias

Los descriptores de aislamiento acústico tratan de resumir en un valor único el comportamiento de las diversas soluciones constructivas. Sin embargo el aislamiento acústico es función de la frecuencia y por tanto se estima y mide bien en octavas o tercios de octavas. El hecho de convertir una información expresada en frecuencias en un valor global, conlleva algún tipo de hipótesis, que hará que el valor global resultante refleje en mayor o menor medida la realidad que se desea representar, en este caso el aislamiento.

Según la normativa internacional en vigor, el procedimiento normalizado para calcular el valor global consiste en comparar la curva de aislamiento medida o estimada con una curva de referencia dada siguiendo un determinado procedimiento. El valor global obtenido por este procedimiento se identifica con el subíndice "w" [12]. Por lo que respecta a ruido aéreo y fachadas, la normativa incluye el cálculo de los denominados "términos de adaptación espectral"  $C$  y  $C_{tr}$  que dan cuenta respectivamente de cómo variarían los valores globales en el caso de que la fuente de ruido fuera predominantemente de un tipo (ruido rosa) o con más peso en bajas frecuencias (ruido de tráfico). Para ruido de impacto se introduce el cálculo del término de adaptación espectral  $C_1$  para evaluar el comportamiento del forjado ante estímulos con alto contenido en bajas frecuencias.

Otro procedimiento cada vez más utilizado es efectuar una ponderación espectral basada en las curvas normalizadas de ruido rosa y de ruido de automóviles, ponderadas  $A$ ,

eligiendo el rango de frecuencias de interés para la realización de la ponderación. Por ejemplo para el caso de querer calcular el valor global de una diferencia de niveles estandarizada medida entre 50 y 5000 Hz, se podrían calcular:

$$D_{nTA 50-5000} = -10 \log_{10} \sum_k 10^{\frac{L_{A,k} - D_{nT,k}}{10}} \quad (1)$$

$$D_{nTAtr 50-5000} = -10 \log_{10} \sum_k 10^{\frac{L_{Atr,k} - D_{nT,k}}{10}} \quad (2)$$

Donde en las ecuaciones (1) y (2) el subíndice “k” alude a cada banda de tercio de octava y los valores  $L_{A,k}$  y  $L_{Atr,k}$  se corresponden con las curvas normalizadas de ruido rosa y de automóviles, ponderadas A, respectivamente. El rango de frecuencias utilizado, por ejemplo, en España cuando se trabaja con ruido aéreo y/o fachadas es entre 100 y 5000 Hz, pero esto no es así en general, como se observará más adelante.

Está demostrado [16–18] que al sumar los términos de adaptación espectral C y  $C_{tr}$  a los valores globales de aislamiento obtenidos por el procedimiento normalizado, los resultados son prácticamente idénticos a los obtenidos cuando se efectúa una ponderación espectral basada en las curvas normalizadas de ruido rosa y de ruido de automóviles ponderadas A, siempre y cuando el rango de frecuencias utilizado en ambos casos sea el mismo. Es decir, se cumple por ejemplo:

$$\begin{aligned} R_w + C_{50-5000} &\approx R_{A 50-5000} \\ R_w + C_{tr 50-5000} &\approx R_{tr 50-5000} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_w + C_{100-3150} &\approx R_{A 100-3150} \\ R_w + C_{tr 100-3150} &\approx R_{tr 100-3150} \end{aligned}$$

Es precisamente la posibilidad de determinar los términos de adaptación espectral, entre otras cosas, lo que diversifica la oferta de indicadores de aislamiento acústico hasta límites insospechados.

Tabla 2: Oferta de indicadores de aislamiento según ISO 717<sup>3</sup> [13]

| ISO 717:2013<br>Descriptor para la<br>evaluación in situ del<br>aislamiento acústico | Aislamiento a ruido<br>aéreo entre recintos<br>(ISO 717-1)              | Aislamiento a ruido<br>aéreo de fachadas<br>(ISO 717-1)  | Nivel de ruido de<br>impacto<br>(ISO 717-2) |
|--|---|--|---|
| Descriptor básicos<br>(valores numéricos<br>únicos)                                  | $R'_w$<br>$D_{n,w}$<br>$D_{nT,w}$                                       | $R'_{45,w}$<br>$D_{2m,n,w}$<br>$D_{2m,nT,w}$   | $L'_{n,w}$<br>$L'_{nT,w}$                   |
| Términos de adaptación<br>espectral  | Sin corrección<br>C<br>$C_{50-3150}$<br>$C_{100-5000}$<br>$C_{50-5000}$ | Sin corrección<br>C $C_{tr}$<br>$C_{50-3150}$ $C_{tr,50-3150}$<br>$C_{100-5000}$ $C_{tr,100-5000}$<br>$C_{50-5000}$ $C_{tr,50-5000}$ | Sin corrección<br>$C_l$<br>$C_{l,50-2500}$  |
| Número total de<br>descriptores  | 3 x 5 = 15  | 3 x 9 = 27   | 2 x 3 = 6                                   |

<sup>3</sup> Para fachadas incluso se puede ampliar la oferta si se consideran los parámetros medidos según ISO 140-5

La tabla 2 resume los indicadores que, de acuerdo a la normativa vigente (ISO 717-1 y 2), pueden ser utilizados para evaluar el aislamiento acústico a ruido aéreo, de fachadas e impacto.

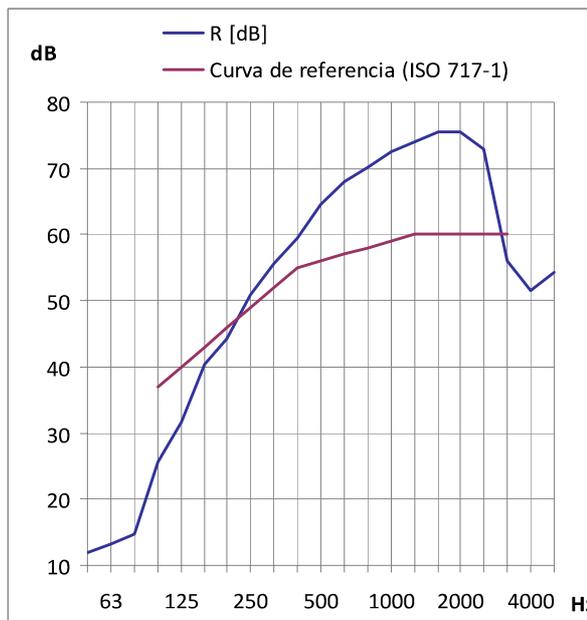
Como se puede observar, hay hasta 15 opciones para ruido aéreo, 27 para fachadas y 6 para impacto. Una oferta tan extensa no es compatible con el actual proceso de globalización en el que todos los sectores implicados en el producto “edificio” cada vez más necesitan hablar y entender un mismo lenguaje, tanto proyectistas, arquitectos, fabricantes de productos de construcción, legisladores y usuarios finales.

## 2.2 Importancia de los términos de adaptación espectral

Según se deduce de la tabla 2, la gran diversidad de la oferta viene motivada en gran parte por la posibilidad de calcular los términos de adaptación espectral en distintos rangos de frecuencias.

En la mayor parte de los países en los que existe normativa de obligado cumplimiento en materia de aislamiento acústico, los valores regulados se determinan a partir de 100 Hz. Sin embargo el uso de materiales de construcción cada vez más ligeros y con prestaciones acústicas a bajas frecuencias algo más bajas de lo habitual, ha motivado el debate sobre la necesidad de incluir el comportamiento de las soluciones constructivas por debajo de 100 Hz a la hora de calcular los valores globales correspondientes. Esto, que a priori parece razonable y trata de defender los intereses del usuario final, no es una decisión baladí y en ocasiones puede llegar a ser contraproducente.

