

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

Programa de doctorado:

Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y Desarrollo Rural
Sostenible

Título de la tesis:

CONTROL DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO AÉREO
ENTRE PARTICIONES INTERIORES EN OBRA TERMINADA
SEGÚN LA NORMATIVA DEL CÓDIGOTÉCNICO DE LA
EDIFICACIÓN

CONTROL OF ACOUSTIC INSULATION TO AIRBORNE NOISE
BETWEEN INTERIOR PARTITIONS IN FINISHED WORK
ACCORDING TO THE REGULATIONS OF THE TECHNICAL
CODE OF THE BUILDING

Director/Directores:

Gregorio Lorenzo Blanco Roldán

Rafael Rubén Solá Guirado

Autor de la tesis:

José Ángel González Gómez

Fecha de depósito tesis en el Idep: 11/11/21

TITULO: CONTROL DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO AÉREO
ENTRE PARTICIONES INTERIORES EN OBRA TERMINADA SEGÚN
LA NORMATIVA DEL CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACION

AUTOR: *José Ángel González Gómez*

© Edita: UCOPress. 2022
Campus de Rabanales
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A
14071 Córdoba

<https://www.uco.es/ucopress/index.php/es/>
ucopress@uco.es



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA RURAL, CONSTRUCCIONES CIVILES Y
PROYECTOS DE INGENIERÍA

TESIS DOCTORAL

**“CONTROL DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO AÉREO ENTRE
PARTICIONES INTERIORES EN OBRA TERMINADA SEGÚN LA
NORMATIVA DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN”**

Director: D. Gregorio L. Blanco Roldán

Alumno: D. José A. González Gómez

Codirector: D. Rafael Rubén Sola Guirado

Titulación: Ingeniero Agrónomo

Córdoba, octubre 2021

Informe del Director sobre la Tesis Doctoral

D. Gregorio L. Blanco Roldán, director de la Tesis Doctoral con el título “CONTROL DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO AÉREO ENTRE PARTICIONES INTERIORES EN OBRA TERMINADA SEGÚN LA NORMATIVA CTE”, que presenta el alumno José Ángel González Gómez

INFORMA:

Que dicho trabajo está calificado como “Investigación y/o desarrollo tecnológico” según la normativa de la tesis doctoral y que es apto para su lectura y defensa ante el Tribunal determinado por la COA.

Sevilla, 12 de octubre de 2021



UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA



Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y de Montes
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA RURAL, CONSTRUCCIONES CIVILES Y
PROYECTOS DE INGENIERÍA

TESIS DOCTORAL

***“CONTROL DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO AL RUIDO AÉREO ENTRE
PARTICIONES INTERIORES EN OBRA TERMINADA SEGÚN LA
NORMATIVA DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN”***

Director: **D. Gregorio L. Blanco Roldán** Alumno: **José A. González Gómez**

Titulación: Ingeniero Agrónomo

Codirector: **D. Rafael Rubén Sola Guirado**

Córdoba, octubre 2021

Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo de sus directores, por su dedicación y su paciencia cuando las cosas no salían como esperábamos, por lo que les expreso mi más profundo agradecimiento.

Al profesor D. Jesús A. Gil Ribes, por poner a nuestra disposición los saberes y los recursos del Grupo de Mecanización y Tecnología Rural.

Quiero expresar un agradecimiento especial al profesor D. José Antonio Entrenas Angulo, del área de Ingeniería de la Construcción del Departamento de Ingeniería Rural, por su colaboración, sin la que este trabajo no se podía haber realizado.

A la empresa constructora ACSA, promotora de los edificios en los que se basa este trabajo, por los datos y el acceso proporcionado.

A mi madre.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

2. OBJETIVOS

2.1. Hipótesis de partida.

2.2. Objetivos.

3. ANTECEDENTES

3.1. Definiciones y parámetros

3.2. *Legislación de aplicación*

3.3. Implicaciones de las normativa de medida.

3.4. Estudios previos

3.4.1. Sobre el DB-HR

3.4.2. Sobre medidas “*in situ*”

3.4.3. Sobre las simulaciones

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. PLAN DE TRABAJO

4.2. INSTRUMENTACIÓN

4.2.1. Sistema de generación del campo sonoro.

4.2.2. Sistema de medida harmonie.

4.3. FASE 1: Comparativa entre normas

4.3.1. Edificios y particiones

4.3.2. Procedimientos de medida.

4.3.2.1. *Norma UNE-EN ISO 140-4.*

4.3.2.2. *Norma UNE-EN ISO 717-1*

4.3.2.3. *Norma UNE-EN ISO 16283-1.*

4.4. FASE 2: Comparativa entre medida y simulación

4.4.1. Definición del edificio en estudio

4.4.1.1. Materiales y soluciones constructivas y su asimilación al CEC

4.4.2. Simulación mediante el uso de la guía de aplicación del DB-HR y la herramienta de cálculo oficial de la opción general

4.4.2.1. Definición general del proceso

4.4.2.1.1. Fase de proyecto básico

4.4.2.1.2. Fase de proyecto de ejecución

4.4.2.2. Aplicación concreta a nuestro edificio

4.4.2.2.1. Aplicación de la opción general haciendo uso de la herramienta oficial de cálculo del DB-HR del CTE

4.4.3. Simulación mediante el programa SONarchitect

4.4.3.1. Descripción del Programa SONarchitect

4.4.3.2. Criterios de aplicación al edificio tipo

4.4.4. Parejas de recintos sometidas a ensayo *“in situ”* tras la ejecución

5. RESULTADOS y DISCUSIÓN

5.1.FASE 1: Comparativa entre normas

5.1.1. Resultados de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Sanitario”

5.1.2. Resultados de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Socio cultural”

5.1.3. Resultados de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Empresarial administrativo”

5.1.4. Resultados de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Docente”

5.1.5. Resumen de los resultados

5.1.6. Discusión

5.2. FASE 2: Comparativa entre medida y simulación

5.2.1. Resultados de la simulación con la Herramienta Oficial

5.2.2. Resultados de la simulación con SONarchitect

5.2.3. Resultados de los ensayos de aislamiento “*in situ*”

5.2.4. Resumen de los resultados

5.2.5. Discusión

6. CONCLUSIONES

7. BIBLIOGRAFÍA

ANEXO I. Edificios Sanitario, Socio cultural, Empresarial/administrativo y Docente

ANEXO II. Edificio Residencial.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema normativo.

Figura 2. Herramienta de cálculo oficial.

Figura 3. Habitación receptora de 18 m³ en 80 Hz banda 1/3 octava.

Figura 4. Medición de SPL zona central y el SPL esquina.

Fig. 5. Parte del equipo de medida y generación del campo sonoro.

Figura 6. Índices de directividad para las dos fuentes omnidireccionales empleadas en la toma de medidas de ruido.

Figura 7. Sistema de medida Harmonie.

Fig. 8. Representación del recinto emisor en el edificio de tipo cultural usado en las medidas del aislamiento y parte del equipo de medida.

Figura 9. Plano planta baja (I) y planta primera (D) del “Edificio Socio cultural”.

Figura 10. Planta baja (I) y planta primera (D) del “Edificio Socio cultural”.

Figura 11. Despacho 1-2 del “Edificio Socio cultural”.

Figura 12. Despacho 3 (EMISOR) y Despacho 4 del “Edificio Socio cultural”.

Figura 13. Despacho 8 y Despacho 9 del “Edificio Socio cultural”.

Figura 14. Despacho 10 del “Edificio Socio cultural”.

Figura 15. Esquema de medida del aislamiento acústico a ruido aéreo.

Figura 16. Medida del Tiempo de reverberación.

Figura 17. Valores de la Curva de referencia para aislamiento a ruido aéreo, en bandas de 1/3 de octava.

Figura 18. Espectros de niveles sonoros para el cálculo de los términos de adaptación de espectro para medida en bandas de 1/3 de octava.

Figura 19. Posicionamiento de micrófono en esquina sostenido manualmente o fijo.

Figura 20. Plano de localización del edificio de estudio.

Figura 21. Situación del edificio en estudio.

Figura 22. Planta primera y planta segunda.

Figura 23. Tipología de las viviendas y su descripción.

Figura 24. Mapa estratégico del ruido de la ciudad de Sevilla (detalle parcial).

Figura 25. Recintos habitables y recintos protegidos planta primera y segunda

Figura 26. Recintos emisores, receptores y emisores y/o receptores, plantas primera.

Figura 27. Recintos emisores, receptores y emisores y/o receptores, plantas primera y segunda

Figura 28. 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).

Figura 29. 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.

Figura 30. Diferencias entre los índices de aislamiento acústico ampliados a baja frecuencias, 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

Figura 31. Resultado medida "in situ" entre recintos cocina 6-cocina 5.

ÍNDICE DE TABLAS

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

Tabla 2. Valores del espectro normalizado de ruido rosa, ponderado A.

Tabla 3. Esquema normativo

Tabla 4. Magnitudes, procedimientos y normas de medición y valoración global

Tabla 5. Nuevo decreto.

Tabla 6. 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).

Tabla 7. Valores de referencia para aislamiento a ruido aéreo.

Tabla 8. Espectros de niveles sonoros para el cálculo de los términos de adaptación.

Tabla 9. Valores del espectro de referencia definidos por el DB-HR ampliado a estas bajas frecuencias.

Tabla 10. Valores límite de aislamiento acústico.

Tabla 11. Datos de estancia ejemplo para uso de la Herramienta Oficial.

Tabla 12. Pares de recintos seleccionados con dimensiones y nomenclatura.

Tabla 13. Valores por frecuencias e índices globales de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Sanitario”.

Tabla 14. Valores por frecuencias e índices globales de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Socio cultural”.

Tabla 15. Valores por frecuencias e índices globales de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Empresarial administrativo”.

Tabla 16. Valores por frecuencias e índices globales de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio docente”.

Tabla 17. Valores globales en unidades dBA de los índices de aislamiento acústico medidos.

Tabla 18. Ficha justificativa de cálculo con los datos geométricos y constructivos.

Tabla 19. Ficha justificativa del cálculo de la herramienta oficial con los resultados finales.

Tabla 20. Ficha justificativa del cálculo con SONarchitect.

Tabla 21. Resultados de la simulación con la Herramienta oficial de cálculo.

Tabla 22. Resultados de la simulación con el programa SONarchitect.

Tabla 23. Resultados de las medidas “in situ” del aislamiento a ruido aéreo.

Tabla 24. Resultados de las dos simulaciones y de las medidas “in situ”.

Tabla 25. Resumen de los valores medios y exigencias.

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. 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.

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. 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.

1. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.

En los últimos años, la contaminación acústica, definida, por la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, como presencia en el ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente, se ha convertido en una preocupación social de primer orden por las implicaciones que tiene sobre la calidad de vida de las personas, fundamentalmente, en las grandes ciudades.

En principio, desde la década de los 70 del siglo XX se vienen conociendo los efectos que sobre la salud de los trabajadores tiene el exceso de ruido originado en la mayoría de los ambientes laborales y, como prueba de ello, se considera a la sordera y otras afecciones auditivas como Enfermedades Profesionales.

Sin embargo, es en épocas más recientes, con la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, que desarrolla el Libro Verde de la Comisión Europea sobre "Política Futura de Lucha Contra el Ruido", respaldado por el Parlamento Europeo en su Resolución de 10 de junio de 1997, por tanto, de la mano de aspectos ambientales (no laborales), cuando el ruido se convierte en un problema de salud pública. Entonces empiezan a existir evidencias de que su exceso se encuentra en la base de múltiples

patologías que son directamente causadas o agravadas de forma dramática por éste, aunque durante mucho tiempo se catalogaban como “molestias”, como, por ejemplo, lo eran las perturbaciones del sueño, el estrés, el dolor de cabeza, etc., generándose, progresivamente, un consenso en considerar que el nivel de ruido ambiental influye en el desarrollo de enfermedades como hipertensión, dolencias cardíacas, ictus, falta de sueño, depresión, etc., además de las lógicas enfermedades auditivas. Así, Babisch (2008) estima que un 3 % de los casos de enfermedad isquémica del corazón en las grandes ciudades son atribuibles al ruido del tráfico rodado. Babisch (2015), Selander et al. (2009) y Sørensen et al. (2011), también establecen una asociación significativa entre el ruido urbano y eventos cardiovasculares graves como el infarto de miocardio y el ictus. Los factores de riesgo que se relacionan directamente con el accidente cardiovascular son la hipertensión, la arteriosclerosis y el bajo índice de variabilidad de la frecuencia cardíaca.

Siguiendo con el paralelismo laboral/ambiental, en relación a los trabajadores, su exposición a este contaminante atmosférico de tipo físico se ha relacionado con altas intensidades sonoras, por lo que se ha intentado limitarlas a cortos periodos de tiempo (Díaz y Linares, 2015) y que así el problema afectase al reducido número de personas expuestas, más o menos significativo, pero acotado. Estudios posteriores han demostrado que largas exposiciones a intensidades sonoras más bajas tienen efectos negativos sobre la salud similares.

De la misma forma que se había detectado en el ambiente laboral, se empezaron a evidenciar patologías acústicas en personas que, no estando expuestas a niveles sonoros altos, como podría ocurrir en una fábrica, si

estaban expuestas a ruido durante un periodo de tiempo mayor. Así, en estudios desarrollados en entornos muy ruidosos, como las proximidades de los aeropuertos, se evidenció que, en los residentes de viviendas cercanas, esas patologías descritas para el ambiente laboral estaban presentes.

Posteriormente, al extender las investigaciones de zonas concretas a zonas más extensas, como la totalidad de los habitantes de una ciudad, los resultados han corroborado la existencia de un nuevo problema, el ambiental, afectando no a un grupo más concreto, como los trabajadores, sino planteándose como una cuestión de salud pública que implica a millones de personas (Tobías et al., 2013).

La OMS aporta datos relevantes obtenidos en varios estudios:

- El ruido es la segunda causa medioambiental de problemas de salud, sólo por detrás de los efectos de la polución ambiental (química, calidad del aire, etc.) (Berglund, Lindvall y Schwela, 2015).
- El 40 % de la población de los países de la Unión Europea está expuesta a niveles de ruido de tráfico superiores a 55 dBA; el 20 % a más de 65 dBA durante el día y el 30 % a niveles superiores a 55 dBA por la noche (Hellmut et al., 2011), considerándose que exposiciones superiores a 40 dBA de media anual en horario nocturno producen efectos sobre la salud (aspecto señalado por la Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo, 2015).

En España, según los mapas de ruido de 19 ciudades, el 27'7% de la población (unos 9 millones) soportan niveles medios de ruido superiores a 65 dBA (MAGRAMA, 2010). Asimismo, prácticamente un tercio de los hogares españoles (30,5 %) declaran sufrir molestias por ruidos generados en el exterior de sus viviendas.

En el caso de Andalucía, el ruido constituye uno de los mayores problemas ambientales en el ámbito local percibido por su población. Según datos del Ecobarómetro de Andalucía, en 2013 se registraron un 20'8% de respuestas en este sentido, si bien en ediciones anteriores, años 2007, 2008 y 2009, fue considerado la mayor preocupación local medioambiental de los andaluces, con cerca de un 30%.

Establecido ya el problema de salud pública que el ruido plantea, las administraciones, en sus diferentes niveles, desde europeas hasta locales, han ido intentando dar respuesta, mediante el correspondiente desarrollo normativo y técnico, a los efectos negativos del exceso de ruido, atendiendo, como ha quedado claro, de forma diferenciada, a los ámbitos laboral y ambiental. En este último, todas las medidas que se van tomando tienen como objetivo reducir la exposición de los ciudadanos, orientándose hacia la emisión del ruido, es decir, disminuir los niveles sonoros de las emisiones producidas por las diferentes fuentes; o hacia la inmisión, para conseguir que la transmisión de ruido desde el exterior al interior, por ejemplo, de los edificios, donde las personas pasan mucho tiempo, como viviendas, lugares de ocio, hospitales, etc., sea lo menor posible o, al menos, se sitúe dentro de unos niveles admisibles, siendo este el concepto de aislamiento acústico, origen del presente trabajo.

Por tanto, entrando en otro ámbito dentro del ruido ambiental, el de la edificación, se constata el impulso que los últimos años, tras la aprobación del Código Técnico de la Edificación (Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo), que en su exposición de motivos argumenta el objetivo de mejorar la calidad de la edificación estableciendo requisitos básicos relacionados con la seguridad y el bienestar de las personas, han tenido los aspectos relacionados con el ruido, partiendo de la entrada en vigor del Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, que aprobó el Documento Básico “DB-HR Protección frente al ruido”.