Las figuras 1 (medida en laboratorio) y 2 (medida in situ) muestran dos casos reales en los que el uso de los términos de adaptación espectral modifica significativamente el valor global asociado a la solución constructiva, y no en todos los casos es obvio que esa modificación beneficie al usuario final.



|                |     |
|----------------|-----|
| $R_w$          | 56  |
| $C_{100-3150}$ | -4  |
| $C_{50-3150}$  | -12 |
| $C_{50-5000}$  | -11 |
| $C_{100-5000}$ | -4  |

Figura 1: Índice de reducción sonora y términos de adaptación espectral para una pared ligera de placas de yeso(en dB)

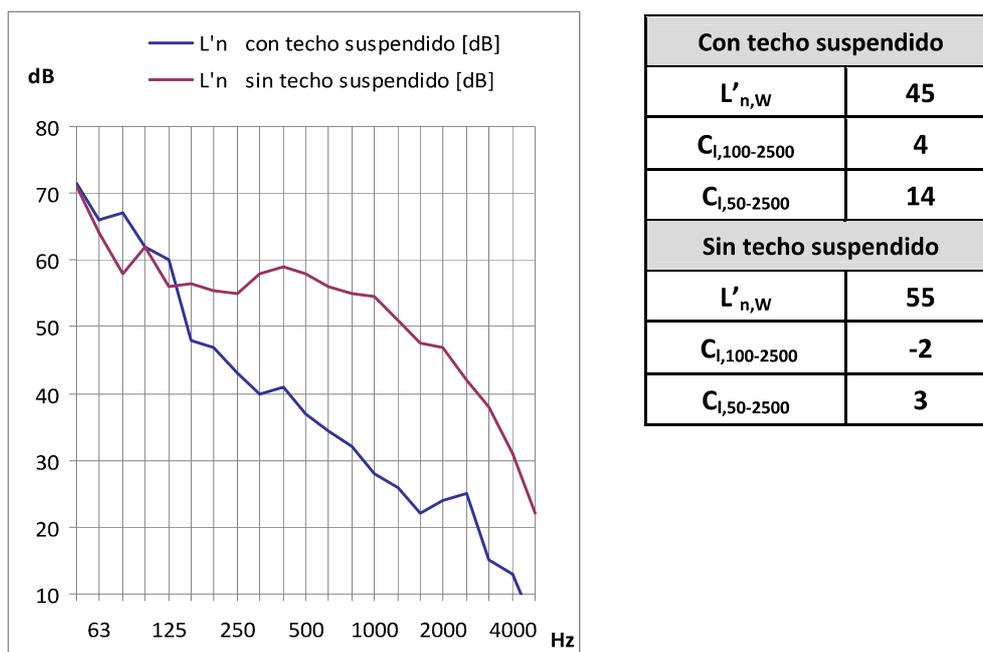


Figura 2: Nivel de presión de ruido de impacto normalizado y términos de adaptación espectral para un forjado de madera con y sin techo suspendido (en dB). [19]

La solución constructiva mostrada en la figura 1 no presenta buen aislamiento a ruido aéreo a bajas frecuencias y esto se ve corregido por el término C calculado en el rango de frecuencias que interese.

Obsérvese que el índice de reducción sonora  $R_{A100-3150} \approx R_w + C_{100-3150} = 52$  dB, mientras que  $R_{A50-3150} \approx R_w + C_{50-3150} = 44$  dB. El hecho de modificar el rango de frecuencias empleado para calcular el término de adaptación espectral llega a modificar el valor del descriptor de aislamiento en 8 dB.

Por otra parte, la figura 2 representa dos soluciones de forjado de madera con y sin falso techo suspendido ensayadas in situ. Como se puede ver, la inclusión del falso techo empeora ligeramente el comportamiento a bajas frecuencias y lo mejora a medias y altas. El término de adaptación espectral  $C_1$  refleja el mal comportamiento a bajas frecuencias pero sin embargo, para el caso con falso techo, ignora la mejora introducida a frecuencias medias y altas. Esto se acentúa cuando se considera el término  $C_{1,50-2500}$ , calculado desde 50 Hz. No hay duda que en este caso el aspecto subjetivo y el tipo de fuente de impacto son determinantes para poder decir cuál es el mejor resultado entre los dos y si debe tenerse en consideración el término de adaptación espectral.

### 2.3 Uso de los descriptores en Europa y Latinoamérica

Como se ha comentado en el apartado 2.1, la oferta de descriptores de aislamiento acústico es muy amplia y desafortunadamente, a la hora de legislar, no todos los países en los que existe legislación han optado por limitar el mismo descriptor. Existe abundante literatura en la que se exponen y comparan los descriptores y límites existentes en Europa [13,14,20]. La tabla 3 resume cuántos países usan alguno de los indicadores posibles.

Tabla 3: *Descriptor de aislamiento acústico utilizados en la normativa que regula las exigencias en 30 países en Europa. Junio 2013 [21]*

| Ruido aéreo  |                                   | Ruido de Impacto |                             |
|--------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------|
| Nº de países | Descriptor                        | Nº de países     | Descriptor                  |
| 16           | $R'_w$                            | 18               | $L'_{n,w}$                  |
| 3            | $R'_w + C$                        | 1                | $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$  |
| 1            | $R'_w + C_{50-3150}$              | 8                | $L'_{nT,w}$                 |
| 6            | $D_{nT,w}$                        | 2                | $L'_{nT,w} + C_I$           |
| 2            | $D_{nT,w} + C$                    | 1                | $L'_w$                      |
| 1            | $D_{nT,A} (\approx D_{nT,w} + C)$ | ?                | Variantes de los anteriores |
| 1            | $D_{nT,w} + C_{tr}$               |                  |                             |
| ?            | Variantes de los anterior         |                  |                             |

Por lo que respecta a los países de Latinoamérica, no existe mucha información de fácil acceso relativa a la normativa de aislamiento acústico en entornos residenciales. Se presenta a continuación datos de algunos países a título de ejemplo.

En Argentina, por ejemplo, se encuentra en fase de revisión final la norma IRAM 4044 [22] que establece los valores mínimos de aislamiento a ruido aéreo y fachadas y máximos de nivel de ruido de impacto. En el borrador que actualmente se está debatiendo, se propone así mismo dos niveles distintos de protección frente al ruido, denominados Escala I y Escala II, siendo la I, el mínimo exigible y la II un nivel de protección ligeramente superior. Los valores exigidos varían en función de los espacios que se delimitan. Los descriptores elegidos en este caso son  $R'_w$ ,  $L'_{n,w}$  y  $D_{2m,nT,w}$ . A título de ejemplo se presenta en la tabla 4 algunos de los valores:

Tabla 4: *Argentina. Extracto de algunos valores límite propuestos en el documento de revisión de la norma IRAM 4044 (en fase de revisión final)*

| Descripción                                      | Escala I<br>$R'_w$ (dB) | Escala II<br>$R'_w$ (dB) | Escala I<br>$L'_{n,w}$ (dB) | Escala II<br>$L'_{n,w}$ (dB) | Escala I<br>$D_{2m,nT,w}$ (dB) | Escala II<br>$D_{2m,nT,w}$ (dB) |
|--|-------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <b>VIVIENDAS MULTIFAMILIARES</b>                 |                         |                          |                             |                              |                                |                                 |
| Entre viviendas linderas                         | $\geq 50$               | $\geq 56$                | $\leq 53$                   | $\leq 39$                    | -                              | -                               |
| Entre viviendas y lugares públicos               | $\geq 50$               | $\geq 56$                | -                           | -                            | -                              | -                               |
| Entre departamentos y espacios de uso común      | $\geq 54$               | $\geq 60$                | $\leq 53$                   | $\leq 39$                    | -                              | -                               |
| ..... (existen muchos más supuestos)             |                         |                          |                             |                              |                                |                                 |
| <b>HOSPEDAJE</b>                                 |                         |                          |                             |                              |                                |                                 |
| Entre habitaciones                               | $\geq 47$               | $\geq 53$                | $\leq 53$                   | $\leq 46$                    |                                |                                 |
| .....  |                         |                          |                             |                              |                                |                                 |
| <b>SALUD</b>                                     |                         |                          |                             |                              |                                |                                 |
| Entre habitaciones o consultorios entre sí       |                         |                          |                             |                              |                                |                                 |
| .....  |                         |                          |                             |                              |                                |                                 |
| <b>FACHADAS</b>                                  |                         |                          |                             |                              |                                |                                 |
| Cerramiento opaco                                |                         |                          |                             |                              | $\geq 53$                      | $\geq 59$                       |
| Cerramiento vidriado (hasta 20% del cerramiento) |                         |                          |                             |                              | $\geq 36$                      | $\geq 42$                       |

En México, las NMX /NOM son de aplicación voluntaria. Por lo que respecta a las condiciones acústicas de la vivienda, existe una norma [23] que regula los valores máximos permisibles en el interior de distintos recintos en función del uso de las mismas y del horario, con el fin de cumplir con unas condiciones de confort acústico mínimas. La tabla 5 muestra un resumen de los valores máximos permitidos en los locales con mayores necesidades de aislamiento en el caso del horario diurno (de 8-22), aunque la norma no especifica qué tipo de parámetro se regula. La norma contempla muchos más escenarios y horario nocturno.

Tabla 5: Méjico. Valores máximos permitidos en los locales con mayores necesidades de aislamiento en el caso del horario diurno (de 8-22) en dB. [23]

| Residencial | Sanatorios y Hospitales |             | Docente |              | Administrativo/Oficinas |           |
|-------------|-------------------------|-------------|---------|--------------|-------------------------|-----------|
| Dormitorios | Estancias               | Dormitorios | Aulas   | Sala Lectura | Oficinas                | Despachos |
| 40          | 45                      | 30          | 40      | 35           | 45                      | 40        |

Esta misma norma regula así mismo los valores mínimos de atenuación acústica  $R_{A,tr}$  de vidrios y/o ventanas en función del tipo de ventana, la superficie del vidrio, el tipo de estancia en la que se encuentra y el nivel de ruido exterior  $L_d$ . A título de ejemplo cabe señalar que si se trata de un dormitorio en una vivienda particular (uso residencial privado) y el  $L_d < 60$  dB, se exige que la ventana tenga un  $R_{A,tr} > 20$  dB independientemente del área de la ventana. No existe legislación respecto al aislamiento acústico a ruido aéreo e impacto requerido a las soluciones constructivas ni por tanto parámetro que regule las exigencias. En Méjico existe así mismo normativa que regula los niveles máximos de emisión de fuentes fijas en función del tipo de emisor, entorno y horario [24,25] así como de vehículos en general.

En Brasil no existe ninguna ley de que regule el aislamiento a ruido aéreo e impacto, sin embargo existe una norma brasileña [26], que establece los valores mínimo exigibles a las fachadas, los cuales oscilan entre  $20 \text{ dB} < D_{2m,nT,w} < 30$  dB en función del nivel de ruido del espacio exterior (menos o más ruidoso).

En Bolivia no existe normativa relacionada con el aislamiento acústico en la edificación, aunque sí existe legislación relacionada con el ruido ambiental orientada a preservar y mantener la salud de los ciudadanos [27–29].

En Chile, la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones [30] dedica el Título 4 (de la Arquitectura), Capítulo 1 (de la habitabilidad), Artículo 4.1.6 a especificar las condiciones de aislamiento acústico exigibles a los elementos constructivos y cómo verificar el cumplimiento de las exigencias. Establece como valores mínimos de aislamiento a ruido aéreo entre viviendas en general valores de  $R_w \geq 45$  dBA y niveles de presión de ruido de impacto normalizado  $L_n \leq 75$  dB, valores que no han sido actualizados desde Enero de 2006. La Ordenanza no incluye ninguna exigencia acústica para las fachadas. Por lo que respecta a la verificación del cumplimiento, la ordenanza es algo ambigua, permitiendo demostrar dicho cumplimiento bien utilizando alguna de las soluciones inscritas en el Listado Oficial de Soluciones Constructivas para el Aislamiento Acústico del Ministerio de Urbanismo y Vivienda, bien mediante informes de Ensayo (medidas de aislamiento acústico en laboratorio) o informes de Inspección (medidas de aislamiento realizadas in situ)

A pesar de disponer información de muy pocos países de momento, se puede concluir que en Iberoamérica en general existe poca legislación relativa al aislamiento acústico de los edificios y, al igual que ocurre en Europa, los descriptores y límites exigidos son diferentes entre unos países y otros. Sería conveniente, en lo posible, unificar criterios al menos respecto a los descriptores a utilizar y en un futuro caminar hacia una convergencia en materia de aislamiento acústico en la edificación.

## 2.4 Propuestas preliminares y futura revisión ISO 717

Tanto en el seno de ISO como desde el proyecto COST TU0901 se ha trabajado en lanzar alguna propuesta de indicadores y de procedimiento de evaluación de valores globales que pudiera ser comúnmente aceptada. Son muchos los trabajos publicados en los últimos

años en esta línea, entre los cuales cabe destacar las propuestas realizada por el coordinador del grupo de trabajo en ISO encargado de actualizar la ISO 717 [31]. Esta propuesta sin embargo no ha salido adelante por el momento y se ha pospuesto la modificación de la norma ISO 717 en espera de más resultados científicos sobre la necesidad, efectos y forma de incorporar el comportamiento de las soluciones constructivas a bajas frecuencias en el cálculo de los valores globales de aislamiento [32–34].

En todo caso, como fruto del trabajo de COST TU0901 se ha redactado una propuesta de indicadores [35] así como una propuesta de traducción entre los descriptores existentes y los propuestos [36]. Como se ve en la tabla 4, se propone mantener la posibilidad de determinar los valores únicos desde 50 Hz o desde 100 Hz, aunque se hace la recomendación de converger a un único parámetro evaluado desde 50 Hz en las sucesivas modificaciones de normativa que se emprendan.

| Magnitud                | Parámetro                      | Rango Frecuencia       | Valor único                    | Notación provisional             |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Aéreo                   | $D_{nT}$                       | 50 o 100 – 3150 Hz     | A rosa                         | $D_{nT,50}$ y $D_{nT,100}$       |
| Impacto                 | $L_{nT}$                       | 50 o 100 – 2500 Hz     | A pisada / w- curva referencia | $L_{nT,50}$ y $L_{nT,100}$       |
| Fachada                 | $D_{2m,Is,nT}$                 | 50 o 100 – 3150 Hz     | A tráfico (o rosa?)            | $D_{2m,nT,50}$ y $D_{2m,nT,100}$ |
| Instalaciones / equipos | $L_{eq,nT}$ y/o $L_{F,max,nT}$ | 63 – 8000 Hz (octavas) | Ponderación A                  | $L_{Aeq,nT}$ y/o $L_{AF,max,nT}$ |

Tabla 4: Resumen descriptores propuestos COST TU 0901 [35]

### 3. SUSTITUCIÓN DE ISO 140-4 POR ISO 16283-1

Ante la perspectiva de que en un futuro el cálculo de los valores globales de aislamiento incorpore los valores en las bandas de tercio de octava por debajo de 100 Hz, era necesario adaptar la normativa de medida de forma que incorporara un procedimiento válido para aquellas situaciones en las que el campo no puede considerarse difuso, solventando también el problema de la medida del tiempo de reverberación a bajas frecuencias.