En cuanto a la calidad acústica en edificios, entendida en el DB-HR como objetivo, se concreta en el conjunto de requisitos que, en relación con la contaminación acústica, deben cumplirse en un momento dado en un espacio determinado, subrayando así que en la construcción de edificios es fundamental la realización de un diseño apropiado para que las características acústicas (por ejemplo, la insonorización) se adecúen al destino de la estancia, siendo necesario efectuar los controles pertinentes que permitan constatar que se cumplen las exigencias establecidas, los cuales deben efectuarse en base a medidas y metodologías estandarizadas. Machimbarrena y Carrascal (2010), exponen el impacto que ha supuesto en España en su primer año de aplicación.

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, 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.

Por su parte, en el DB-HR se regulan las exigencias de aislamiento acústico a través de las magnitudes acústicas referidas a las propiedades del edificio y que, por tanto, pueden ser comprobables mediante ensayos "in situ".

Pero es en este punto donde surge el debate, ya que, se se propuso emplear, alternativamente, dos normas sobre medición "in situ" del aislamiento al ruido aéreo entre locales, la Norma UNE-EN ISO 140-4:1999 o la Norma UNE-EN ISO 16283-1:2015, lo cual obliga a rectificar los procedimientos de medida, siendo las razones de ello la derogación y/o sustitución de la primera por la segunda. En la Tabla 1, se expone una comparación entre ambas normas.

Los procedimientos de medida de la UNE-EN ISO 140-4 tienen una alta incertidumbre en bajas frecuencias (Hopkins y Turner, 2005), lo cual influye en recintos con volúmenes menores de 25 m², que se corresponden con la mayoría de los recintos receptores habitables, donde la variación espacial de los niveles de presión sonora aumenta considerablemente a bajas frecuencias. Por debajo de 100 hz, pueden aparecer diferencias de entre 17 a 28 dB. Además, las medidas realizadas en la zona central del recinto conducen a que el aislamiento acústico sea sobre o subestimado.

La norma UNE-EN ISO 16283-1 incluye 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, en aquellas situaciones en las que el

volumen del recinto sea inferior a 25 m². Este cambio viene impulsado porque los ciudadanos se quejan sistemáticamente de percibir ruido de baja frecuencia en sus viviendas (Lang y Muellner, 2013).

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

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 m ³ hasta 250 m ³ .
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.

Cabe resaltar, que a pesar de esta rectificación en cuanto a los procedimientos de medida, el índice a utilizar sigue siendo el mismo, la Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, entre recintos interiores ($D_{nT,A}$ 100-5000).

En base a esto, puede decirse que es necesario estudiar las implicaciones que supone el cambio de las normas de medida y sobre todo las repercusiones que sobre los sistemas constructivos y los agentes afectados, como técnicos de empresas y de la Administración, pueden generarse en el futuro, siendo este el planteamiento de la presente Tesis Doctoral.

2. OBJETIVOS

2.1. Hipótesis de partida.

La presente Tesis plantea la **Hipótesis** de partida siguiente: es posible optimizar el diseño de soluciones constructivas para el cumplimiento del Código Técnico de la Edificación (Documento Básico-“Protección frente al ruido”) en base a la medida “in situ” de las mismas.

2.2. Objetivos.

El **objetivo general** que se persigue es evaluar los procedimientos de ensayo “in situ”, establecidos por la legislación vigente, para la determinación del aislamiento acústico al ruido aéreo entre particiones interiores, en base a determinar la adecuación de los mismos a las soluciones constructivas en obra terminada y a los criterios de calidad de la edificación y bienestar de las personas.

El objetivo general se concreta en tres objetivos específicos:

1) Establecer las pautas de aplicación de los procedimientos de ensayo y herramientas de cálculo vigentes en la actualidad definidos en la normativa legal y técnica de control de aislamiento acústico.

2) Comprobar la aproximación de los cálculos realizados con los índices definidos en la normativa legal exigible (Documento Básico-“Protección frente al ruido”), basados en la norma UNE-EN ISO 140-4 y la nueva norma

ISO 16283-1, contemplando la posibilidad de no ampliación a bajas frecuencias (100-5000 hz) y de ampliación (50-5000 hz). Para ello se realizarán mediciones y se compararan los resultados obtenidos para dichos índices en cuatro edificios de diferentes usos: sanitario, docente, social-cultural y empresarial-administrativo.

3) Determinar la capacidad predictiva del aislamiento a ruido aéreo de las herramientas oficiales de cálculo y contrastar sus resultados con programas de simulación comerciales. En concreto, se realizará una simulación en un edificio de nueva construcción y, posteriormente, se comparará con los resultados obtenidos con las medidas experimentales "in situ".

3. ANTECEDENTES

3.1. DEFINICIONES Y PARÁMETROS

Este capítulo trata de recoger los conceptos fundamentales que se usan en las distintas normas de medida y legislaciones referentes al aislamiento acústico que se exponen más adelante. Puesto que una descripción exhaustiva de los fundamentos físicos utilizados para evaluar el aislamiento acústico de los recintos excederían la extensión del objetivo del capítulo, nos limitaremos a exponer las definiciones de los conceptos en las que se basan y a describir más adelante las normas usadas para la determinación del aislamiento acústico a ruido aéreo. Han sido extraídas de varias fuentes bibliográficas, entre otras Flores Pereita, P. 1990, Novile, M.A.; Lang, W.W. 1995, DB-HR.

Partición o cerramiento: Cualquier superficie formada por capas de diversos materiales, para la separación horizontal o vertical entre dos locales. También estarán formados por materiales diferentes los elementos constructivos que puede incluir.

Elemento constructivo: Cualquier elemento añadido a una partición que tiene una finalidad diferente, como por ejemplo, salidas de aire acondicionado, ventanas puertas...

Por tanto, son diferentes los aislamientos de una partición en su conjunto al de un elemento constructivo individual. Ya que las condiciones constructivas de cada una de las partes que constituyen un cerramiento, modifican el aislamiento teórico que se puede estimar a partir de los datos obtenidos en laboratorio, el aislamiento de una partición se ha de determinar "in situ".

Mientras que el aislamiento de un elemento individual se puede obtener en laboratorio.

A consecuencia de ello, existen distintas normativas que describen el proceso de toma de medidas y distintos parámetros para evaluar la transmisión del sonido de un local a otro, como son:

Nivel de presión sonora, L_p : Se define mediante la expresión siguiente:

$$L_p = 10 \cdot \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

Siendo

p presión sonora considerada, [Pa];

p_0 presión sonora de referencia, de valor $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Se sobreentiende que las presiones sonoras se expresan en valores eficaces o rms, salvo que se diga lo contrario.

Nivel medio de presión sonora en un recinto, L : Nivel correspondiente al promedio temporal y espacial del cuadrado de la presión acústica, extendiendo el promediado espacial al interior del recinto exceptuando las zonas de radiación directa de las fuentes y las próximas a las paredes, suelo y techo.

Para exploraciones de la presión a lo largo de trayectorias continuas representativas que se barren en un tiempo T se define mediante la expresión siguiente:

$$L = 10 \cdot \lg \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

Siendo

$p(t)$ valor de la presión acústica en el instante t , [Pa];

p_0 presión sonora de referencia, de valor $2 \cdot 10^{-5}$ Pa;

Para exploraciones de la presión en n puntos discretos se define mediante la expresión siguiente:

$$L = 10 \cdot \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_{pi}/10} \quad [\text{dB}] \quad (3)$$

Siendo

L_{pi} nivel de presión sonora medido en el punto i , [dB].

Nivel de presión acústica promediado energéticamente en un recinto, L :

Es diez veces el logaritmo decimal del cociente del promedio espacio-temporal de la presión acústica cuadrática y el cuadrado de la presión sonora de referencia, tomándose el promedio espacial sobre la zona central del recinto, donde la radiación directa de la fuente o campo próximo de las paredes, el techo, etc., tienen una influencia insignificante. Se expresa en dB.

Nivel de presión acústica de esquina en un recinto, $L_{Esquina}$:

Es diez veces el logaritmo decimal del cociente del promedio de la presión acústica cuadrática más elevados de entre los obtenidos en las esquinas, y el cuadrado de la presión sonora de referencia, para cada una de las bandas de tercio de octava 50 Hz, 63 Hz y 80 Hz. Se expresa en dB.

Nivel de presión acústica de baja frecuencia promediado energéticamente en un recinto, LLF: Es diez veces el logaritmo decimal del cociente de la presión acústica cuadrática promediada espacio-temporalmente y el cuadrado de la presión acústica de referencia en el rango de bajas frecuencias, donde el promedio espacial es un promedio ponderado que se calcula utilizando las esquinas del recinto donde los niveles de presión acústica son más altos y la zona central del recinto donde la radiación directa de la fuente o campo próximo de las paredes, el techo, etc., tienen una influencia insignificante. Se expresa en dB.

$$L_{LF} = 10 \cdot \lg \left(\frac{10^{0,1L_{Esquina}} + (2 * 10^{0,1L})}{3} \right) \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

Siendo $L_{Esquina}$ 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.

Diferencia de niveles entre recintos, (o aislamiento acústico bruto entre recintos), D: Diferencia, en dB, entre los niveles medios de presión sonora producidos en dos recintos por la acción de una o varias fuentes de ruido emitiendo en uno de ellos, que se toma como recinto emisor. En general es función de la frecuencia.

Se define mediante la expresión siguiente:

$$D = L_1 - L_2 \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

Siendo

L_1 nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, [dB];

L_2 nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, [dB].

Diferencia de niveles estandarizada entre recintos interiores, D_{nT} :

Diferencia entre los niveles medios de presión sonora producidos en dos recintos por una o varias fuentes de ruido emitiendo en uno de ellos, normalizada al valor 0,5 s del tiempo de reverberación. En general es función de la frecuencia.

Se define mediante la expresión siguiente:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

Siendo

L_1 nivel medio de presión sonora en el recinto emisor, [dB];

L_2 nivel medio de presión sonora en el recinto receptor, [dB];

T tiempo de reverberación del recinto receptor, [s];

T_0 tiempo de reverberación de referencia; su valor es $T_0=0,5$ s.

Espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A: Representación, en forma numérica, de los valores de presión sonora, ponderados A, correspondientes a ruido rosa normalizado en las frecuencias en bandas de tercios de octava y de octavas.

Tabla 2. Valores del espectro normalizado de ruido rosa, ponderado A.

f_i	$L_{Ar,i}$	f_i	$L_{Ar,i}$
Hz	dBA	Hz	dBA
100	-30,1	800	-11,8
125	-27,1	1000	-11,0
160	-24,4	1250	-10,4
200	-21,9	1600	-10,0
250	-19,6	2000	-9,8
315	-17,6	2500	-9,7
400	-15,8	3150	-9,8
500	-14,2	4000	-10
630	-12,9	5000	-10,5

Diferencia de niveles estandarizada, ponderada A, entre recintos interiores, $D_{nT,A}$: Valoración global, en dBA, de la diferencia de niveles estandarizada, entre recintos interiores, D_{nT} , para ruido rosa.

Se define mediante la expresión siguiente.

$$D_{nT,A} = -10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{(L_{Ar,i} - D_{nT,i})/10} \quad [\text{dBA}] \quad (7)$$

Siendo:

$D_{nT,i}$ diferencia de niveles estandarizada en la banda de frecuencia i , [dB];

$L_{Ar,i}$ valor del espectro normalizado del ruido rosa, ponderado A, en la banda de frecuencia i , [dBA];

i recorre todas las bandas de frecuencia de tercio de octava de 100 Hz a 5 kHz.

Término de adaptación espectral, C, C_{tr}: Valor en decibelios, que se añade al valor de una magnitud global obtenida por el método de la curva de referencia de la ISO 717-1 ($D_{nT,w}$, por ejemplo), para tener en cuenta las características de un espectro de ruido particular. Cada índice global, ponderado A, lleva incorporado el término de adaptación espectral del índice global asociado, derivado del método de la curva de referencia.

Cuando el ruido incidente es rosa o ruido ferroviario o de estaciones ferroviarias se usa el símbolo C y cuando es ruido de automóviles o aeronaves el símbolo es C_{tr}.

Diferencia de niveles estandarizada, ponderada, $D_{nT,w}$: Valor en decibelios de la curva de referencia, a 500 Hz, ajustada a los valores experimentales de la Diferencia de niveles estandarizada entre recintos interiores, D_{nT} . Como

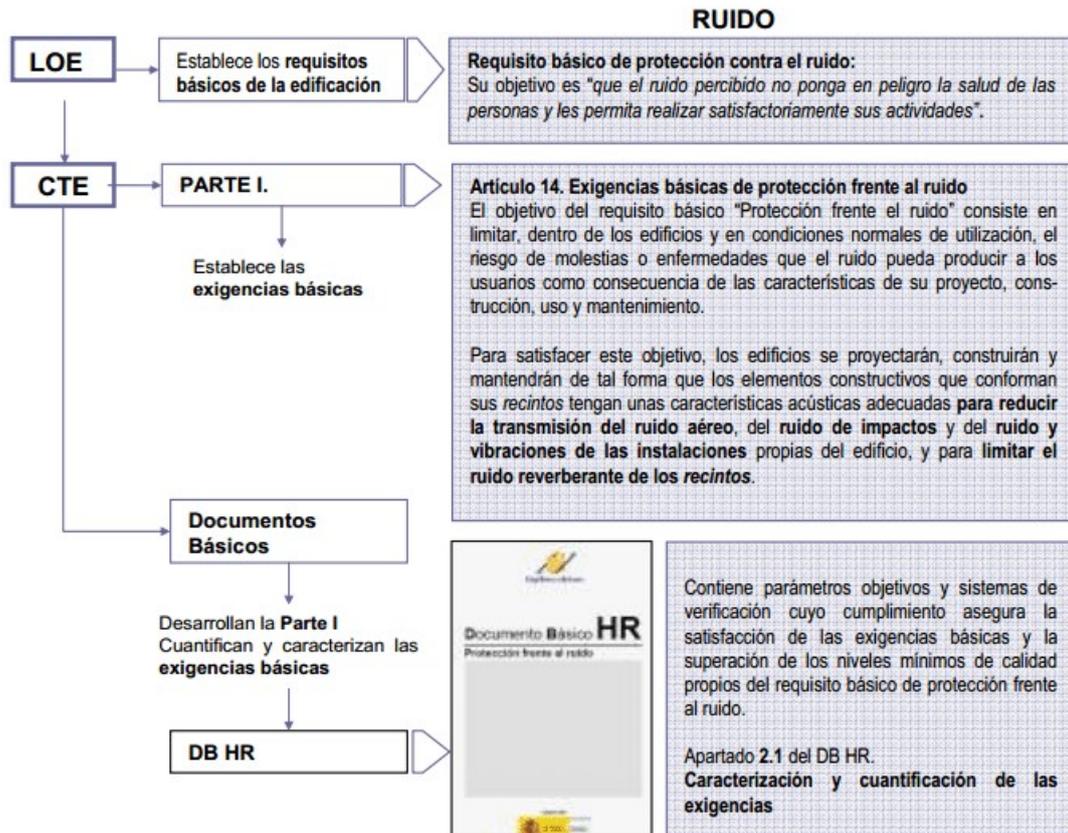
aproximación, se considera que $D_{nT,w} + C = D_{nT,A}$ [dB] (8)

3.2. Legislación de aplicación.

La Ley de Ordenación de la Edificación (Ley 38/1999, de 5 de Noviembre) (LOE en adelante) tiene como objetivo regular el proceso de edificación en España, estableciendo los requisitos básicos sobre los edificios en relación a tres aspectos esenciales: la Funcionalidad, la Seguridad y la Habitabilidad. Esta ley responde a la transposición de la legislación comunitaria contenida en la Directiva Europea de los Productos de la Construcción (Directiva 89/106/CEE), en la que, en relación con los requisitos esenciales de Habitabilidad de las Viviendas, y en concreto, en cuanto a la protección frente al ruido, fija que: “el ruido percibido no puede suponer un peligro para la salud de las personas y les debe permitir realizar satisfactoriamente sus actividades”. El desarrollo técnico y reglamentario de la LOE se refleja en el Código Técnico de la Edificación, (CTE en adelante). En el artículo 14 (parte I del CTE) se establecen como exigencias básicas de protección frente al ruido: “limitar a los usuarios el riesgo de molestias o enfermedades que el ruido, interior o exterior, puedan producir”, y “que los elementos constructivos tengan unas características adecuadas para reducir la transmisión del ruido aéreo, del ruido a impactos y del ruido y las vibraciones de las instalaciones propias de los edificios y para limitar el ruido reverberante de los recintos”.

Entre sus diversos documentos, el presente trabajo se centra en el Documento Básico Protección frente al Ruido (DB-HR en adelante), así como el Catálogo de Elementos Constructivos (CEC). Se puede consultar la última versión comentada en la página web del Ministerio.

Tabla 3. Esquema normativo.



En 2009, entró en vigor el Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre que aprobó el Documento Básico de Protección Frente el Ruido DB-HR, 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, 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".

Apenas dos meses después, en junio de 2016, el Ministerio de Vivienda (hoy ministerio de Transportes, movilidad y Agenda Urbana) publicó la rectificación de ambos documentos: Documento actualizado de comentarios al CTE-DB HR, y Documento de Apoyo al DB-HR Protección frente al ruido (DA DB-HR/ 1), 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”*.

Recientemente, en diciembre de 2019, el Ministerio vuelve a rectificar ambos documentos: Documento actualizado de comentarios al CTE-DB HR, y Documento de Apoyo al DB-HR Protección frente al ruido (DA DB-HR/ 1), indicando el motivo de la vuelta al criterio anterior: *“...Cuando se cita una disposición reglamentaria en este DB debe entenderse que se hace referencia a la versión vigente en el momento en el que se aplica el mismo. Cuando se cita una norma UNE, UNE-EN o UNE-EN ISO debe entenderse que se hace referencia a la versión que se indica, aun cuando exista una versión posterior, salvo en el caso de normas armonizadas UNE-EN que sean transposición de normas EN cuyas referencias hayan sido publicadas en el Diario Oficial de la Unión Europea, en el marco de la aplicación del Reglamento (UE) nº 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo, en cuyo caso la cita se deberá relacionar con la última Comunicación de la Comisión que incluya dicha referencia. En el caso*

de normas de métodos de ensayo referenciadas en las normas armonizadas, debe aplicarse la versión incluida en las normas armonizadas UNE-EN citadas anteriormente”.

Pero aunque se ha cambiado la norma, se ha mantenido el índice, es decir no ha sido ampliado, lo que hubiera permitido recoger los valores de aislamiento respecto a las bajas frecuencias de 50, 63 y 80 Hz; que es una de las razones fundamentales por la 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, han sido derogadas y sustituidas. Por tanto a nivel práctico es como si se siguieran utilizando la serie de normas UNE EN ISO 140.

El DB-HR, documento normativo, sugiere por primera vez la comprobación del aislamiento acústico mediante medidas “in situ”. Establece por tanto una necesidad de control y de certificación acústica de los edificios, lo que se denomina “cumplimiento prestacional” del edificio, aunque no es obligatorio. Es un reflejo de la tendencia hacia los códigos prestacionales frente a la anterior, que eran los códigos prescriptivos; se trata de que se cumplan las exigencias, sin importar en principio cómo.

Existen otras normas que se han de tener en cuenta, como la Ley del Ruido (2003), transposición de la Directiva del Parlamento y el Consejo Europeo, sobre la Evaluación y Gestión del ruido ambiental (2002). El objetivo de la Ley del ruido es la prevención, vigilancia y reducción de la contaminación acústica ambiental producida por emisiones acústicas de cualquier índole y se desarrolla en dos reglamentos, el de Evaluación y Gestión del Ruido ambiental

(2005), y el de Zonificación acústica, Objetivos de Calidad y Emisiones Acústicas (2007).

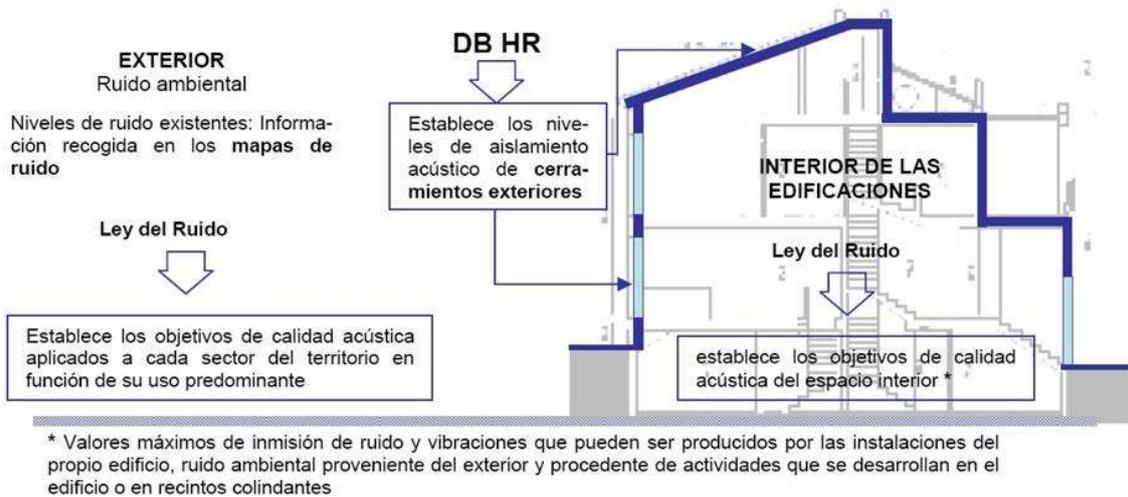


Figura 1. Esquema normativo.

La competencia, en cuanto a la comprobación al respecto de las exigencias, la detentan las diversas Comunidades Autónomas. En nuestro caso, dentro del Reglamento de Protección contra la contaminación en Andalucía (Decreto de la Junta de Andalucía 6/2012, de 17 de enero), se regula el “estudio del cumplimiento del DB-HR del CTE” (IT 5).

En este Reglamento los requisitos de aislamiento acústico se regulan en el Título III, “*Normas de Calidad Acústica*”, en cuyo *Artículo 32. Condiciones acústicas generales, se dice lo siguiente:* “*Las condiciones acústicas exigibles a los diversos elementos constructivos que componen la edificación, serán las determinadas en el Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre. Dichas condiciones acústicas serán las mínimas exigibles a las edificaciones, y podrán ser verificadas mediante mediciones in situ, previamente a la concesión de la licencia de primera ocupación*”.

En la I.T.2 se define el procedimiento de medida y valoración de los aislamientos acústicos a ruido aéreo: El procedimiento a seguir para la medida del aislamiento acústico a ruido aéreo es el definido por la Norma UNE-EN ISO 10140 en su parte 4ª.

Las magnitudes implicadas en las exigencias de aislamiento frente al ruido aéreo con indicación de los procedimientos y normas de medición y valoración global son los indicados en la tabla 4.

Tabla 4. Magnitudes, procedimientos y normas de medición y valoración global

Situación tipo de aislamiento	Ruido incidente o dominante exterior	Magnitud, ecuación y Norma de medición	Magnitud de valoración y ecuación a aplicar
Entre recintos interiores	Rosa	D_{nT} (f) (A. 4) UNE EN ISO 140-4	$D_{nT,A}$ (A.7)

Próximamente saldrá un nuevo Decreto por el que se aprobará el Reglamento para la Preservación de la Calidad Acústica en Andalucía, donde también se regulará el “Estudio del cumplimiento del Documento Básico DB-HR Protección frente al ruido del Código Técnico de la Edificación” (Instrucción Técnica 5).

En este Reglamento los requisitos de aislamiento acústico se regularán en el Título III, *“En lo referente al sistema de verificación acústica de las edificaciones, para la obtención de la licencia de primera ocupación de los edificios o bien para posteriores licencias de ocupación, siempre y cuando sean consecuencia de obras que requieran proyecto técnico de edificación conforme a lo previsto en el artículo 2.2 de la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de*

Ordenación de la Edificación, se exigirá el cumplimiento de lo establecido en el Código Técnico de la Edificación, previsto en la mencionada ley, mediante informe de ensayo ajustado a las normas establecidas en la instrucción técnica 5 y realizado por las entidades que establezca la normativa que le sea de aplicación”.

En la Instrucción Técnica 2 se definirá el procedimiento de medida y valoración de los aislamientos acústicos a ruido aéreo. El procedimiento a seguir para la medida del aislamiento acústico a ruido aéreo será el definido por las normas recogidas en los apartados 1.g del anexo: *UNE-EN ISO 16283-1:2015. Acústica. Medición in situ del aislamiento acústico en los edificios y en los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. (ISO 16283-1:2014).*

Las magnitudes implicadas en las exigencias de aislamiento frente al ruido aéreo con indicación de los procedimientos y normas de medición y valoración global serán los indicados en la tabla 5.

Tabla 5. Magnitudes, procedimientos y normas de medición y valoración global

Situación tipo de aislamiento	Ruido incidente o dominante exterior	Magnitud, ecuación y norma de medición	Magnitud de valoración y ecuación a aplicar
Entre recintos interiores	Rosa	DnT (f) Normas recogidas en apartado 1.g del anexo	DnT,A ⁽¹⁾

En su momento, el Ministerio de Vivienda (hoy Ministerio de Fomento), publicó la Guía de aplicación del DB-HR, (GUIA en adelante) documento de ayuda no vinculante, que contiene aclaraciones y sugiere procedimientos tanto

a nivel de diseño de proyecto básico como de ejecución de proyectos, en este segundo caso, con el uso complementario del CEC.

El CEC, ya citado, es igualmente no vinculante y ofrece un conjunto de elementos y sistemas constructivos, que no de soluciones de proyecto, con sus características higrotérmicas y acústicas que pueden ayudar a definir soluciones que cumplan con las exigencias básicas a las que obliga el DB-HR. El objeto del catálogo informático de elementos constructivos es proporcionar a los usuarios una base de datos que recoja información de las características de los materiales, de las prestaciones higrotérmicas y acústicas de los elementos constructivos genéricos y de las especificidades constructivas relativas a las exigencias básicas del CTE.

En su última versión informática podemos leer: “El catálogo se actualiza a medida que se dispone de nuevos datos y en la actualidad consta de:

- DB-HE. Sección HE 1: Transmitancia térmica, Factor de temperatura de la superficie interior.
- DB HR. Valor de la masa del Elemento Constructivo; aislamiento acústico a ruido aéreo (valores para ruido rosa, ruido de automóviles y de aeronaves); aislamiento acústico a ruido de impacto; absorción acústica, etc.”.

Novedades de la nueva versión (v 2.0) del CEC (2011): Parametrización de la base de datos.- Una vez creada la estructura de parametrización de la base de datos del CEC, ésta se ha incorporado a la aplicación informática, facilitando así la búsqueda de las soluciones concretas a partir de las soluciones genéricas existentes hasta ahora. Formato FIDE: La aplicación se

ha adaptado a la última actualización del formato FIDE en lo que respecta a la exportación de las soluciones del CEC con todas las prestaciones definidas. Mantenimiento de la aplicación: Incorporación/Actualización/Modificación de valores o características de aquellos elementos constructivos que han sido incorporados, actualizados o modificados respecto a las existentes en la versión 1.2 del CEC.”.

Para facilitar la aplicación de la Opción General se ha desarrollado una herramienta informática que contiene y desarrolla la formulación del DB HR y que permite verificar el cumplimiento de los casos más frecuentes. La herramienta sirve para realizar uno a uno el chequeo del aislamiento acústico de parejas de recintos a ruido aéreo y de impactos o simultáneamente y para calcular la absorción acústica y tiempo de reverberación. Es aplicable a los proyectos de rehabilitación y edificación existente.

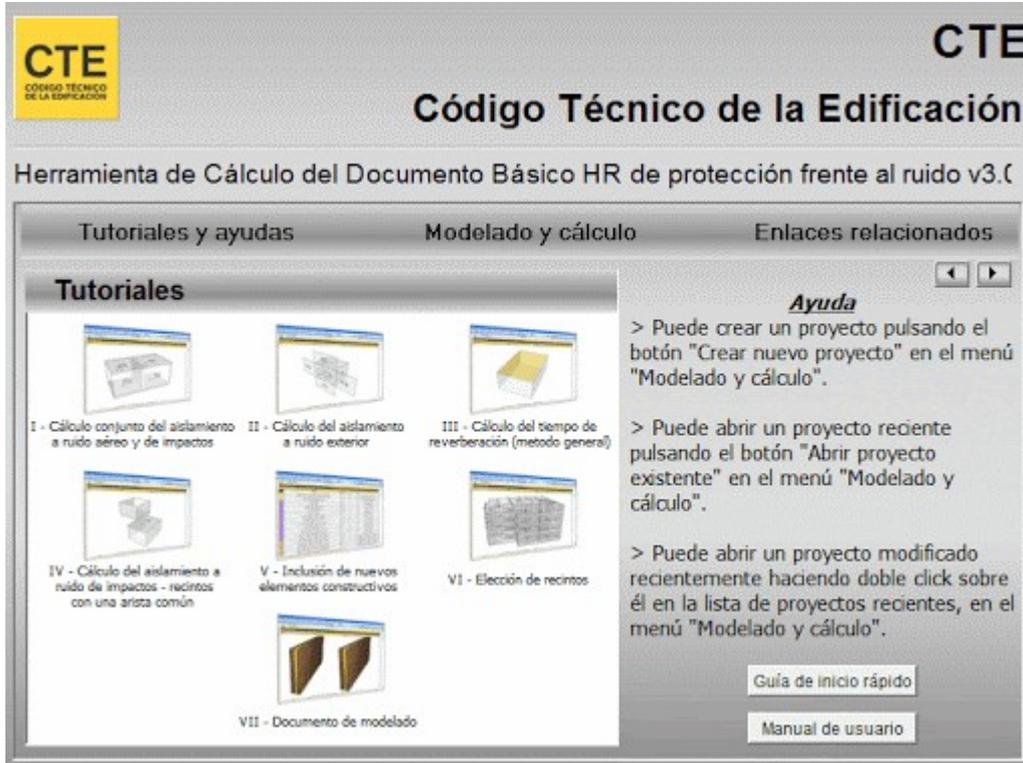


Figura 2. Herramienta de cálculo oficial.

Se trata de una reprogramación de la anterior versión de herramienta de cálculo que la convierte en una aplicación informática multiplataforma que puede ser ejecutada en los sistemas operativos MacOS, Windows y Linux. La aplicación incluye un manual de usuario que muestra de forma sencilla cómo se utiliza. La herramienta incorpora los datos del Catálogo de Elementos Constructivos y el usuario puede añadir sus propias soluciones caracterizadas. Se han añadido además nuevos elementos constructivos que pueden ser habituales en edificación existente.

Se ha mejorado considerablemente la usabilidad de la herramienta con respecto a las versiones anteriores, superando muchas de las limitaciones que presentaban. La introducción de nuevos modos de selección de elementos constructivos y uniones, la agrupación de casos de cálculo en proyectos, así como el uso de otras tecnologías de bases de datos, proporcionan a la nueva versión una mejora sustancial en cuanto a la facilidad de uso.

3.3. Implicaciones de las normas de medida.

En la norma UNE EN ISO 140-4:1999, 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. Más tarde, se inicia una revisión de la norma ISO 717, que tal y como expuso Rasmussen *et al.* (2010-2011), pretendía reducir el gran número de índices diferentes de aislamiento que existen en Europa.

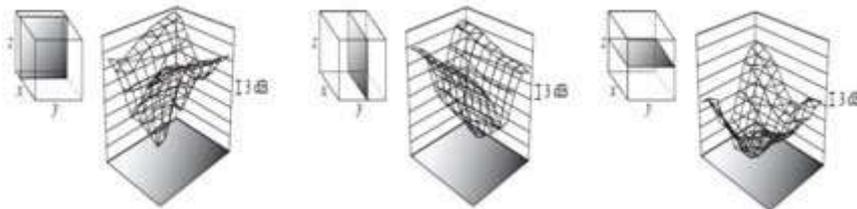


Figura 3. Habitación receptora de 18 m³ en 80 Hz banda 1/3 octava.

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. 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.

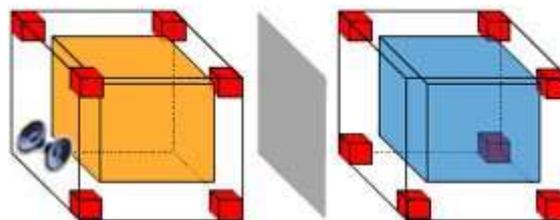


Figura 4. Medición de SPL zona central y el SPL esquina

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. 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. 9), 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.

$$L_{LF}(dB) = 10 \log \frac{10^{0,1 L_{\text{esquina}}} + 2 \cdot 10^{0,1 L}}{3} \quad [dB] \quad (9)$$

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).

- Lesquina (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 et. al (2005), 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

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

Siendo:

- L1 (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. 9.

- L2 (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. 9.

- T (s): tiempo de reverberación del recinto receptor.

- T₀ (s): el tiempo de reverberación de referencia (0,5 s).

A partir de la Ec. 10, 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 , $D_{nT,i}$.

$$D_{nT,A} = -10 \log \sum_{i=1}^n 10^{(L_{A,r,i} - D_{nT,i})/10} \text{ [dB]} \quad (11)$$

Siendo:

- $D_{nT,i}$: (dB) diferencia de niveles estandarizada en la banda de frecuencia i (Ec. 10).
- $L_{r,i}$ (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.