Desde hace casi dos décadas existen propuestas de procedimientos para realizar medidas de niveles de presión en habitaciones por debajo de 100 Hz [37] y desde entonces ha habido numerosas publicaciones orientados al estudio del comportamiento de los cerramientos y el campos sonoro en habitaciones a bajas frecuencias [38–42]. El conjunto de estos y otros estudios ha dado lugar a alguna de las propuestas que hoy se encuentran en la serie ISO 16283.

El objetivo de la serie ISO 16283 es por lo tanto el de solventar los vacíos que las normas ISO 140-4, 5 y 7 presentaban por lo que respecta a la medida del aislamiento en situaciones en las que el campo no es difuso y así como mejorar el procedimiento de medida con el objetivo de reducir la incertidumbre.

En las situaciones en las que se estima que el campo no es difuso, se introduce un protocolo de medida específico que es de uso obligado sólo en salas cuyo volumen sea menor de 25 m<sup>3</sup> y sólo cuando se desee registrar los datos de medida por debajo de 100 Hz. La elección del volumen 25 m<sup>3</sup> es de compromiso; de hecho el problema de no existencia de campo difuso a bajas frecuencias también se da en salas más grandes y lo que se ha tratado con esta elección es de reducir el número de situaciones en las que el uso del procedimiento específico de bajas frecuencias es necesario. El Anexo D de la antigua ISO 140-4, establece que cuando se trata de medir hasta 50 Hz, hay que aumentar el número de posiciones de fuente y de micrófonos, las distancias mínimas y los tiempos de promedio. Indica así mismo

que en todo caso no se puede esperar condiciones de campo difuso a bajas frecuencias para salas con volúmenes de menos de  $50 \text{ m}^3$ .

Así mismo, la norma ISO 16283 incorpora nuevas propuestas de escaneado manual para el muestreo del campo sonoro y solventa la medida del tiempo de reverberación a bajas frecuencias, proponiendo utilizar el valor del  $T_r$  medido en la octava de 63 Hz, para las tres bandas de tercio de octava de 50 Hz, 63 Hz y 80 Hz.

### 3.1 Procedimiento por defecto (novedades)

Siempre que se trate de medidas en salas de más de  $25 \text{ m}^3$ , el procedimiento de medida es bastante similar al descrito en la norma ISO 140 (aunque no idéntico). Por lo que respecta al muestreo espacial del nivel presión sonora, añade nuevas propuestas de escaneado manual.

La figura 3 muestra los cuatro tipos de trayectorias de escaneado manual adicionales propuestas en la norma ISO 16283-1: Trayectoria circular, helicoidal, cilíndrica y en tres semicírculos, ya estudiadas previamente por Hopkins [43,44]. Este procedimiento no está especialmente indicado si el ruido de fondo es excesivamente variable en el tiempo que puede durar un escaneado (1 minuto si se quiere muestrear por debajo de 100 Hz).

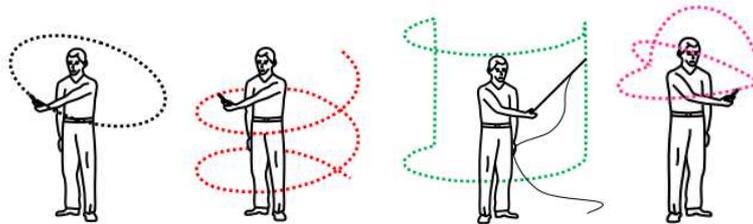


Figura 3: *Diferentes tipos de trayectorias de escaneado manual de micrófonos* [8]

### 3.2 Procedimiento específico de bajas frecuencias

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

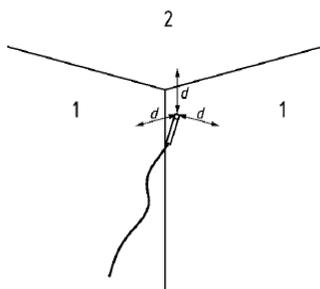


Fig. 4: *Procedimiento medida esquina* [8]

Este procedimiento obliga a medir (en salas de  $V < 25 \text{ m}^3$ ) en las esquinas de la sala (Fig. 4) y obtener lo que se denomina un nivel de presión en la esquina ( $L_{\text{esquina}}$ ) para las banda de tercio de octava de 50, 63 y 80 Hz. El valor de  $L_{\text{esquina}}$  depende de si se usa un solo altavoz o varios simultáneamente. En todo caso, y para cada banda de tercio de octava, se debe medir el nivel de presión sonora en cuatro esquinas, dos de ellas en la parte superior de la sala y dos de ellas en la inferior.

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 y se sitúa en varias posiciones, se determina el valor del nivel de presión acústica de esquina de cada banda de 50, 63 y 80 Hz, a partir de la ecuación (3):

$$L_{\text{esquina}} = 10 \cdot \log \left( \frac{P_{\text{esquina } 1}^2 + P_{\text{esquina } 2}^2 + \dots + P_{\text{esquina } q}^2}{q \cdot P_0^2} \right) \quad (3)$$

Donde  $q$  representa el número de posiciones de fuente y cada uno de los sumandos del numerador se corresponde con el valor de nivel de presión sonora máximo obtenido de entre las cuatro esquinas en las que se haya medido, para la banda de tercio de octava de que se trate, en la “ $q$ -ésima” posición de fuente.

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  $L$  obtenido en el tercio de octava correspondiente por el procedimiento elegido por defecto (micrófonos fijos, barridos automatizados, barridos manuales...) mediante la expresión:

$$L_{\text{LF}} = 10 \cdot \log \left[ \frac{10^{\frac{L_{\text{esquina}}}{10}} + \left( 2 \cdot 10^{\frac{L}{10}} \right)}{3} \right] \quad (4)$$

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

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.

Las tablas 5 y 6 resumen, para un caso real dos habitaciones de 26,1 m<sup>3</sup>, los resultados obtenidos utilizando el procedimiento de bajas frecuencias junto con el procedimiento por defecto de puntos fijos o el de escaneado mediante tres semicírculos.

Tabla 5: *Escaneado mediante puntos fijos+ procedimiento esquinas.*

| Frecuencia Hz | L1 [dB] | L1esq [dB] | L1LF [dB] | L2 [dB] | L2esq [dB] | L2LF [dB] |
|---------------|---------|------------|-----------|---------|------------|-----------|
| 50            | 84,4    | 88,9       | 86,4      | 49,9    | 54,7       | 52,1      |
| 63            | 86,0    | 92,6       | 89,4      | 50,5    | 57,1       | 53,9      |
| 80            | 88,0    | 98,0       | 94,0      | 44,6    | 48,6       | 46,4      |