Para la obtención del índice sin la ampliación a bajas frecuencias DNTA(100-5000) no sería necesario la utilización de estos procedimientos específicos, bastaría con la utilización del procedimiento por defecto, lo que en la realidad supone prácticamente continuar usando el procedimiento de la antigua norma UNE-EN ISO 140-4:1999. Para poder incorporar en la evaluación del aislamiento acústico las frecuencias por debajo de los 100 Hz y obtener el índice DnT,A (50-5000), ya que en el Código Técnico no se disponen de valores de este espectro normalizado para las frecuencias de 50, 63 y 80 Hz., se tiene en cuenta que los valores del espectro de referencia definidos por la propuesta de revisión de la ISO 717, o de la vigente UNE EN ISO 717-1, 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 DnT,A (50-5000), se pueden usar bien el espectro de referencia definido por la propuesta de revisión de la ISO

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

Los valores equivalentes a los $D_{nT,A}$ en la norma anterior, son las denominadas diferencias globales de niveles estandarizados corregidos con el término de adaptación espectral C ($D_{nTw}+C$), 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, 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, definidas por ambas normas. Para discutir la incidencia de ambos índices se han realizado una serie de medidas in situ en recintos ubicados en diferentes edificios públicos de diferente 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 $D_{nTw}+C$ (50-5000) y $D_{nTw}+C$ (100-5000).

3.4. ESTUDIOS PREVIOS

3.4.1. Sobre el Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación.

El Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre aprobó el Documento Básico de Protección Frente el Ruido que entró en vigor en Abril de 2009, y que forma parte del Código Técnico de la Edificación. La recomendación de las medidas “in situ” es uno de los principales cambios que introduce este Documento, (Machimbarrena et al. (2010)).

Uno de los grandes problemas que en la actualidad se plantea en la edificación de calidad es el aislamiento acústico. Cada vez hay más fuentes de ruido y emiten niveles más altos. Un ejemplo es el nivel de ruido en fachada de las distintas edificaciones que se ha incrementado notablemente en los últimos años debido al aumento del tráfico, (L. Ruiz et al. (2012)). Los diferentes mapas de ruido que se han realizado a nivel europeo, estatal y autonómico permiten comprobar este punto (W. Wei et al. (2009)).

También las instalaciones dentro de los edificios han aumentado el nivel de ruido emitido, y se ha incrementado el número de fuentes de ruido: son más numerosos los electrodomésticos, los equipos de reproducción sonora, la televisión, los sistemas de aire acondicionado, han aumentado su potencia acústica, etc.

La publicación del Reglamento de la Ley del Ruido y el Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación

suponen un desarrollo legislativo que se ha llevado a cabo en los últimos años como consecuencia del incremento de las exigencias de confort del ciudadano (Redel-Macías et al. (2009)).

Reducir el efecto del ruido en la salud de las personas, disminuyendo el nivel máximo de inmisión en diferentes hábitats, como los de vivienda y trabajo es el objetivo de toda esta normativa (González Gaya et al. (2013)).

Esta evolución normativa acaba plasmándose en un documento técnico, el Código técnico de la edificación, (CTE, 2006) que es el desarrollo reglamentario y técnico de la Ley de ordenación de la edificación (LOE, 1999). Este código regula aspectos que tienen que ver con los requisitos básicos que le han de ser exigidos a los edificios, en referencia a su funcionalidad, su seguridad y su habitabilidad. Uno de los documentos del CTE es el Documento Básico de protección frente al ruido (DB-HR, 2007). Este documento se propone conseguir los siguientes objetivos:

- Elevar los niveles reglamentarios del aislamiento acústico, igualándolos a la media europea;
- Conocer y contemplar los mecanismos de transmisión acústica entre recintos, incluyendo la problemática de la transmisión por flancos (evitando así las diferencias predictivas de la NBE-CA en la transmisión de ruido entre recintos);
- Limitar ruido reverberante en aulas y salas de conferencias, donde limitar el ruido de fondo es imprescindible para un cierto nivel de inteligibilidad Redel-Macías et al. (2009)).

Antes de la entrada en vigor del DB-HR del CTE se podía justificar el cumplimiento de las exigencias de aislamiento acústico a nivel de diseño de proyecto, aceptando los valores certificados de laboratorio que proporcionan los fabricantes (NBE-CA). Con la implantación del DB-HR se incluyen el control y la certificación acústica de los edificios al completo, una vez ejecutados. Los responsables de la redacción y ejecución de los proyectos han de tener en cuenta que la verificación acústica de los diversos elementos constructivos y del edificio en su conjunto se podrán realizar mediante mediciones in situ, comprobando el llamado “cumplimiento prestacional” del edificio (Guillén Guillamón et al. (2016)).

En la extensa bibliografía sobre comportamiento acústico en laboratorio vemos que las paredes de albañilería usuales tradicionalmente suelen presentar aislamientos entre 46 y 54dBA, que generalmente se quedan cortos frente a los niveles exigidos. Por otra parte, el control de ejecución y montaje de estos elementos son críticos para conseguir alcanzar las exigencias acústicas del DB-HR (González de la Peña et al. (2019))

Posteriormente, el Ministerio de Vivienda (hoy Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana), publicó la Guía de aplicación del DB-HR, (GUIA en adelante) documento de ayuda no vinculante, que contiene aclaraciones y sugiere procedimientos tanto a nivel de diseño proyecto básico como de ejecución de proyectos, en este segundo caso con el uso complementario del CEC, que es el Catálogo de Elementos Constructivos. Por otra parte, para facilitar la aplicación del DB-HR, en su Opción General (que se explicará exhaustivamente más adelante) se ha desarrollado una herramienta informática

que contiene y desarrolla la formulación del DB HR y que permite verificar el cumplimiento de los casos más frecuentes (Pedersoli et al. (2013)) .

La herramienta sirve para realizar uno a uno el chequeo del aislamiento acústico de parejas de recintos a ruido aéreo y de impactos o simultáneamente y para calcular la absorción acústica y tiempo de reverberación. Es aplicable a los proyectos de rehabilitación y edificación existente. La herramienta incorpora los datos del Catálogo de Elementos Constructivos y el usuario puede añadir sus propias soluciones caracterizadas. Se han añadido además nuevos elementos constructivos que pueden ser habituales en edificación existente (Carrascal García et al. (2015)).

En suma: de una parte, tenemos unas condiciones ambientales que crean un problema de salud pública y todas las acciones normativas que se van adoptando para mitigar sus efectos. Y de otra, contamos con otra realidad, de tipo técnico: la implementación en la práctica de todas esas medidas de protección. El sector de la construcción ha de tener en cuenta toda la normativa sobre aislamiento acústico desde la fase de diseño hasta la ejecución final, sin olvidar que la aceptación final podrá depender de una certificación que, en el aspecto este que nos ocupa, se basará en medidas in situ, y no valdrán supuestas justificaciones técnicas basadas en valores de laboratorio por muy finas que éstas pudieran ser (Paz Morandeira et al. (2017)

Por lo tanto, el técnico ha de justificar completamente, en el proyecto, el futuro cumplimiento de las exigencias de aislamiento acústico, a nivel prestacional, una vez ejecutado el mismo. Es evidente que la toma de decisiones sobre las diversas soluciones constructivas que se vayan adoptando

es crítica y parte de esta problemática es la que justifica este trabajo. Otra fuente de incertidumbre es la calidad de la propia ejecución, pues es fácil describir sobre el papel cualquier solución y no conseguir su materialización de forma efectiva en la práctica (puentes térmicos o acústicos por mal uso de morteros, por contactos entre piezas no deseadas, etc.) (Rodríguez Rodríguez et al. (2013)

3.4.2. Sobre medidas “in situ”

El DB HR Protección frente al ruido introduce el concepto de cumplimiento prestacional, con lo que cobran una especial importancia las comprobaciones “in situ”. En el estudio presentado por Arenaz Gombau *et al*, (2010) se define una metodología que permite establecer un plan de muestreo de ensayos, al considerarse inviable comprobar todos y cada uno de los paramentos que componen un edificio. El cambio en la metodología de justificación del cumplimiento acústico de edificios hace que el control de la correcta ejecución se convierta en crítica, al igual que ensayos acústicos “in situ” a final de obra. Hay que hacer resaltar que el DB HR Protección frente al ruido no exige obligatoriamente que el promotor lleve a cabo dichos ensayos una vez finalizada la obra, sino que queda como algo “voluntario”, o bien que deben costearse los compradores de las viviendas en el caso de que quieran comprobar la calidad acústica de sus viviendas una vez que les son entregadas. Pero las normativas autonómicas y locales pueden imponer la certificación acústica con medidas *in situ* para otorgar la licencia de primera ocupación. Por lo tanto, dependerá de dónde se ubique el edificio para que sea o no obligatorio certificar el cumplimiento prestacional. En el siguiente párrafo del DB HR Protección Frente al Ruido se indica: *“En caso de que se realicen mediciones “in situ” para comprobar las exigencias de aislamiento acústico a ruido aéreo, de aislamiento acústico a ruido de impactos y de limitación del tiempo de reverberación, se realizarán por laboratorios acreditados y conforme a lo establecido en las normas UNE EN ISO 140-4 y UNE EN ISO 140-5 para ruido aéreo y fachada, en la UNE EN ISO 140-7 para ruido de impactos y en la UNE EN ISO 3382 para tiempo de reverberación...”*

De aquí se deduce:

- No es obligatorio realizar mediciones “*in situ*”, ya que se indica “En caso de que se realicen...”, no que deban realizarse.
- En su caso, mediciones “*in situ*” frente a ensayos en Laboratorio, realizados por laboratorios acreditados.
- Se determina qué se debe comprobar: ruido aéreo, ruido de impactos, tiempo de reverberación...

Se hace referencia a una cuestión importante, como es evitar casos en los que las dimensiones de los recintos impidan una correcta realización del ensayo según los requisitos de la norma UNE EN ISO 140-4 (Ej. Selección de baños con unas dimensiones reducidas que impiden aplicar las distancias mínimas de ensayo) y en sus conclusiones destaca la inexistencia de criterios para establecer en plan de muestreo para la medidas “*in situ*”, y por tanto, la necesidad de normativa que homogeneice las diversas interpretaciones de los técnicos.

En un estudio para comparar el comportamiento general de una técnica constructiva llamada MBT (Mixed Building Construction) (Bragança et al. (2004)) frente a las convencionales, en referencia a la evaluación acústica ya hicieron comparaciones entre las medidas “*in situ*”, ensayos de laboratorio y métodos de predicción simplificados, observando ciertas diferencias.

En un trabajo sobre el efecto de uno tipos de balcones (Myung-Jun et al. (2007), muy comunes en edificios en Corea, sobre el aislamiento acústico de las fachadas, hacen uso de medidas “*in situ*” y estimaciones previas. Las mediciones *in situ* se realizaron haciendo uso de la norma ISO 140-5 y su metodología, con un índice único, poniendo de manifiesto la validez y la coherencia de las medidas de aislamiento entre el interior y exterior del edificio.

En un artículo (Hagberg et al. (2010)) sobre las diferentes normativas en Europa respecto a los estándares exigidos en la construcción en general ponen de manifiesto las grandes incertidumbres que afectan sobre todo a los procedimientos de evaluación y de medida del aislamiento acústico, en especial en estructuras ligeras. Aun cuando se van adaptando, los descriptores de los diversos elementos constructivos dependen en gran medida de dónde se hayan diseñado y fabricado. En un momento posterior se habrán de adaptar a la normativa del nuevo país dónde se usarán. Aunque la normativa es general, existen pequeñas adaptaciones locales, en países y regiones. Igualmente ocurre con las medidas “*in situ*”, pues tampoco existe una armonización total, pues, aunque del DB-HR Protección frente al ruido introduce el concepto de cumplimiento prestacional, hay que recordar que la Certificación Acústica de un edificio no es realmente obligatoria, ni en toda Europa, ni siquiera en el caso de España. Actualmente, en España, al depender de las Comunidades Autónomas, es obligatorio sólo en la Comunidad de Valencia y en la de Castilla y León. En otras está en camino esta obligatoriedad, pero en otras sin embargo no parece que vaya a serlo.

En la revista dB AECOR, se publicó (Pérez et al. (2011)) un artículo en el que se ponía de manifiesto el interés del propio sector de la construcción en cumplir con las exigencias, con ensayos *in situ*, aun cuando no fuera obligatorio, como un argumento de mayor calidad de su producto. Se presentan los resultados de mediciones acústicas "*in situ*" realizadas en una promoción de viviendas de un grupo constructor para comprobar el cumplimiento del DB-HR, con las soluciones constructivas adoptadas en la misma. El objetivo es conseguir un alto nivel de prestaciones acústica y la certificación prestacional acústica con medidas "*in situ*" realizadas por un laboratorio independiente con acreditación ENAC, suponen un valor añadido ante los adquirentes.

En un artículo sobre aislamiento acústico en viviendas con bandas perimetrales elásticas (Lorenzana et al. (2009)) se pone a prueba el cumplimiento de las exigencias haciendo medidas "*in situ*". Realizando medidas con la instrumentación específica, siguiendo la metodología EN ISO 140-4, obtuvieron los valores de aislamiento en tercios de octava y los índices globales según la norma EN ISO 717-1 y 2, en 29 particiones simples, 10 medianeras y 21 forjados. Concluyen que la mayoría de las soluciones constructivas cumplen con las exigencias, aunque no la totalidad. Y observan que en general se avanza hacia el cumplimiento cada vez mayor, seguramente por la aparición de nuevos materiales que van facilitando el cumplimiento de la norma, pues en sucesivas mediciones "*in situ*" van mejorando los porcentajes de cumplimiento

3.4.3. Sobre las simulaciones

Venero de Castro (Venero de Castro et al. (2009)), estudia la idoneidad de la aplicación de la opción simplificada frente a la general, que ha de decidirse en el paso 4 de la aplicación del DB HR Protección Frente al Ruido. En la opción simplificada se asignan unos parámetros acústicos a los diferentes elementos constructivos que permiten tomar decisiones de manera rápida para edificios de poca complejidad. Se sometieron varios elementos y soluciones constructivas contempladas en la opción simplificada al cálculo de la Herramienta Oficial, en su opción General. En el caso analizado, una edificación residencial, se comprobó que la opción simplificada no presentaba un elevado coeficiente de seguridad con respecto a la opción general. Para la transmisión de ruido de impacto, en algún caso incluso el resultado no cumplía las exigencias al aplicar la opción general. Esto sugería la necesidad de revisar las tablas de la opción simplificada o limitar el uso a unos valores límite de volumen y superficie de los recintos, lo que efectivamente se está haciendo en las diversas versiones del DB-HR. En este mismo estudio se apunta a la necesidad de mediciones “*in situ*” para contrastar si los valores esperados, en una u otra opción están dentro de los límites exigidos.

En la comunicación al 41º Congreso Nacional de Acústica presentaban la aplicación SONarchitect-ISO, (Rodríguez et al. (2010)) de la que hemos hecho uso en este trabajo, en su versión educativa. En varios países europeos, además de contar con unos requerimientos mínimos de aislamiento acústico a ruido exigibles a la edificación, se cuenta con esquemas de clasificación de la

calidad acústica de los edificios. En función de los niveles de prestación acústica alcanzados una vivienda podrá obtener una clasificación determinada.

Actualmente en Europa se está lejos de la armonización en el concepto de confort o calidad acústica: no se manejan descriptores comunes en la definición de los requisitos de aislamiento, y estos cambian en función de los países. En este artículo se presenta una herramienta que proporciona la posibilidad de determinar la clasificación acústica de un edificio completo en cualquiera de los esquemas de clasificación europeos, teniendo en cuenta la disparidad de descriptores y requisitos. El software presentado utiliza el método de cálculo descrito en la familia de normas UNE-EN 12354.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. PLAN DE TRABAJO

Para el desarrollo de este trabajo se han seguido las siguientes fases:

-FASE 1. En la que se desarrollan el primer y segundo objetivos específicos.

En esta fase se realizaron los siguientes trabajos:

- Estudio y análisis de los procedimientos de ensayo y herramientas de cálculo vigentes en la actualidad definidos en la normativa legal y técnica de control de aislamiento acústico.
- Elaboración de un programa de experiencias. Con el objeto de verificar el grado de correlación entre los distintos índices de aislamiento acústico a ruido aéreo, se realizan una serie de ensayos experimentales en cuatro edificios de tipo sanitario, docente, social-cultural y empresarial, administrativo .
- Análisis de los resultados. Si bien los valores en frecuencias de aislamiento D_{NT} , se obtuvieron con el software de adquisición y procesado de datos; para la obtención del nuevo índice global que incluye las bajas frecuencias $D_{NTA50-5000}$, se creó una plantilla de cálculo donde además se muestra la diferencia entre este índice con el índice global que no incluye las bajas frecuencias $D_{NTA100-5000}$.