Tabla 6: *Escaneado mediante tres semicírculos + procedimiento esquinas.*

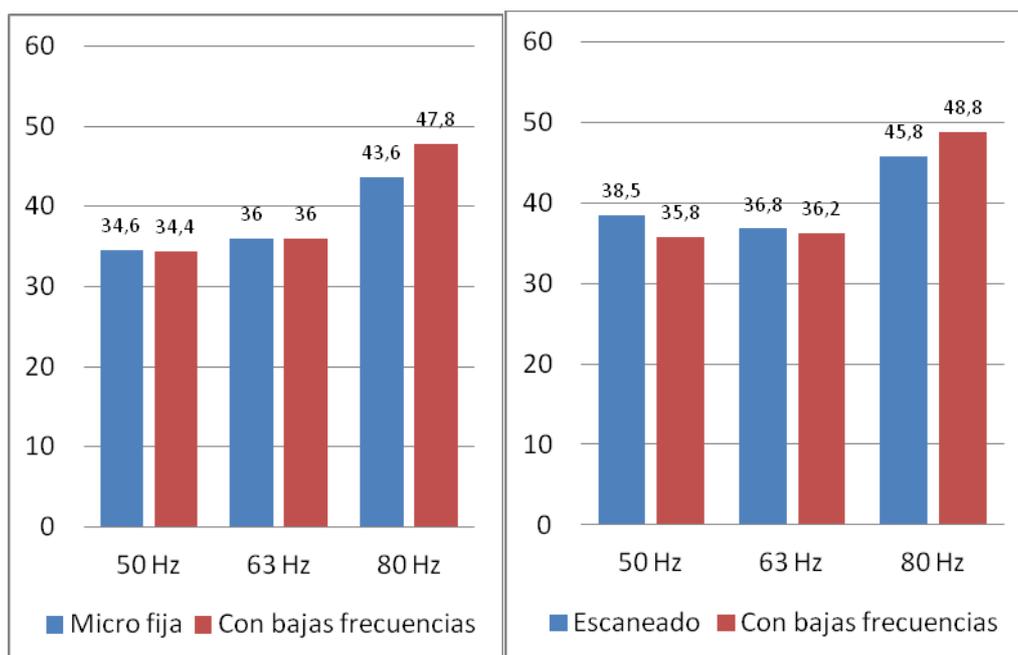
| Frecuencia Hz | L1 [dB] | L1esq [dB] | L1LF [dB] | L2 [dB] | L2esq [dB] | L2LF [dB] |
|---------------|---------|------------|-----------|---------|------------|-----------|
| 50            | 85,3    | 88,9       | 86,8      | 46,9    | 54,7       | 51,1      |
| 63            | 84,8    | 92,6       | 89,1      | 48,5    | 57,1       | 53,4      |
| 80            | 86,8    | 98,0       | 93,9      | 41,1    | 48,6       | 45,2      |

Donde L1 se corresponde con el valor medio de nivel de presión sonora obtenido en la sala emisora por el procedimiento indicado, L1esq se corresponde con el valor resultante de la ecuación (3) usando dos posiciones de fuente, y L1LF, con el valor resultante de la ecuación (4). La misma nomenclatura aplica para L2, con la salvedad de que L2 lleva incorporada la corrección de ruido de fondo en los casos que ha sido necesario.

Como se puede observar, los valores de esquina son siempre superiores a los obtenidos por el procedimiento por defecto, y al combinar ambos, el valor resultante para las bandas de tercio de octava inferiores resulta algo superior al que se hubiera obtenido si tan sólo se tuviera en cuenta el método de baja frecuencia.

El hecho de añadir el muestreo específico de bajas frecuencias en las esquinas, por tanto, compensa la escasa distribución de modos propios a esas frecuencias, por lo que respecta al muestreo del campo sonoro, sin embargo esto no siempre se ve reflejado en la determinación del aislamiento. En aquellas situaciones en las que tanto la sala emisora como la receptora son de tamaños parecidos (y pequeños), la corrección del nivel de presión a bajas frecuencias se aplica en ambas salas y el resultado final de aislamiento apenas se ve afectado por tratarse esencialmente de una diferencia de niveles entre ambas salas. Las figuras 5 y 6 reflejan bien este punto excepto a 80 Hz, frecuencia para la cual el incremento de presión obtenido al medir en las esquinas en la sala receptora no es del mismo orden que el obtenido en la sala emisora y el aislamiento resultante a esa frecuencia “mejora” al incorporar el método específico por bajas frecuencias, lo cual, en el caso que nos ocupa, tiene poco sentido.

Dada la escasa experiencia en el uso de esta norma y concretamente en el uso del procedimiento específico de bajas frecuencias, es interesante fomentar la investigación en esta línea.



Figuras 5 y 6:  $D_{nT}$  - Método por defecto (puntos fijos/escaneado) y añadiendo la corrección utilizando el procedimiento específico de bajas frecuencias.

### 3.3 Otros cambios relevantes incluidos en la nueva ISO 16283-1

Además de lo anteriormente expuesto, la nueva ISO 16283 incorpora algunas especificaciones adicionales introducidas con el fin de minimizar los posibles errores de medida. Algunos de estos cambios pueden afectar directamente a procedimientos prácticos de medida.

En caso de utilizarse un único altavoz y un micrófono, lo cual es lo más habitual en el caso de mediciones in situ, el procedimiento debe ser el siguiente: Se mide el nivel de presión sonora tanto en el recinto fuente como en el recinto receptor para la primera posición de

altavoz. Se calcula el nivel de presión acústica promediado energéticamente en ambos recintos para la primera posición de altavoz y se realizan las correcciones por ruido de fondo necesarias. A continuación se calculan las diferencias de niveles o índice de reducción sonora para la primera posición de altavoz. Los niveles de ambos recintos deben medirse antes de mover el altavoz. Se cambia la posición de altavoz y se repite el procedimiento. Es decir las diferencias de niveles o índices de reducción sonora se calculan por separado para posición de altavoz y se promedian después para las distintas posiciones de altavoz. Sin embargo, en la antigua ISO 140-4 y su correspondiente parte de la ISO 140-14, los promedios energéticos del nivel de presión sonora tanto en la sala emisora como en la receptora se podían efectuar para distintas posiciones de altavoz. Esto puede ser de poca importancia si el ruido de fondo es despreciable, pero puede dar lugar a resultados distintos si el ruido de fondo afecta de forma diferente a las distintas posiciones de micrófono.

Es más, con el fin de reducir al máximo el posibles efecto de la distribución modal de la sala cuando se mide usando posiciones fijas de micrófono, la ISO 16283 especifica que en ningún caso dos posiciones de micrófono pueden estar situadas en el mismo plano con respecto a los límites del recinto. Esto quiere decir que cada posición de micrófono debe seleccionarse modificando la altura del mismo y verificando la distancia a las paredes. Por lo que respecta a las posiciones de altavoz, aplican las mismas condiciones.

## 4. ESQUEMAS DE CLASIFICACIÓN ACÚSTICA DE EDIFICIOS

Un esquema de clasificación acústica sirve para describir distintos niveles de calidad o “clases” por lo que respecta a protección frente a diversos tipos de ruido en las viviendas.

### 4.1 Usos y ventajas de los esquemas de clasificación acústica de viviendas

Cuando compramos una lavadora, es habitual preguntar cómo está etiquetada respecto al consumo energético (A-G). En Europa es normativo que todas las viviendas que se vendan o alquilen cuenten con un Certificado de Eficiencia Energética el cual asigna una clase energética mediante el etiquetado análogo al del consumo (A-G) [45]. ¿Por qué no plantearse un Certificado de Eficiencia Acústica y su consecuente asignación de clase y etiquetado? ¿Qué ventajas reales aporta?

- La clasificación acústica de viviendas es una potente herramienta para describir las condiciones acústicas y de protección frente al ruido tanto de viviendas de nueva construcción como ya existentes. Proporcionan información objetiva y normalizada acerca de las propiedades acústicas a los posibles usuarios ya en calidad de compradores o inquilinos.
- Es así mismo una herramienta comercial y posible marca de calidad que los promotores y constructores pueden utilizar, garantizando una determinada calidad acústica de la vivienda.
- Puede servir de herramienta para catalogar un edificio antiguo desde el punto de vista acústico antes y después de efectuarse una reforma. Este hecho puede propiciar el esfuerzo adicional que supone incorporar los conceptos de aislamiento acústico cuando se aborda una reforma o rehabilitación lo cual es necesario desde el momento en que se piensa en el proyecto de reforma.
- La existencia de un esquema de clasificación acústica sirve también de herramienta a los legisladores a la hora de definir las exigencias mínimas de aislamiento acústico en su país.

- Ante las iniciativas actuales relativas a la clasificación del ambiente interior (indoor climate classification) y /o de sostenibilidad, las prestaciones acústicas son parámetros que deben ser tenidos en cuenta. Para ello es bueno disponer de un esquema internacionalmente aceptado pues de momento las prestaciones acústicas se incorporan a estas clasificaciones de forma no suficientemente coordinada con las legislaciones vigentes o con los diversos esquemas de clasificación acústica existentes.
- Un etiquetado acústico de las viviendas es muy fácil de asimilar por el público y el sector de la construcción en general dada su analogía con el etiquetado térmico, y ayudará a integrar las especificaciones acústicas de los edificios al mismo nivel que el resto de parámetros de calidad de los edificios tanto nuevos como renovados.

#### 4.2 Esquemas existentes en Europa

En lo sucesivo, se entiende que un esquema de clasificación acústica es un conjunto de al menos tres clases con distintas prestaciones acústicas frente a un mismo evento. En Europa hay diez países que cuentan con un esquema de clasificación acústica de edificios según se resume en la tabla 7. Para cada esquema se detalla el nombre de las clases, el año de publicación desde la primera versión y si existe o no relación directa con los correspondientes códigos de edificación nacionales. Cada uno de los esquemas, determina las clases en función de determinados aspectos acústicos y no siempre son iguales. La referencia [46] describe en detalle los esquemas y criterios de clases utilizados, mientras que las referencias [47,48] se centran más en el aspecto relacionado con las fachadas. Se puede encontrar información completa acerca de los esquemas de clasificación acústica en la referencia [49].

A pesar de que puedan parecer análogas, como por ejemplo NL e IT, en realidad son muy distintos. Incluso los esquemas de los países nórdicos difieren mucho más de lo a la vista de la nomenclatura y número de clases parece [48].

Si se comparan los datos de los diez esquemas de clasificación acústica existentes en Europa y los criterios adoptados para definir las clases [46] se observan diferencias significativas:

- Diversidad de número de clases (entre 3 y 5) y nomenclatura de las mismas.
- Rango y posición de las clases así como “escalones” entre clases.
- Descriptor de aislamiento acústico utilizado para definir las clases, incluyendo el uso o no de los términos de adaptación espectral a bajas frecuencias según ISO 717:2013.[12]
- Mismo o distinta definición de las clases para viviendas en altura (pisos) o unifamiliares (casas bajas adosadas o aisladas)
- Relación directa con exigencias normativas o no.

#### 4.3 Aspectos relevantes a la hora de elaborar un esquema de clasificación acústica

La propuesta desarrollada en el seno de COST TU0901 se basa en el estudio de los esquemas de clasificación acústica de viviendas ya existentes, así como en otras publicaciones y por supuesto el debate basado en la experiencia y necesidades observadas. Antes de pasar a definir las distintas clases hubo que seleccionar los descriptores de aislamiento acústico que se iban a emplear y proponer una traducción entre los descriptores propuestos y los existentes en los distintos países [35,36].

Tabla 7 – Esquemas de clasificación acústica existentes en Europa y relación con Códigos de la Edificación hasta Julio 2014 -[49]

| País              | Nomenclatura de las clases <sup>(1)</sup> | Año de publicación  | Reference (última versión)     | Link CE/CA | BC Refiere a CA | Comentario     |
|-------------------|---|---------------------|--------------------------------|------------|-----------------|----------------|
| DK                | A / B / C / D                             | 2001/2007           | DS 490 (2007)                  | +          | Clase C         |                |
| FI                | A / B / C / D                             | 2004                | SFS 5907 (2004)                | -          | No existente    | CE = Clase C   |
| IS                | A / B / C / D                             | 2003/2011           | IST 45 (2011)                  | +          | Clase C         |                |
| NO                | A / B / C / D                             | 1997/2005/2008/2012 | NS 8175 (2012)                 | +          | Clase C         |                |
| SE                | A / B / C / D                             | 1996/1998/2004/(*)  | SS 25267 (2004)                | +          | No existente    | CE ~ Clase C   |
| LT                | A / B / C / D / E                         | 2003                | STR 2.01.07 (2003)             | +          | Clase C         |                |
| IT                | I / II / III / IV                         | 2010                | UNI 11367 (2010)               | -          | No existente    | CE ~ Clase III |
| DE <sup>(2)</sup> | III / II / I                              | 1994/2007/2012      | VDI 4100 (2012) <sup>(3)</sup> | -          | No existente    |                |
| AT                | A / B / C / D / E                         | 2012                | ÖNORM B 8115-5 (2012)          | -          | No existente    | CE = Clase C   |
| NL                | I / II / III / IV / V                     | 1999                | NEN 1070 (1999)                | -          | No existente    | CE ~ Clase III |
| COST TU0901       | A/B/C/D/E/F y npd                         | Propuesta 2013      | ISO/TC43/SC2 (2013)            | N/A        | No existente    | (4)            |

Abreviaturas: CE = Código Edificación (exigencias normativas); CA = Esquema de clasificación acústica  
 (1) Las clases se indican en orden descendente: i.e. la mejor clase es la primera.  
 (2) Además, la Sociedad Alemana de Acústica (DEGA) ha publicado una recomendación (DEGA-Empfehlung 103, "Schallschutz im Wohnungsbau – Schallschutzausweis", DEGA, March 2009) para etiquetado acústico de las viviendas. El sistema tiene 7 clases desde A\* hasta F y un código de colores  
 (3) La versión revisada de VDI 4100 publicada en 2012 cambió los descriptores de  $R'_w$  y  $L'_{n,w}$  a  $D_{nT,w}$  y  $L'_{nT}$ . También se elevaron las exigencias de las clases y ahora todas las clases exceden los valores mínimos exigidos por la normativas (con anterioridad, la clase inferior se correspondía con la exigencia normativa).  
 (4) Propuesta preparada por TU0901 [50]. Ahora New Work Item en ISO [51,52].  
 (\*) Borrador ftSS 25267 con un nuevo esquema de clasificación acústica en proceso de encuesta.

La propuesta completa puede encontrarse en la sección 5.4 de la referencia [50], y es idéntica al ISO NWIP in N1218 [51]. Las características principales del esquema de clasificación acústica de viviendas propuesto desde COST TU0901 son:

- Incluye, al igual que la mayoría de las normativas de edificios, criterios relativos al aislamiento a ruido aéreo, impacto, ruido de tráfico y de otras fuentes de ruido exterior, ruido de instalaciones y tiempo de reverberación en zonas comunes como cajas de escaleras o rellanos.
- Se establecen seis clases A-F, con escalones de 4dB entre clases. De momento para cada clase se puede optar por calcular los descriptores de aislamiento acústico desde 100 Hz o desde 50 Hz.
- Los descriptores propuestos se basan en la normativa existente [12] aunque se opta por una nomenclatura simplificada para evitar que un criterio se indique como la suma de dos términos.

Las tablas 8 y 9 representan parte de la propuesta de COST TU0901 a modo de ejemplo.

#### 4.4 Normalización en ISO/TC 43/SC 2: aspectos de debate

Generar una propuesta de esquema de clasificación acústica de viviendas que pudiera ser utilizada en el ámbito internacional ha supuesto indagar a fondo acerca de los esquemas existentes y la filosofía subyacentes en cada una de ellos. A pesar de haber elaborado una propuesta, sin embargo ha quedado patente que algunos aspectos necesitan ser investigados y debatidos en mayor profundidad:

- Los parámetros que delimitan las clases acústicas ¿deben determinarse incluyendo el comportamiento a bajas frecuencias para todas las clases, sólo para las más exigente o en ninguna de ellas?
- ¿Son adecuados los límites y rango (A-F) de las clases propuestas?
- Cuando se trata de valores límite de aislamiento a ruido aéreo e impacto frente a escaleras o zonas comunes, deben ser más o menos estrictos que entre viviendas?
- ¿Es necesario regular el tiempo de reverberación en escaleras y/o zonas comunes?
- ¿Cuántos/qué descriptores utilizar para el ruido de instalaciones? ¿Cómo englobar todas las posibles fuentes?
- Por lo que respecta a la fachada, ¿es mejor limitar el nivel de ruido en el interior, o exigir un aislamiento mínimo de fachada en función del nivel de ruido exterior?
- ¿Debería incluirse el nivel de ruido exterior en los esquemas de clasificación acústica?
- ¿Cómo elaborar un procedimiento de verificación de cumplimiento con una determinada clase?