-FASE 2. En la que se desarrolla el tercer objetivo específico. En esta fase se realizaron los siguientes trabajos:

- Determinación de los valores de aislamiento acústico mediante medidas “*in situ*” en un edificio de tipo residencial.

- Estimación de los valores de aislamiento acústico mediante herramientas de simulación.
- Comprobación de la validez de las herramientas de simulación.

Se trata por tanto de validar la guía y la Herramienta de cálculo con medidas reales, en tanto que herramienta predictiva útil. El coste económico de rectificación de un sistema constructivo ya ejecutado es muy alto en el supuesto de no alcanzar el cumplimiento prestacional exigido.

4.2. Instrumentación.

Para las mediciones del aislamiento acústico a ruido aéreo se han utilizado los siguientes sistemas (Figura 5):

- 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 medida, adquisición de datos y procesado. Se ha utilizado un Analizador de Señales Dinámicas (Harmonie, 01 Db-Stell), conectado a un ordenador portátil equipado con el software de procesado (AM Acustics, dBBATI), para el análisis de los parámetros acústicos y los espectros de frecuencia, y un micrófono prepolarizado de campo libre con preamplificador (Gras, 40AC).

4.2.1. Sistema de generación del campo sonoro.

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.



Fig. 5. Parte del equipo de medida y generación del campo sonoro.

Previamente, se realizó una comprobación de la directividad de las dos fuentes omnidireccionales (Fig. 6), 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. 12, mediante el cálculo de los diferentes niveles de presión sonora establecidos en la ecuación, para 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

$$D_{li} = L_{360^\circ} - L_{30,i} \quad (12)$$

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.

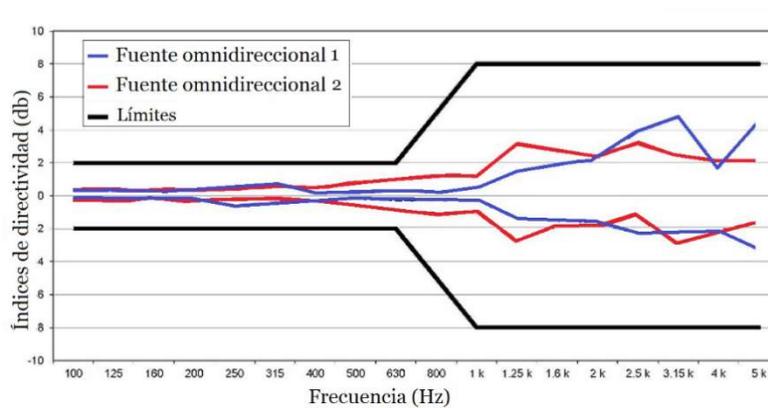


Figura 6. Índices de directividad para las dos fuentes omnidireccionales empleadas en la toma de medidas de ruido.

4.2.2. Sistema de medida, adquisición de datos y procesado.



Figura 7. Sistema de medida Harmonie.

El sistema harmonie combina la instrumentación de ruido con las funciones de cálculo y de gestión que proporcionan el grupo de programas asociados.

4.2.2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL.

Harmonie posee un sistema de medida modular basado en PC, similar al utilizado en los sistemas tradicionales.

Primero, el transductor transforma un fenómeno físico en una señal eléctrica de entrada. Segundo, el bloque de acondicionamiento de la señal transforma y/o amplifica la señal de entrada para su tratamiento en una unidad de adquisición. El acondicionamiento requiere suministro de energía.

La señal acondicionada alimenta entonces a una unidad de adquisición de señal digital, que llevan a cabo las medidas.

Es necesario el control del instrumento y de la salida de resultados. El control se consigue mediante los comandos de un panel de control. Pueden almacenarse también resultados como gráficos de espectro o de evolución temporal, por ejemplo como datos de audio, similar a una grabación de un D.A.T. o como una memoria de espectro o conjunto de medidas de L_N . Los resultados estarán a la disposición del usuario para operaciones de post-procesado.

Finalmente, el instrumento debe tener un interfaz con un ordenador para un análisis posterior y presentación de informes.

El ordenador personal puede usarse como un anfitrión de un instrumento especializado. sin embargo, aparece una duplicación de funciones. un pc puede manejar muchas de las funciones internas de los instrumentos especializados más eficientemente. las ventajas de los pc incluyen una mayor capacidad de almacenamiento, dispositivos de entrada/salida, mayor resolución con un interfaz gráfico de estilo windows y la integración general con el entorno de diseño basado en ordenador. el ordenador también puede responsabilizarse del control del sistema.

Con respecto a los gráficos, el interfaz de usuario, el almacenamiento y el post-procesado son manejados todos ellos por la plataforma PC, y el tipo de medida realizado se define simplemente mediante la ejecución de un programa en el ordenador, el cuál envía llamadas a los recursos hardware en función de las necesidades.

El sistema permite la adquisición de la señal desde uno a cuatro canales de entrada, directamente hacia el disco duro del ordenador a través de una tarjeta pcmcia. los programas pueden seleccionar la frecuencia de muestreo (hasta 51.2 khz). los programas localizados en el pc controlan todas las funciones de adquisición y proceso.

El máximo rango dinámico del sistema es 120 dB. El mínimo valor que el sistema puede medir depende de la sensibilidad del micrófono, por ejemplo para una sensibilidad de 50 mV/Pa, el rango que medida cubre niveles de presión del sonido de 20 a 135 dB.

Los valores Leq y Pico se calculan mediante un procesamiento interno de la señal y los resultados se envían al ordenador.

La unidad Harmonie permite transformar las grabaciones de audio al formato .WAV. Podemos reproducir la señal de audio usando una señal eléctrica de salida. Simplemente conectaremos la salida a un altavoz o a un par de auriculares.

El ordenador suministra energía directamente a la unidad Harmonie a través de la tarjeta de conexión.

Los elementos de "hardware" necesarios para realizar medidas acústicas en el entorno con el sistema de medida Harmonie son:

Unidad transductor.

- Micrófonos de condensador de Tipo 1 o Tipo 2 (prepolarizados, polarizados externamente).
- Preamplificador asociado. Debería proporcionar la tensión de polarización para el micrófono de condensador si es necesario.

Instrumentación de medida.

- Ordenador industrial o de sobremesa, que reúna los requisitos mínimos, con un sistema operativo Windows.
- Unidad de adquisición conectada al ordenador (Harmonie).

4.3. FASE 1: Comparativa entre normas

4.3.1. 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, contruidos por la misma empresa constructora. Los datos de los diferentes recintos ensayados, así como las soluciones constructivas, son especificadas en la Tabla 6, 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.

Tabla 6. 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).

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				

4.3.1.1. Soluciones constructivas del “Edificio Sanitario”

PAVIMENTO

Terrazo grano fino, uso intensivo, 40x40 cm, color azul oscuro.

MEDIANERÍA

Cartón yeso+cartón yeso-cartón yeso+panel compacto más vidrio superior y estructura metálica auxiliar/Cartón yeso+cartón yeso-cartón yeso+cartón yeso/
Cartón yeso+cartón yeso-cartón yeso+cartón yeso más vidrio superior y estructura metálica auxiliar/Trasdosado de cartón yeso+panel compacto/Panel compacto sobre cartón yeso en ambas caras. Revestimiento de paneles compactos de alma baquelizada color blanco.

FORJADO

Forjado reticular canto 35 de intereje 75 cm, nervios 15 cm. Losa superior de hormigón+malla de la losa superior diámetro 05/20 cm+armadura base superior diámetro 8+refuerzo superior+bloques 600x200x300 mm.+armadura base inferior diámetro 10.

TECHO

Fosado en encuentro de techo desmontable con techo fijo: Falso techo fijo de panel cartón yeso+rejilla metálica+lámina de aluminio de 0,7 mm. pegada al cartón yeso.

4.3.1.2. Soluciones constructivas del “Edificio Socio cultural”

PAVIMENTO

Pavimento de gres porcelánico rectificado-color masa de 59,6x59,6 cms y clase 1, cemento manhattan, tipo ston-ker de porcelanosa o similar. Clase 1.

TECHO

Falso techo continuo liso de yeso laminado de 15 mm tipo d112 de kanuf o similar suspendido con varillas roscadas, acabado con pintura plástica lisa.

FORJADO

Tabicón transversal de l.h.d. tomado con mortero para formación de empalomado+tablero rasillón tomado con mortero para formación de empalomado+aislamiento acústico de paneles de lana de roca de 40 mm de alta resistencia a la compresión+ protección de aislamiento con lámina de polietileno+ capa de compresión de hormigón armado de 40 mm. de espesor raestreada y nivelada+ capa de mortero autonivelante de 10 mm de espesor+ adhesivo cementoso fluido.

MEDIANERÍA

Tablero de dm ignífugo e=12 mm., rechapado en madera noble+doble placa de yeso laminado 12,5 mm.+perfilería de acero galvanizado con aislante en el interior de lana mineral de 70 mm. de elevada absorción acústica y resistividad al flujo de aire+huecos para instalaciones+ doble placa de yeso laminado 12,5 mm.

4.3.1.3. Soluciones constructivas de los “Edificios Empresarial administrativo y Docente”

MEDIANERÍA

Obra de fábrica.- Cerramiento de 2 hojas, de 24,5 cm de espesor, formado desde el exterior hacia el interior por: – Fábrica de ½ pie de ladrillo perforado, recibido con mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N y arena de río M-5 (dosificación 1:6) – Embarrado interiormente con mortero de cemento hidrófugo de 10 mm de espesor mínimo – Cámara de separación mínima entre fábricas de 5 cm – Trasdosado interior autoportante de placa de fibra de yeso, 85/600 (70), compuesto por una placa de cartón-yeso tipo N en general, WR si coincide con cuartos húmedos, de 15 mm de espesor, dispuesta sobre montantes de acero galvanizado de 70 mm. de anchura fijados a suelo y techo mediante canales del mismo material y atornilladas mediante tornillería especial, con aislamiento interior con manta de fibra de vidrio o lana mineral de 70 mm. de espesor.

PAVIMENTO

Pavimento vinílico a base de PVC homogéneo en rollos, fijado con el adhesivo recomendado por el fabricante sobre una capa de mortero autonivelante (en caso que fuese necesario) o sobre el propio forjado fratasado mecánicamente, siempre garantizando su planeidad y falta de irregularidades.

TECHO

Falso techo desmontable de placas de fibra mineral con perfilería rehundida de 600x600x19 mm. en color blanco, instalado con perfilería vista blanca de 24

mm., comprendiendo perfiles primarios y secundarios, fijados al forjado, fácilmente desmontables para inspecciones del falso techo.

FORJADO

Placas alveolares de canto 25+5 y 17+5 apoyadas en las vigas prefabricadas. El monolitismo de los forjados se consigue con una capa de compresión de al menos 5 cm de espesor que dispondrá de una armadura de reparto con redondos de acero en las dos direcciones: una perpendicular a los nervios de $\varnothing 6$ mm. cada 30 cm. y otra perpendicular a éstos de $\varnothing 4$ mm. cada 50 cm. o bien una malla de acero electrosoldado de cuantías equivalentes. Todos los bordes del forjado estarán terminados con zunchos de hormigón armado con árido rodado de diámetro máximo 20 mm y consistencia plástica, con las secciones y armados que se especifican en los correspondientes planos, resultados del cálculo.

4.3.2. Procedimientos de medida.

Los ensayos se realizaron tomando medidas “in situ” del aislamiento acústico a ruido aéreo entre los diferentes recintos, utilizando posiciones fijas de micrófono en la zona central del recinto tal como se expone tanto en la norma UNE EN ISO 140-4 como en el procedimiento por defecto de la norma UNE EN ISO 16283-1 (Fig. 8). En el Anexo I se muestran tanto la ubicación, como los resultados, de los ensayos “in situ” realizados en el “Edificio Sanitario”, en el “Edificio Socio cultural”, en el “Edificio Empresarial administrativo” y en el “Edificio Docente”.

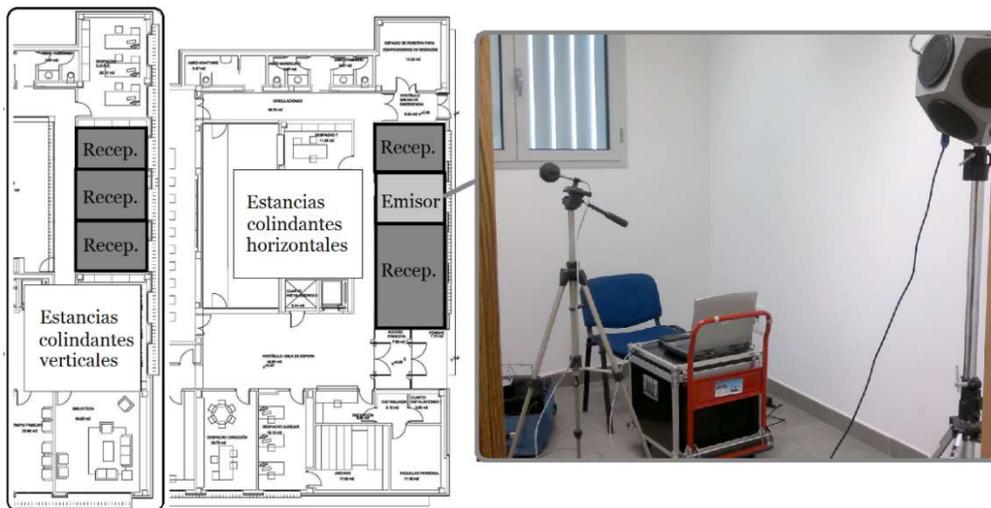


Fig. 8. Representación del recinto emisor en el edificio de tipo cultural usado en las medidas del aislamiento y parte del equipo de medida.

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 $D_{nT,A}(50-5000)$ y $D_{nT,A}(100-5000)$, así como sus equivalentes de la norma anterior $D_{nTw}+C(50-5000)$ y $D_{nTw}+C(100-5000)$.

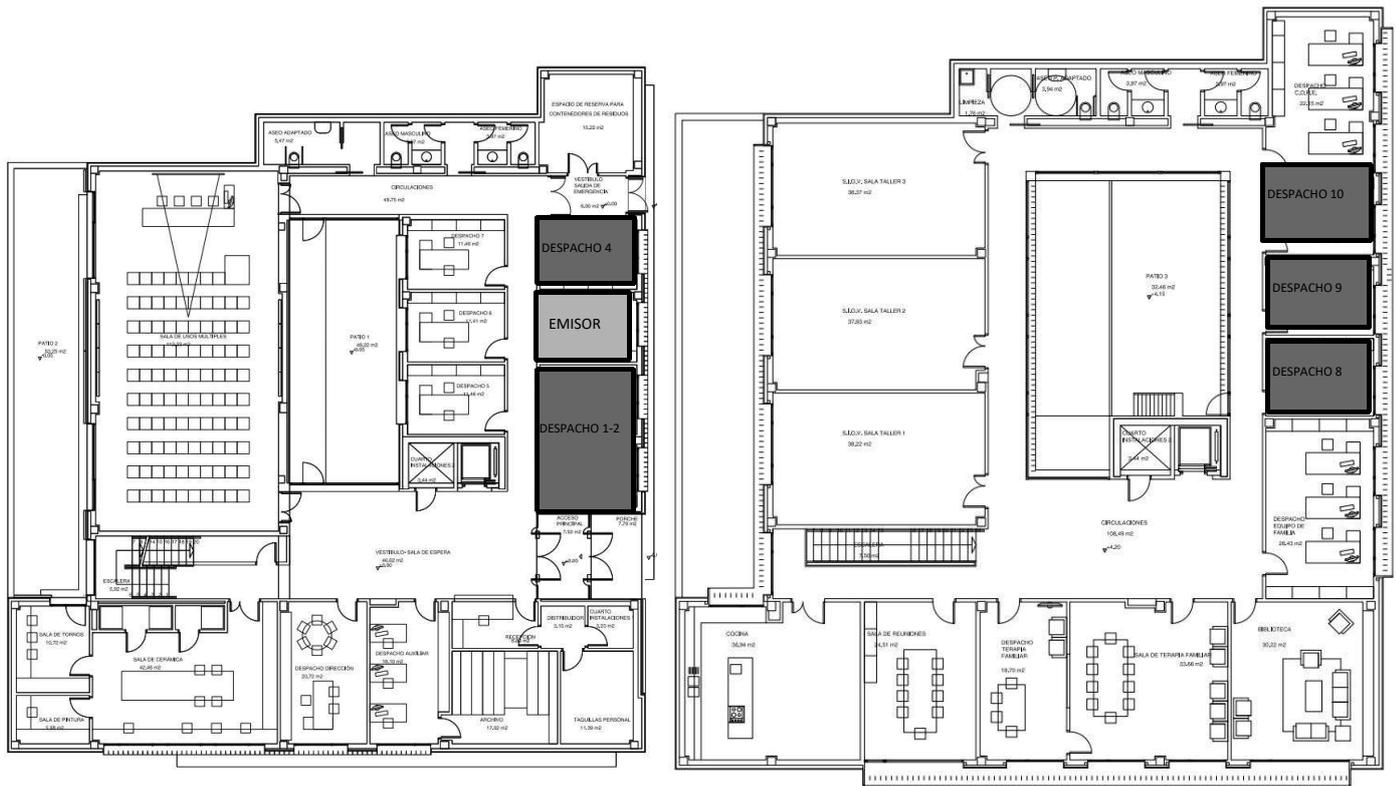


Figura 9. Plano planta baja (I) y planta primera (D) del “Edificio Socio cultural”