Tabla 8 – Aislamiento a ruido aéreo entre viviendas y/o otros espacios. Límites de las Clases<sup>(1),(2)</sup> [51].

| Tipo of espacio   | Class A<br>$D_{nT,50}$ (dB) | Class B<br>$D_{nT,50}$ (dB) | Class C<br>$D_{nT,50}$ (dB) | Class D<br>$D_{nT,50}$ (dB) | Class E<br>$D_{nT,50}$ (dB) | Class F<br>$D_{nT,50}$ (dB) |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Entre viviendas y recintos de actividad <sup>(3)</sup>                        | ≥ 68                        | ≥ 64                        | ≥ 60                        | ≥ 56                        | ≥ 52                        | ≥ 48                        |
| Entre viviendas diferentes o vivienda y una habitación externa a la vivienda. | ≥ 62                        | ≥ 58                        | ≥ 54                        | ≥ 50                        | ≥ 46                        | ≥ 42                        |

NOTAS

(1)  $D_{nT,50} = D_{nT,w} + C_{50-3150}$

(2) Como alternativa al parámetro  $D_{nT,50}$ , se puede utilizar el descriptor más comúnmente utilizado  $D_{nT,100} = D_{nT,w} + C$ . En caso de utilizar  $D_{nT,100}$ , las clases se denominarán  $X_{100}$ , eg.  $B_{100}, C_{100}$  etc.

(3) Se consideran recintos de actividad a aquellos espacios que puedan compartir instalaciones como calderas, servicio de lavanderías comunales, o recintos comerciales como cafés, tiendas, talleres... Sin embargo en cada caso se debe estimar los niveles de emisión y diseñar el aislamiento adecuadamente, por ejemplo en salas de fiestas o discotecas. Las oficinas no se consideran recintos ruidosos.

Tabla 9 – Niveles de presión de ruido de impacto en viviendas. Límite de las Clases<sup>(1),(2),(3)</sup> [51]

| Tipo of espacio   | Clase A<br>$L'_{nT,50}$ (dB) | Clase B<br>$L'_{nT,50}$ (dB) | Clase C<br>$L'_{nT,50}$ (dB) | Clase D<br>$L'_{nT,50}$ (dB) | Clase E<br>$L'_{nT,50}$ (dB) | Clase F<br>$L'_{nT,50}$ (dB) |
|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| En viviendas. Ruido de recintos de actividad colindantes <sup>(4)</sup>   | ≤ 38                         | ≤ 42                         | ≤ 46                         | ≤ 50                         | ≤ 54                         | ≤ 58                         |
| En viviendas. Ruido de otras viviendas colindantes  | ≤ 44                         | ≤ 48                         | ≤ 52                         | ≤ 56                         | ≤ 60                         | ≤ 64                         |
| En viviendas:<br>- De escaleras y zonas comunes<br>- De balcones, terrazas o baños pertenecientes a otras viviendas | ≤ 48                         | ≤ 52                         | ≤ 56                         | ≤ 60                         | ≤ 64                         | ≤ 70                         |

NOTAS

(1)  $L'_{nT,50} = L'_{nT,w} + C_{l,50-2500}$

(2)  $L'_{nT,w}$  debe cumplir los mismos límites.

(3) Como alternativa al parámetro  $L'_{nT,50}$ , se puede utilizar el descriptor más comúnmente utilizado  $L'_{nT,100} = L'_{nT,w} + C_l$ . En caso de utilizar  $L'_{nT,100}$  las clases se denominarán  $X_{100}$ , eg.  $B_{100}, C_{100}$  etc.

(4) Se consideran recintos de actividad a aquellos espacios que puedan compartir instalaciones como calderas, servicio de lavanderías comunales, o recintos comerciales como cafés, tiendas, talleres... Sin embargo en cada caso se debe estimar los niveles de emisión y diseñar el aislamiento adecuadamente, por ejemplo en salas de fiestas o discotecas. Las oficinas no se consideran recintos ruidosos.

La propuesta de esquema de clasificación acústica de viviendas elaborada por COST TU0901 se finalizó en Noviembre de 2013 y fue remitida por DIN (Deutsches Institut für Normung -Instituto Alemán de Normalización) al ISO/TC 43/SC 2 y al CEN/TC126 que son los correspondientes comités Internacional y Europeo de Normalización en el ámbito de la acústica en la edificación. En Marzo de 2014 dicha propuesta se aprobó

como “Working Item (WI)” [52] y en Mayo se decidió que el desarrollo fuera liderado por ISO. Como consecuencia se creó un grupo de trabajo (WG29) en Septiembre de 2014 que hasta la fecha cuenta ya con expertos nominados desde 20 países diferentes y se espera que a finales de 2014 comience su andadura.

## **5. CONVERGENCIA TERMO/ACÚSTICA: NECESIDAD DE LEGISLACIÓN AL RESPECTO**

Como colofón a todo lo anteriormente expuesto, se quiere destacar la necesidad de impulsar la noción de aislamiento acústico de la mano del aislamiento térmico en los edificios. Es evidente que la eficiencia energética y sostenibilidad en la construcción son dos aspectos fundamentales desde un punto de vista económico y social y por ello son prioritarios en el ámbito legislativo. Sin embargo no se debe olvidar que, aunque la prestación acústica de nuestras viviendas no la percibamos cada mes a la hora de pagar la factura de la energía consumida, sin embargo la pagamos cada día en forma de calidad de vida, descanso, intimidad ante nuestros propios sucesos sonoros, salud y ausencia de estrés. Es más, solventar un problema acústico puede resultar hasta más costoso que solventar un problema térmico una vez que la vivienda ha sido construida.

Por otra parte, algunas de las soluciones adoptadas en aras de una mejor eficiencia energética podrían llegar a perjudicar las prestaciones acústicas de un edificio [53,54] por lo cual se recomienda un planteamiento holístico del edificio. Es de desear que en lo sucesivo los legisladores entiendan la necesidad de incorporar el aislamiento acústico en futuras normativas relacionadas con las exigencias y prestaciones de los edificios. Es de desear igualmente que a la hora de legislar se tenga en cuenta la globalización en la estamos inmersos y se procure racionalizar la normativa de forma que sea lo más “global” posible y por tanto inteligible fácilmente por proyectistas, constructores, fabricantes de materiales de construcción y usuarios finales de todo el mundo.

## **6. AGRADECIMENTOS**

A COST por propiciar el marco para el debate entre científicos de toda Europa y a todos los miembros de COST TU0901 por las muchas horas de trabajo en común que han permitido recopilar abundante información sobre el panorama en materia de acústica de edificios en Europa así como lanzar propuestas de trabajo a los organismos internacionales responsables de que la acústica en la edificación no se quede obsoleta y avance de la mano de otros aspectos tan relevantes como la eficiencia energética, el consumo cero y la sostenibilidad en general.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- [1] ISO/R 140:1960, Field and laboratory measurements of airborne and impact sound transmission. 1960.
- [2] ISO 140 - Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -(parts 1-18). n.d 1998-2006.
- [3] Rasmussen B, Gerretsen E. Restructuring the ISO 140 series for the future – Background and approach. InterNoise 2005, Rio de Janeiro, Brasil. 2005.
- [4] ISO 10848 - Acoustics -- Laboratory measurement of the flanking transmission of airborne and impact sound between adjoining rooms -- Parts 1 to 4. 2006-2010.