Figura 10. Planta baja (I) y planta primera (D) del “Edificio Socio cultural”



Figura 11. Despacho 1-2 del “Edificio Socio cultural”



Figura 12. Despacho 3 (EMISOR) y Despacho 4 del “Edificio Socio cultural”

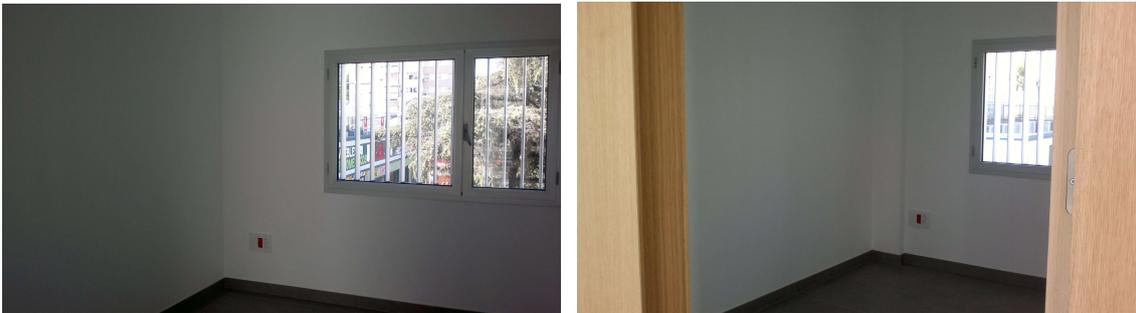


Figura 13. Despacho 8 y Despacho 9 del “Edificio Socio cultural”



Figura 14. Despacho 10 del “Edificio Socio cultural”

4.3.2.1. Norma UNE-EN ISO 140-4.

En la norma UNE-EN ISO 140-4:1999 se detalla un procedimiento de ensayo del aislamiento acústico a ruido aéreo de particiones entre locales. En esta norma se detallan las posiciones tanto de fuente como de micrófonos, así como un ruido generado en el recinto emisor estacionario, los puntos de medida necesarios para obtener un campo sonoro lo más difuso posible, y las correcciones, si fuera necesario debido al ruido de fondo, los equipos necesarios para realizar la medición, etc.

En la figura 15 se puede observar un plano de la ubicación de puntos de medida y ubicación de fuentes. En el caso de utilizar una sola fuente, ésta se sitúa al menos en dos posiciones distintas en la sala emisora. Para cada posición de fuente se registra el campo sonoro en al menos cinco puntos tanto en la sala emisora como receptora.

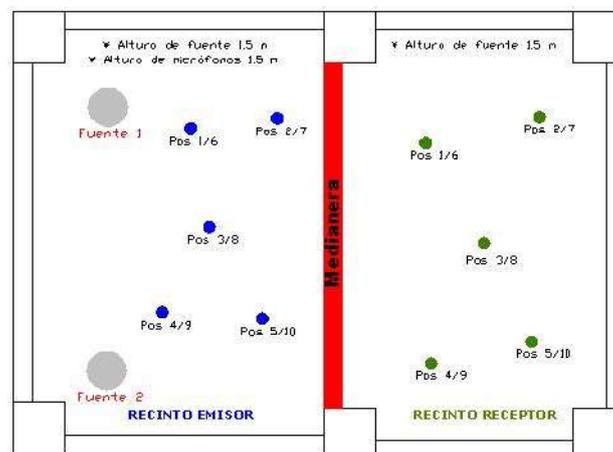


Figura 15. Esquema de medida del aislamiento acústico a ruido aéreo.

Se obtienen niveles promediados de emisión, L1 y recepción L2 con las cinco posiciones de micrófono por las dos posiciones de fuente. Cuando ambos recintos tienen diferente tamaño, se tomará el de mayor tamaño como recinto

emisor a no ser que se especifique lo contrario. Con estos promedios se obtiene el aislamiento bruto:

$$D = L1 - L2 \text{ [db]} \quad (5)$$

Estos niveles promediados de emisión y recepción se obtienen generalmente para las bandas centrales en tercios de octava desde los 100Hz hasta los 3150Hz. El DB-HR y por tanto el D6/2012 nos exige ampliar el rango de frecuencias de estudio hasta los 5000Hz, por otra parte, existe un procedimiento específico para ampliar este rango hasta los 50Hz.

4.3.2.1.1. Generación del campo sonoro en el recinto emisor.

El tipo y la posición de la fuente sonora definen en gran medida los campos sonoros en el recinto emisor, debiendo colocarla a una distancia de la pared separadora tal que la radiación directa sobre ella no sea dominante, de tal forma que se cree un campo sonoro tan difuso como sea posible. Para ello se utilizará una fuente con radiación omnidireccional y las distancias entre los bordes del recinto y el centro de la fuente no será menor que 0,7 m y la distancia entre las distintas posiciones de altavoz no serán menores que 0,7 m. Al menos dos posiciones no estarán a menos de 1,4 m.

El sonido generado en el recinto emisor será estacionario y tendrá un espectro sonoro que no tendrá diferencias de nivel mayores a 6 dB entre recintos de octava adyacentes en el rango de frecuencia considerado.

El nivel de presión sonora en el recinto receptor debe ser, al menos, 15 dB más alto que el nivel de fondo en cualquier banda de frecuencia.

4.3.2.1.2. Medida del nivel medio de presión sonora

Se obtendrá el nivel de presión sonora para cada recinto en un mínimo de cinco posiciones de micrófono distribuido uniformemente a lo largo de todo el espacio permitido en cada recinto.

La distancia mínimas son: 0,7 m entre posiciones de micrófono; 0,7 m entre cualquier posición de micrófono y los bordes del recinto, o difusores; 1,0m entre cualquier posición de micrófono y la fuente sonora; 1,0 entre cualquier posición de micrófono y la muestra.

Para cada posición individual de micrófono, el tiempo de promedio será, al menos, 6s en cada banda de frecuencia con frecuencias centrales menores que 400 Hz. Para bandas de frecuencias centrales mayores se permite disminuir el tiempo a no menos de 4 s.

Los niveles de presión sonora en las diferentes posiciones de micrófono serán promediados de forma energética para todas las posiciones de micrófono.

4.3.2.1.3. Medida del tiempo de reverberación

Se evalúa a partir del tiempo de reverberación medio de acuerdo con la norma UNE-EN-ISO 354:2003. Medición de la absorción sonora en cámara reverberante.

$$T = \frac{0,16 \cdot V}{A} \quad [\text{s}] \quad (13)$$

Donde:

A Es el área de absorción sonora equivalente en metros cuadrados;

V Es el volumen del recinto receptor, en metros cúbicos;

T Es el tiempo de reverberación del recinto receptor, en segundos.

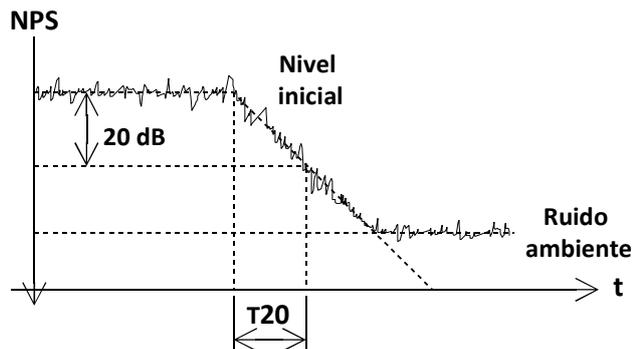


Figura 16. Medida del Tiempo de reverberación

Según esta norma, el tiempo de reverberación se evalúa a partir de un nivel de presión sonora algunos decibelios por debajo del principio de caída que empezará alrededor de 0,1 s después de que la fuente sonora sea cortada.

El rango usado no deberá ser tan grande que la caída observada no pueda aproximarse a una línea recta y no será menor que 20 dB. El extremo inferior de este rango estará, al menos, 10 dB sobre el nivel de fondo.

Para cada banda de frecuencias el número mínimo de medidas de caídas requerido es seis (6), utilizando al menos una posición de altavoz y tres posiciones de micrófono con dos medidas por posición.

4.3.2.1.4. Corrección por ruido de fondo

Para asegurar que las medidas en el recinto receptor no están afectadas por ruido eléctrico del equipo o ruidos procedentes del exterior, se harán medidas de los niveles de ruido de fondo. El nivel combinado de señal y ruido de fondo debe ser al menos, 6 dB (preferiblemente 15 dB) mayor que el nivel de ruido de fondo. Si la diferencia entre niveles es menor que 15 dB pero mayor que 6 dB, deben calcularse correcciones de acuerdo con la ecuación:

$$L = 10 \cdot \lg \left(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10} \right) \quad [\text{dB}] \quad (14)$$

Donde:

L es el nivel de señal ajustado, en dB;

L_{sb} es el nivel de la señal y ruido de fondo combinados en dB;

L_b es el nivel de ruido de fondo, en dB.

Si la diferencia en dB es menor o igual a 6 dB en cualquier banda de frecuencia, debe usarse la corrección 1,3 dB correspondiente a la diferencia de 6dB. En este caso, DnT se dará en el informe de tal forma que aparezca claramente que los valores dados de DnT son el límite de la medida.

Se calculará la Diferencia de nivel estandarizada ponderada, DnT mediante la fórmula siguiente:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

Siendo:

L_1 El nivel de presión acústica promediado energéticamente en el recinto fuente cuando su volumen es mayor o igual a 25 m³ o el nivel de presión

acústica de baja frecuencia promediado energéticamente en el recinto fuente cuando su volumen es menor de 25 m^3 , [dB];

L_2 El nivel de presión acústica promediado energéticamente en el recinto receptor cuando su volumen es mayor o igual a 25 m^3 o el nivel de presión acústica de baja frecuencia promediado energéticamente en el recinto receptor cuando su volumen es menor de 25 m^3 , [dB];

T El tiempo de reverberación del recinto receptor, [s];

T_0 El tiempo de reverberación de referencia; su valor es $T_0=0,5 \text{ s}$.

Una vez obtenida la Diferencia de nivel estandarizada ponderada, D_{nT} , la evaluación y expresión del aislamiento acústico mediante un único índice se realiza con la norma UNE-EN ISO 717-1.

4.3.2.2. Norma UNE-EN ISO 717-1.

Obtener un único número que caracterice el comportamiento acústico de un elemento constructivo cuyo aislamiento acústico es dependiente de la frecuencia es el objetivo de la norma ISO 717-1. Los valores de referencia para las bandas de tercio de octava entre 100 Hz y 3150 Hz, son los mostrados en la tabla 7 y curva de la tabla 17:

Tabla 7. Valores de referencia para aislamiento a ruido aéreo

Frecuencia Hz	Valores de referencia, dB	
	Bandas de tercio de octava	Bandas de octava
100	33	
125	36	36
160	39	
200	42	
250	45	45
315	48	
400	51	
500	52	52
630	53	
800	54	
1 000	55	55
1 250	56	
1 600	56	
2 000	56	56
2 500	56	
3 150	56	

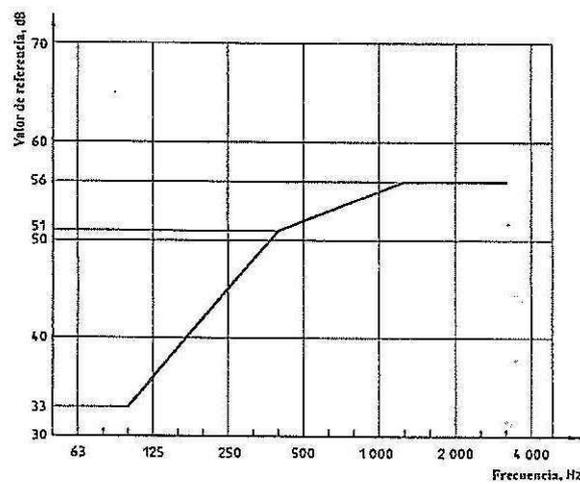


Figura 17. Valores de la Curva de referencia para aislamiento a ruido aéreo, en bandas de 1/3 de octava.

Para ello debemos desplazar la curva de referencia en pasos de 1 dB hacia la curva obtenida en nuestra medida, hasta que la suma de las desviaciones desfavorables sea la mayor posible pero no mayor de 32 dB. Cuando, a una frecuencia determinada, el resultado de nuestra medida es menor que el valor de referencia, tenemos una desviación desfavorable, que son las únicas que han de ser tenidas en cuenta. El índice de aislamiento acústico (R_w), del índice de aislamiento aparente (R'_w), de la diferencia de niveles normalizada (D_{nw}) o de la diferencia de niveles estandarizada (D_{nTW}) en dB, es el valor resultante en la frecuencia de 500 Hz, tras desplazar la curva de referencia de acuerdo con este procedimiento.

Para tener en cuenta los diferentes espectros de las fuentes de ruido se introducen los términos de adaptación espectral C y Ctr (ruido rosa y ruido de tráfico respectivamente). En la siguiente figura 18 y tabla 8, se muestran los valores de los espectros de niveles sonoros para el cálculo de los términos de adaptación.

Tabla 8. Espectros de niveles sonoros para el cálculo de los términos de adaptación.

Frecuencia Hz	Niveles sonoros, L_p , dB			
	Espectro n° 1 para calcular C		Espectro n° 2 para calcular C_{tr}	
	Tercio de octava	Octava	Tercio de octava	Octava
100	-29		-20	
125	-26	-21	-20	-14
160	-23		-18	
200	-21		-16	
250	-19	-14	-15	-10
315	-17		-14	
400	-15		-13	
500	-13	-8	-12	-7
630	-12		-11	
800	-11		-9	
1 000	-10	-5	-8	-4
1 250	-9		-9	
1 600	-9		-10	
2 000	-9	-4	-11	-6
2 500	-9		-13	
3 150	-9		-15	

NOTA – Todos los niveles están ponderados A y el nivel global de espectro normalizado a 0 dB.

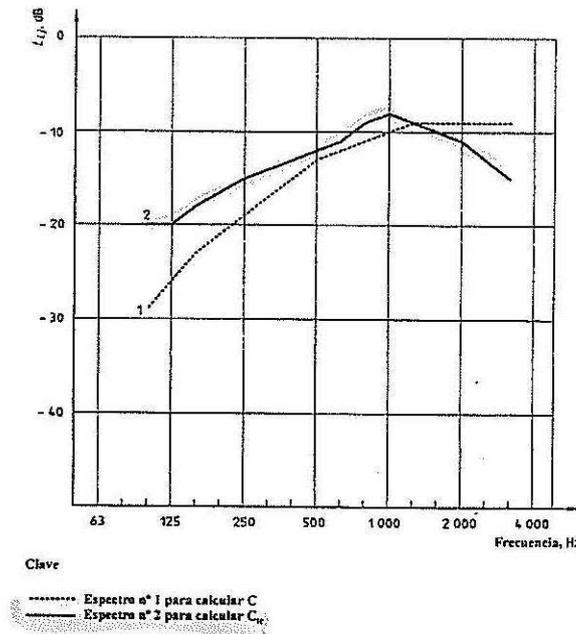


Figura 18. Espectros de niveles sonoros para el cálculo de los términos de adaptación de espectro para medida en bandas de 1/3 de octava

Por último, se calculará la Diferencia de niveles estandarizada, ponderada, D_{nTW} , que es el valor en decibelios de la curva de referencia, a 500 Hz, ajustada a los valores experimentales de la Diferencia de niveles estandarizada entre recintos interiores D_{nT} obtenida anteriormente.

Aunque las exigencias de aislamiento en el DB-HR se establecen en términos de la ponderación A pueden aceptarse como aproximación de entre recintos interiores, siempre que las diferencias sean menores que 1 dB.

4.3.2.3. Norma UNE-EN ISO 16283-1.

El objetivo de la norma es obtener mediciones coherentes y ecuánimes de los niveles de presión en un recinto que se encuentra acústicamente excitado para ello define un procedimiento de medida en el que se especifican tanto las posiciones de los altavoces relativas como de los micrófonos, tanto para el procedimiento general como para un procedimiento específico de medida del ruido de bajas frecuencias, como consecuencia del hecho de extender el rango de estudio para bajas frecuencias.

El proceso de creación de esta norma fue el siguiente:

- Borrador de Proyecto de Norma Internacional: 2011-03-09
- Proyecto de Norma Internacional (DIS): 2012-03-09
- Proyecto final de Norma Internacional (FDIS): 2013-09-09
- Publicación: 2014-03-09

Los valores del espectro de referencia definidos por la PROPUESTA DE REVISION DE LA ISO 717, 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. Estos valores provienen de una resta de 11 dB de los valores de la curva de ponderación A.

Tabla 9. Valores del espectro de referencia definidos por el DB-HR ampliado a estas bajas frecuencias

Frecuencia (Hz)	Valores de la curva de ponderación A	-11 dB	L _{Ar} (dBA)
20Hz	-50,5	-61,5	
25Hz	-44,7	-55,7	
31,5Hz	-39,4	-50,4	
40Hz	-34,6	-45,6	
50Hz	-30,2	-41,2	
63Hz	-26,2	-37,2	
80Hz	-22,5	-33,5	
100Hz	-19,1	-30,1	-30,1
125Hz	-16,1	-27,1	-27,1
160Hz	-13,4	-24,4	-24,4
200Hz	-10,9	-21,9	-21,9
250Hz	-8,6	-19,6	-19,6
315Hz	-6,6	-17,6	-17,6
400Hz	-4,8	-15,8	-15,8
500Hz	-3,2	-14,2	-14,2
630Hz	-1,9	-12,9	-12,9
800Hz	-0,8	-11,8	-11,8
1kHz	0,0	-11	-11,0
1.25kHz	0,6	-10,4	-10,4
1.6kHz	1,0	-10	-10,0
2kHz	1,2	-9,8	-9,8
2.5kHz	1,3	-9,7	-9,7
3.15kHz	1,2	-9,8	-9,8
4kHz	1,0	-10	-10,0
5kHz	0,5	-10,5	-10,5
6.3kHz	-0,1	-11,1	
8kHz	-1,1	-12,1	
10kHz	-2,5	-13,5	
12.5kHz	-4,3	-15,3	

Por tanto para la obtención del nuevo índice de aislamiento ampliado a bajas frecuencias D_nTA (50-5000) se podría usar bien el espectro de referencia definido por la PROPUESTA DE REVISION DE LA ISO 717, o bien los valores del espectro de referencia definidos por el DB-HR ampliado a estas bajas frecuencias.

En el Anexo III de este trabajo se pueden consultar una serie de croquis con la información más relevante (plantas, alzados, secciones....)

El edificio forma parte de un conjunto de tres edificios de viviendas, de forma que una de las fachadas vuelca a la citada calle Guadalquivir y otra a la plaza interior de nueva formación, a la que se accede a través del pasaje que da paso al portal de las viviendas.



Figura 21. Situación del edificio en estudio

Cada edificio consta de aparcamientos y trasteros en planta sótano, locales comerciales, salas de máquinas y accesos en la planta baja, primera planta y segunda planta, con viviendas tipo dúplex (4: 4+4) y planta de cubierta (azotea transitable).

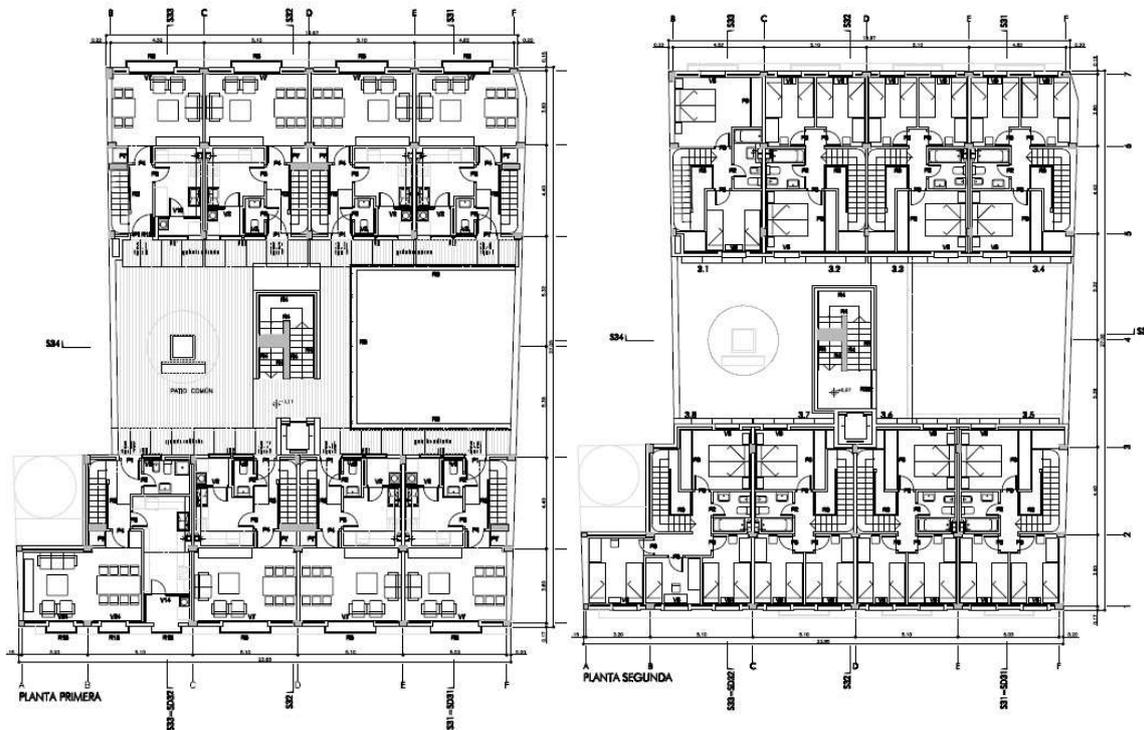


Figura 22. Planta primera y planta segunda

Las viviendas de las consta el edificio son las siguientes:

6 viviendas tipo 1: estancia-comedor, aseo y cocina con lavadero en planta primera, y tres dormitorios y un baño en planta segunda.

1 viviendas tipo 6: algo más pequeña, sin aseo y con lavadero más reducido en primera planta, y sólo dos dormitorios y baño más grande en segunda planta.

1 viviendas tipo 7: dada su posición en la parcela, en su esquina irregular, la distribución es totalmente distinta a las anteriores, y con mayores dimensiones. En la primera planta, el comedor tiene mayor superficie y el aseo desaparece para dar lugar a un baño de grandes dimensiones, mientras que en la segunda planta hay cuatro dormitorios y un aseo.

4.4.1.1. Materiales y soluciones constructivas y su asimilación al CEC

En los términos definidos en el DB-HR los elementos constructivos usados en este edificio son los siguientes:

1.- Tabiquería

- (a) Placa de yeso laminado de 15mm
- (b) Estructura metálica de 70mm a base de montantes separados 600mm y canales,
- (c) Lana mineral de 60mm
- (d) Placa de yeso laminado de 15mm.

La solución más aproximada del Catálogo de Soluciones Constructivas es la de referencia P.4.3 (YL15+ATMW70+YL15) y tiene como valores:

- Índice de reducción acústica (R_A) 47dBA,
- Peso medio aproximado ($m'=\text{Kg}/\text{m}^2$) 26

2.- Elementos de separación verticales (ESV)

- (a) Fábrica de ladrillo de hormigón de 25x11'5x10cm.

La solución más aproximada del Catálogo de Soluciones Constructivas es la de referencia P.3.1 (Enl15+BH.AD 250+ Enl15) tiene como valores:

- Índice de reducción acústica (R_A) 52dBA (elemento base + enlucido)
- Peso medio aproximado ($m'=\text{Kg}/\text{m}^2$) 294 (elemento base + enlucido)

3.- Elementos de separación horizontales

- (a) Revestimiento interior guarnecido y enlucido de yeso sin maestrear.

(b) Forjado unidireccional formado por viguetas prefabricadas de hormigón y bovedillas de hormigón (25+5)

(c) Pavimento de terrazo.

Esta solución se asimila a la de referencia del Catálogo de Soluciones Constructivas Fo.U.5 (U_BH 300), y tiene como valores:

- Índice de reducción acústica (R_A) 57dBA (elemento base + enlucido)
- Peso medio aproximado ($m' = \text{Kg/m}^2$) 332 (elemento base + enlucido).

En caso de existir un enlucido, el C.E.C. determina que R_A se aumente en +2. Al no existir suelo flotante consideramos despreciable el efecto del terrazo.

4.- Fachadas

Ejecutada monocapa tipo Categran de chino blanco, cítara de ladrillo macizo perforado, embarrado de mortero hidrófugo, cámara de aire de 8cm, aislamiento de espuma de poliuretano de 3cm de espesor, y trasdosado autoportante 63mm, estructura de 48mm y placa de 15mm. No se encuentra entre las descritas en el C.E.C, por lo que, a falta de ensayos correspondientes a esta solución, sólo podemos asimilarla a una solución restrictiva que nos deje del lado de la seguridad.

5.- Cubiertas

Se pueden asimilar dentro del Catálogo de Soluciones Constructivas a una cubierta plana transitable, no ventilada, solado fijo. En este caso, para obtener los valores de m , R_A y R_{Atr} de cubiertas, se utilizan los

valores de m , R_A y R_{Atr} de forjados y losas recogidos en el apartado 3.18. Cuando la cubierta tenga una capa de formación de pendiente de hormigón con áridos ligeros, el valor de los índices R_A y R_{Atr} del forjado se incrementará en 2dBA". En este caso incrementaremos los valores recogidos en la tabla del punto elementos de separación horizontales en 2dBA, al contar la cubierta con capa de formación de pendiente de hormigón celular. De disponer de techo suspendido habría que añadir el ΔR_A correspondiente a dicho techo. Resulta por tanto en este caso (cubierta+enlucido) un $R_A=59$ dBA, con $m'=332\text{Kg/m}^2$.

4.4.2. SIMULACION MEDIANTE EL USO DE LA GUIA DE APLICACIÓN DEL DB-HR Y LA HERRAMIENTA DE CALCULO OFICIAL DE LA OPCION GENERAL DEL DB-HR.

4.4.2.1. Definición general del proceso

Como ya hemos comentado, vamos a seguir en todo el proceso de aplicación del DB-HR los pasos que nos sugiere la Guía, excepto a la hora de elegir la opción, en el paso 4, en el que optaremos por la opción General, frente a la simplificada. Ésta última es la que desarrolla la GUIA. Como más adelante se justificará, la opción general es la que más se adecúa a los objetivos de este trabajo. Asimismo, para la aplicación de dicha opción general, se va a usar la Herramienta oficial, que se ha publicado como ayuda a los proyectistas.

4.4.2.1.1. Fase de proyecto básico

Paso 1: Obtención de datos previos

(Apartado 2.5.3.1. de la Guía). Se trata de obtener los datos de la zona donde se localice el edificio en cuestión, y consiste en obtener el valor del Índice de ruido día (L_d), que se define como “índice de ruido asociado a la molestia durante el período día y definido como el nivel sonoro medio a largo plazo, ponderado A, determinado a lo largo de todos los períodos día de un año” y se expresa en dBA. Estos datos se obtienen de los Mapas estratégicos del ruido (MER) de la zona donde se ubica el proyecto. Cuando el MER no facilite el L_d , este se puede asumir como el índice de ruido noche incrementado en 10 dBA ($L_d=L_n+10$ dBA).

Paso 2: Zonificación del edificio

En este paso se definen por un lado los Recintos de instalaciones, de actividad, ruidosos (y resto de recintos), y por otro (de forma independiente), los recintos no habitables, habitables (dentro de esto los protegidos) y los colindantes con otros edificios (Medianerías)

Paso 3: Determinación de las exigencias

Se han de fijar los valores límite de aislamiento acústico exigidos entre recintos colindantes (horizontal o verticalmente), tanto a ruido interior (aéreo y de impacto) como a ruido procedente del exterior y de otros edificios.

Paso 4: Elección de la opción adecuada

En el apartado 1.1.2. del DB-HR indica: “Para la correcta aplicación de este documento debe seguirse la secuencia de verificaciones que se expone a continuación:

Cumplimiento de las condiciones de diseño y de dimensionado del aislamiento acústico a ruido aéreo y del aislamiento acústico a ruido de impactos de los recintos de los edificios; esta verificación puede llevarse a cabo por cualquiera de los procedimientos siguientes:

i) Mediante la opción simplificada, comprobando que se adopta alguna de las soluciones de aislamiento propuestas.

ii) Mediante la opción general, aplicando los métodos de cálculo especificados para cada tipo de ruido.

Independientemente de la opción elegida, deben cumplirse las condiciones de diseño de las uniones entre elementos constructivos especificadas.

Es necesario incidir en que la forma de unión entre elementos determina el valor de aislamiento acústico final obtenido en obra, de tal forma, que es fundamental un buen diseño de los encuentros. (Apartados 2.1.B y 3.1.1 de la Guía de Aplicación del DB HR Protección frente al ruido) Opción general y simplificada”.

4.4.2.1.2. Fase de proyecto de ejecución

Se describen los siguientes pasos, pero no se abunda en ellos, pues no forman parte del objetivo de este trabajo, dado que además el edificio ya está construido.

Paso 5: Definición concreta de los elementos constructivos.

Paso 6: Definición de encuentros

Fase de Obra

Paso 7: Ejecución y control

4.4.2.2 APLICACIÓN CONCRETA A NUESTRO EDIFICIO

Paso 1.- Datos previos

Del estudio del Mapa Estratégico del Ruido de Sevilla se observa que el $L_d=60-65$ dBA



Figura 24. Mapa estratégico del ruido de la ciudad de Sevilla (detalle parcial)

Paso 2.- Zonificación del edificio

Las unidades de uso en este caso son las viviendas. Se procede a distinguir dentro de cada unidad de uso entre Recintos Protegidos y Recintos Habitables, realizando esta clasificación en una sola de las viviendas tipo, en concreto la 7. Los recintos protegidos resultan ser los dormitorios (4 en total) de

la segunda planta y la estancia-comedor-salón de la primera. Los habitables son el vestíbulo, la cocina, el pasillo, las escaleras y los baños. Por último, el único recinto no habitable es el lavadero

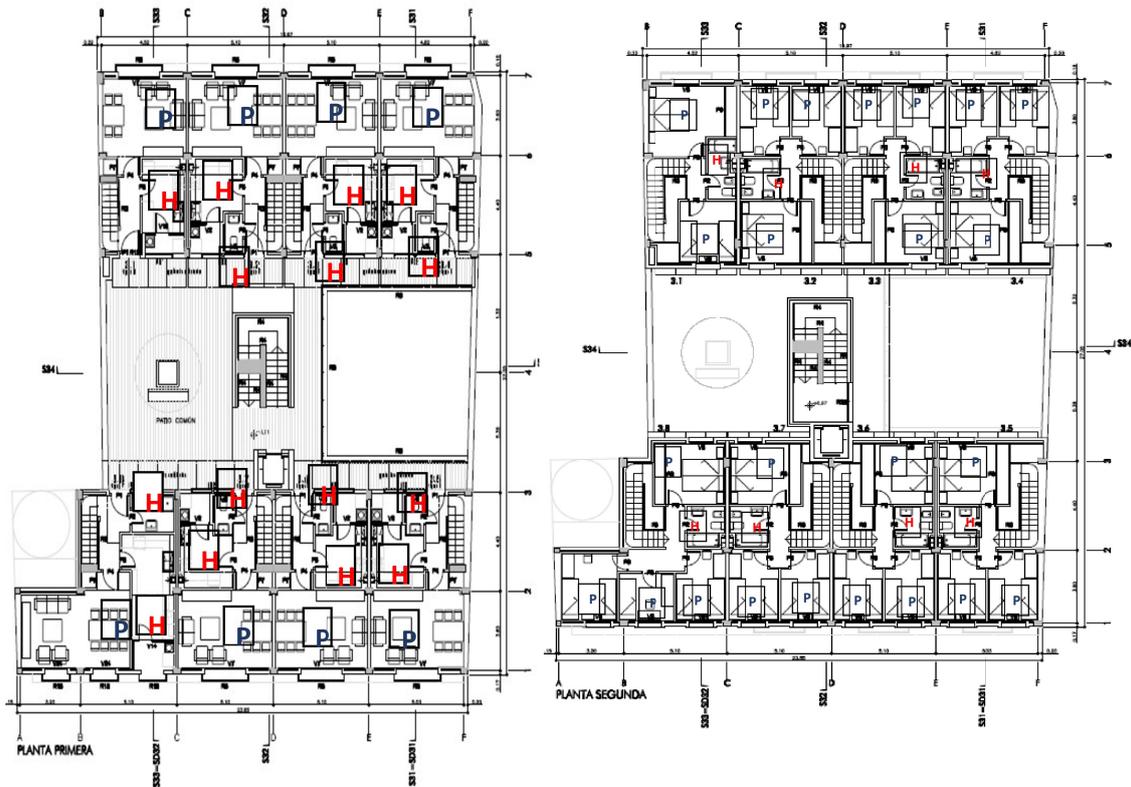


Figura 25. Recintos habitables y recintos protegidos planta primera y segunda

Para el caso de aislamiento entre unidades de uso diferentes, cuando las exigencias deben cumplirse considerando ambos recintos como emisores y receptores simultáneamente. La tabiquería interior de las viviendas (unidades de uso) cumplir un índice de reducción acústica ponderado A, $R_A=33$ dBA.