- [5] EN 12354 - Building acoustics - Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements - 2000-2009.
- [6] ISO 15186 - Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity - Parts 1 to 3 - 2000-2003.
- [7] ISO 10140- Acoustics -- Laboratory measurement of sound insulation of building elements - parts 1 to 5. 2010.
- [8] ISO 16283-1:2014 Acoustics -- Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation. 2014.
- [9] ISO/DIS 16283-2: Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 2: Impact sound insulation. 2014.
- [10] ISO/DIS 16283-3: Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 3: Façade sound insulation. 2014.
- [11] ISO 12999-1 Acoustics -- Determination and application of measurement uncertainties in building acoustics -- Part 1: Sound insulation. 2014.
- [12] ISO 717- Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 1: Airborne sound insulation- Part 2: Impact sound insulation. 2013.
- [13] Rasmussen B, Rindel JH. Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe. *Appl Acoust* 2010;71:171–80.
- [14] Rasmussen B. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. *Appl Acoust* 2010;71:373–85.
- [15] COST Action TU0901: Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions. <http://www.costtu0901.eu/> n.d.
- [16] Moreno A. The dependence of  $R_w$  on the shape of the transmission loss curve. Towards a definitive understanding of the correlation between  $R_w$  and  $R_A$ . *J Sound. Vib* 1987; 117.
- [17] Parmanen J. Comments on “The dependence of  $R_w$  on the shape of the transmission loss curve. Towards a definitive understanding of the correlation between  $R_w$ , and  $R_A$ .” *J Sound Vib* 1988;124.
- [18] Mondaca C, Machimbarrena M, Monteiro CRA. Comparison of some global indices to adequately assess airborne sound insulation. *Euronoise* 2012.
- [19] Lang J, Muellner H. Chapter 1 :Austria. *Build. Acoust. throughout Eur. Vol. 2 Housing and construction types country by country.* 2014.
- [20] COST TU0901. Building acoustics throughout Europe Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe. DiScript Preimpresion, S. L.; 2014.
- [21] Rasmussen B, Machimbarrena M. Chapter 2: Existing Sound Insulation Performance Requirements and Classification Schemes For Housing Across Europe. *Build. Acoust. throughout Eur. Vol. 1 Towar. a common Framew. Build. Acoust. throughout Eur.,* 2014.
- [22] IRAM 4044- Protección contra el ruido en edificios. Aislamiento acústico mínimo de tabiques y edificios. 1985.

- [23] NMX-R-060-SCFI-2013 Ventanas y productos arquitectónicos para el cerramiento exterior de fachadas – Clasificaciones y especificaciones. 2013.
- [24] NOM-081-SEMARNAT-1994 Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición 1994.
- [25] DOF- 03/12/2013 - ACUERDO por el que se modifica el numeral 5.4 de la Norma Oficial Mexicana NOM-081-SEMARNAT-1994, Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición. 2013.
- [26] NBR 15575-4 Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas SVVIE. 2014.
- [27] Ley 1333 de Medioambiente- Bolivia. 1992.
- [28] NB 62005-05: Calidad del aire - Ruido ambiental - Vocabulario. 2005.
- [29] NB 62006: 05- Calidad del aire - Emisiones de fuentes fijas - Determinación de niveles de presión sonora - Equipo de medición. 2005.
- [30] D.S. N°47 de 1992: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (actualizada al 08 de Abril del 2014). 2014.
- [31] Scholl W, Lang J, Wittstockh V. Rating of Sound Insulation at Present and in Future. The Revision of ISO 717. *Acta Acust United with Acust* 2011;97:686–98.
- [32] Hongisto V, Keränen J. Reproducibility of the present and the proposed single-number quantities of airborne sound insulation. *Acta Acust United with Acust* 2012.
- [33] Mahn J, Pearse J. The Uncertainty of the Proposed Single Number Ratings for Airborne Sound Insulation. *Build Acoust* 2012;19:145–72.
- [34] Ljunggren F, Simmons C, Hagberg K. Correlation between sound insulation and occupants' perception – Proposal of alternative single number rating of impact sound. *Appl Acoust* 2014;85:57–68.
- [35] Gerretsen E, Dunbavin P. Chapter 3: Proposal of Harmonized Sound Insulation Descriptors. *Build. Acoust. throughout Eur. Vol. 1 Towar. a common Framew. Build. Acoust. throughout Eur.*, 2014.
- [36] Dunbavin P, Gerretsen E. Chapter 4: How to Translate Sound Insulation Descriptors and Requirements. *Build. Acoust. throughout Eur. Vol. 1 Towar. a common Framew. Build. Acoust. throughout Eur.*, 2014.
- [37] Simmons C. Measurement of sound pressure levels at low frequencies in rooms- Comparison of available methods and standards with respect to microphone positions. Proposal for new procedures. Nordtest Project No. 1347-97. SP Report 1997:273. 1997.
- [38] Osipov A, Mees P, Vermeir G. Low-frequency airborne sound transmission through single partitions in buildings. *Appl Acoust* 1997;52:273–88.
- [39] Maluski S, Gibbs BM. The effect of construction material, contents and room geometry on the sound field in dwellings at low frequencies. *Appl Acoust* 2004;65:31–44.
- [40] Gibbs BM, Maluski S. Airborne Sound Level Difference Between Dwellings at Low Frequencies - *Building Acoustics* - 11 (1) - 2004; 61-78. *Build Acoust* 2004.

- [41] Hopkins C, Turner P. Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies. *Appl Acoust* 2005;66:1339–82.
- [42] Cremonini R, Fausti P. Considerations on low frequencies results of in situ sound insulation measurements. *AIA-DAGA -Merano*, 2013.
- [43] Hopkins C. Spatial sampling of sound pressure in rooms using manual scanning paths. *Euronoise*, Edinburgh: 2009.
- [44] Hopkins C. The effectiveness of manual scanning measurements to determine the spatial average sound pressure level in rooms. *Internoise*, Lisbon. 2010.
- [45] Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios. 2002.
- [46] Rasmussen B. Sound classification of dwellings - Quality class ranges and intervals in national schemes in Europe. *Euronoise 2012*, , p. 1178–83.
- [47] Rasmussen B. Facade sound insulation comfort criteria in European classification schemes for dwellings. *Euronoise 2006*.
- [48] Rasmussen B. Sound classification of dwellings in the Nordic countries – Differences and similarities between the five national schemes. *BNAM 2012*, Odense, Denmark.
- [49] Rasmussen B. International proposal for an acoustic classification scheme for dwellings – Background and perspectives. *Internoise 2014*.
- [50] Rasmussen B, Gerretsen E. Chapter 5: Proposal for an acoustic classification scheme for housing. *Build. Acoust. throughout Eur. Vol. 1 Towar. a common Framew. Build. Acoust. throughout Eur.*, 2014.
- [51] ISO/TC43/SC2 N1203 NWIP, Acoustics - Acoustic classification scheme for dwellings (Oct.2013); ISO/TC43/SC2 N1218 Annex to N1203 COST TU0901 Proposal Acoustic Classification (Nov.2013). 2013.
- [52] ISO/TC43/SC2 N1244 Voting results ISO-NP 19488 Acoustic classification scheme for dwellings (March 2014). Note: ISO/TC43/SC2/WG29 was established in Sept. 2014.
- [53] Ruiz L, Delgado E, Neila FJ, Vega S. Comparativa del comportamiento acústico entre fachadas multicapas ligeras y fachadas tradicionales. *Mater Construcción* 2012;62:
- [54] Carletti C, Scurpi F, Pierangioli L. The Energy Upgrading of Existing Buildings: Window and Shading Device Typologies for Energy Efficiency Refurbishment. *Sustainability* 2014;6:5354–77.