Paso 3.- Determinación de las exigencias: determinación de los valores límite de aislamiento acústico (Tabla 13).

Tabla 10. Valores límite de aislamiento acústico

PROTECCIÓN FRENTE A RUIDOS GENERADOS EN...	RECINTOS PROTEGIDOS	RECINTOS HABITABLES
LA MISMA UNIDAD DE USO	$R_{A \text{ tabiquería}} > 33 \text{ dBA}$	$R_{A \text{ tabiquería}} > 33 \text{ dBA}$
RECINTO COLINDANTE DE OTRA UNIDAD DE USO	$D_{n,TA} > 50 \text{ dBA}$	--
RECINTO HABITABLE COLINDANTE DE OTRA UNIDAD DE USO	--	$D_{n,TA} > 45 \text{ dBA}$
ZONA COMÚN	-Si no comparte puertas o ventanas: $D_{n,TA} > 50 \text{ dBA}$ -Si las comparten: $R_{A \text{ puerta o ventana}} > 30 \text{ dBA}$ y $R_{A \text{ muro}} > 50 \text{ dBA}$	-Si no comparte puertas o ventanas: $D_{n,TA} > 45 \text{ dBA}$ -Si las comparten y es de uso residencial o sanitario: $R_{A \text{ puerta o ventana}} > 20 \text{ dBA}$ y $R_{A \text{ muro}} > 50 \text{ dBA}$);
RECINTO COLINDANTE DE ACTIVIDAD O DE INSTALACIONES	$D_{n,TA} > 55 \text{ dBA}$	$D_{n,TA} > 45 \text{ dBA}$

Ruido interior: Ruido aéreo entre recintos

Recintos protegidos: protección frente a ruidos generado en:

- (a) la misma unidad de uso ($R_{A \text{ tabiquería}} > 33 \text{ dBA}$),
- (b) desde cualquier recinto, colindante vertical u horizontalmente, de otras unidades de uso ($D_{n,TA} > 50 \text{ dBA}$)
- (c) de una zona común, colindante vertical u horizontalmente ($D_{n,TA} > 50 \text{ dBA}$ si no comparte puertas o ventanas; si las comparten $R_{A \text{ puerta o ventana}} > 30 \text{ dBA}$ y $R_{A \text{ muro}} > 50 \text{ dBA}$); y

(d) procedente de recinto(s) de instalaciones o de actividad, colindante vertical u horizontalmente ($D_{nTA} > 55$ dBA)

Recintos habitables: protección frente a ruidos generado en:

(a) misma unidad de uso (R_A tabiquería > 33 dBA),

(b) desde cualquier recinto habitable, colindante vertical u horizontalmente, de otras unidades de uso ($D_{nTA} > 45$ dBA),

(c) de una zona común, colindante vertical u horizontalmente ($D_{nTA} > 45$ dBA si no comparte puertas o ventanas; si las comparten y es de uso residencial o sanitario $R_{Apuerta \text{ o ventana}} > 20$ dBA y $R_{Amuro} > 50$ dBA); y

(d) procedente de recinto de instalaciones o de actividad, colindante vertical u horizontalmente ($D_{nTA} > 45$ dBA)

4.4.2.2.1. APLICACIÓN DE LA OPCIÓN GENERAL HACIENDO USO DE LA HERRAMIENTA OFICIAL DE CÁLCULO DEL DB-HR DEL CTE.

Este apartado constituye el Paso 4 del proceso, que es la elección de la opción adecuada. Se define con mayor detalle por ser parte fundamental del presente estudio. Hay que elegir entre la opción simplificada y la general. Como el edificio ya está terminado y el objetivo es contrastar estimaciones teóricas con las medidas “*in situ*”, la aplicación de la opción general es la más adecuada, pues esta opción no tiene ninguna restricción para su uso. El método de cálculo que usa la opción general está basado en el modelo simplificado de la norma UNE EN 12354. En cambio, la opción simplificada transforma las exigencias de aislamiento acústico del edificio en valores de laboratorio de cada elemento constructivo que lo compone, y proporciona unas tablas individualizadas que nos ayudan a elegir la mejor opción.

Para la aplicación de esta opción general haremos uso de la Herramienta Oficial proporcionada por el Ministerio de Fomento, consistente en una serie de hojas de cálculo que permiten verificar el cumplimiento de los casos más frecuentes.

Algunas consideraciones:

- El cálculo sólo se realizará para comprobar el cumplimiento de las exigencias de aislamiento a ruido interior (aislamiento a ruido aéreo entre parejas de recintos) pues la herramienta oficial hace el cálculo conjunto, pero sólo tendremos en cuenta los valores de aislamiento a ruido aéreo, en coherencia con las medidas “*in situ*”.

- Sólo se tendrá en cuenta el ruido procedente de recintos pertenecientes a unidades de uso diferentes a la del recinto considerado como receptor de dicho ruido (en coherencia con las mediciones “*in situ*”, que se han realizado según estas consideraciones).

- La selección de los pares de recintos del edificio en que el aislamiento acústico es más desfavorable (según superficie, volumen y uniones entre elementos) nos permite reducir el volumen de trabajo.

- se hacen los cálculos teniendo en cuenta sólo las cuatro viviendas con fachada a la calle Guadalquivir, que es dónde se han podido realizar las mediciones.

A. Selección de las parejas de recintos más desfavorables

Nos centramos en los recintos habitables y los protegidos, pues las exigencias de aislamiento a ruido interior sólo son aplicables a éstos. Teniendo en cuenta sólo el ruido interior procedentes de recintos comprendidas en las unidades de uso diferentes a la del recinto receptor, seleccionamos los recintos habitables y/o protegidos y sus adyacentes exteriores a la unidad de uso en la que se encuentran.

Para decidir cuáles serán los pares de recintos de los ya seleccionados que debemos considerar para el estudio y cuáles de ellos deben suponerse emisores o receptores de ruido, habrá que acudir a las normas de ensayo normalizadas (ISO140). A mayor volumen del receptor, mayor facilidad de disipación de la onda sonora, y cuanto mayor superficie común mayor incidencia de la onda sonora emitida. Este razonamiento será relevante para la selección de los pares de recintos desfavorables que, en caso de ser más de uno los adyacentes, se escogerá el par cuya superficie de contacto sea

mayor. Además, en cada caso, deberemos considerar como receptor aquel recinto cuyo volumen sea menor. A continuación se presentan las plantas de la parte del edificio estudiado, indicando qué recintos habitables y/o protegidos se consideran emisores, receptores y cuáles, dependiendo del par en el que sea integrado, receptores y/o emisores.

B. Descripción de recintos emisores y/o receptores

Emisor: lo es cuando tienen un volumen mayor al de sus adyacentes, pues la situación más desfavorable es la de considerar como receptor el recinto de menor volumen. En este caso tenemos el comedor y el dormitorio pequeño de la vivienda 7. El comedor tiene como recintos adyacentes la cocina de la vivienda 8 y el comedor de la vivienda 6. Como la cocina tiene un volumen menor que el dormitorio pequeño de la vivienda 7 y el comedor de la vivienda 6 tiene las mismas dimensiones, el comedor de la vivienda 7 es emisor en cualquier combinación posible.

Receptor: un recinto es receptor cuando tiene un volumen menor que sus adyacentes. La cocina de la vivienda 7 es adyacente al cuarto de baño y a la cocina de la vivienda 8. Hay por tanto dos pares de recintos a analizar. En el par cuarto de baño vivienda 8 - cocina vivienda 7 sería el primero el que debería suponerse como receptor por tener un menor volumen. En el par cocina vivienda 7 – cocina vivienda 6 consideramos el primer recinto como receptor, pues tiene un menor volumen.

Aunque aquí tenemos dos casos a considerar, dado que la superficie de contacto es bastante mayor en el par de los recintos de las cocinas, no se tendrá en cuenta el par de recintos cuarto de baño – cocina.

Emisor y Receptor: son recintos con un volumen mayor a uno(s) adyacente(s) y simultáneamente, con menor volumen que otro(s) también adyacentes. La cocina de la vivienda 8 es adyacente a la cocina y al comedor de la vivienda 7. Tiene un mayor volumen que la cocina y un menor volumen que el comedor de la vivienda 7.

En consecuencia, es recinto emisor en el par cocina 7 – cocina 8 y receptor en el par cocina 8 – comedor 7.

Emisor o Receptor: recintos con un volumen igual a su(s) adyacente(s). En estas condiciones, en cualquier par de recintos que se pueda considerar, se obtendrán los mismos resultados intercambiando emisor con receptor. Esto se podrá observar cuando tengamos los resultados de la herramienta oficial. En nuestro caso hay muchos de estos recintos.

Los pares de recintos seleccionados, teniendo en cuenta todo lo anterior, son los siguientes, y se resumen en la tabla 11.

Para hacerlo más comprensible, en la tabla 12 se muestra el ejemplo de un par de recintos, con los datos necesarios, para el uso de la Herramienta Oficial.

Tabla 11. Datos de estancia ejemplo para uso de la herramienta oficial

COCINA Nº6 – COCINA Nº 5	EMISOR	RECEPTOR
ESTANCIA	Cocina vivienda nº 6	Cocina vivienda nº 5
VOLUMEN (m³)	19'213	19'213
SUPERFICIE (m²)	2'80 x 2'735 = 7'658	
NOMENCLATURA HOJA DE CALCULO	Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impacto: RECINTOS ADYACENTES 4 ARISTAS COMUNES	

Tabla 12. Pares de recintos seleccionados con dimensiones y nomenclatura

RECINTO	ESTANCIA	VOLUMEN (m ³)	SUPERFICIE (m ²)	NOMENCLATURA HOJA DE CALCULO
EMISOR	COCINA 8	30'393	2'40x2'735=6'564	Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos aristas no comunes: DOS ARISTAS COMUNES
RECEPTOR	COCINA 7	19'213		
EMISOR	DORMITORIO GRANDE 6	28'307	3'00x2'735=8'205	Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos aristas no comunes: RECINTOS ADYACENTES 4 ARISTAS COMUNES
RECEPTOR	DORMITORIO GRANDE 5	28'307		
EMISOR	DORMITORIO GRANDE 7	28'307	3'00x2'735=8'205	Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos aristas no comunes: RECINTOS ADYACENTES 4 ARISTAS COMUNES
RECEPTOR	DORMITORIO GRANDE 8	28'307		
EMISOR	DORMITORIO PEQUEÑO 6	21'764	3'50x2'735=9'573	Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos aristas no comunes: RECINTOS ADYACENTES 4 ARISTAS COMUNES
RECEPTOR	DORMITORIO PEQUEÑO 5	21'764		
EMISOR	DORMITORIO PEQUEÑO 7	21'764	3'50x2'735=9'573	Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos aristas no comunes: RECINTOS ADYACENTES 4 ARISTAS COMUNES
RECEPTOR	DORMITORIO PEQUEÑO 6	21'764		
EMISOR	DORMITORIO PEQUEÑO 7	21'764	3'50x2'735=9'573	Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos aristas no comunes: RECINTOS ADYACENTES 4 ARISTAS COMUNES
RECEPTOR	DORMITORIO PEQUEÑO 8	21'490		
EMISOR	COMEDOR 7	47'220	2'20x2'735=6'017	Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos aristas no comunes: DOS ARISTAS COMUNES
RECEPTOR	COCINA 8	30'393		
EMISOR	COMEDOR 6	47'220	3'50x2'735=9'573	Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos aristas no comunes: RECINTOS ADYACENTES 4 ARISTAS COMUNES
RECEPTOR	COMEDOR 5	47'220		
EMISOR	COMEDOR 7	47'220	3'50x2'735=9'573	Cálculo conjunto del aislamiento acústico a ruido aéreo y de impactos aristas no comunes: RECINTOS ADYACENTES 4 ARISTAS COMUNES
RECEPTOR	COCINA 6	47'220		

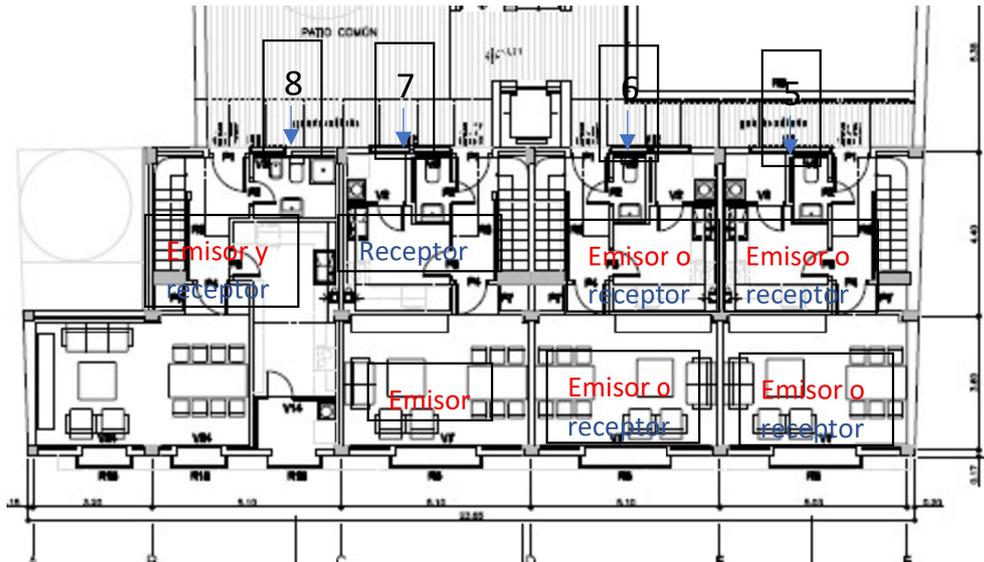


Figura 26. Recintos emisores, receptores y emisores y/o receptores, plantas primera

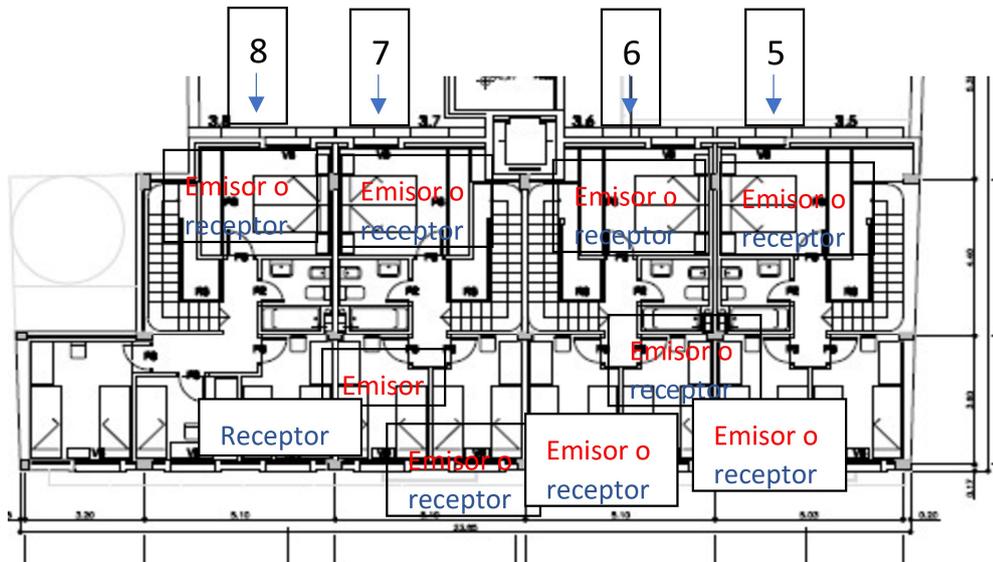


Figura 27. Recintos emisores, receptores y emisores y/o receptores, plantas primera y segunda

4.4.3. SIMULACION MEDIANTE EL PROGRAMA SONarchitect

5.4.3.1. Descripción del Programa SONarchitect.

SONarchitect permite realizar el cálculo de los aislamientos acústicos en todo el edificio según el Documento Básico de Protección frente al ruido DB-HR del Código Técnico de la Edificación posibilitando al proyectista calcular los aislamientos acústicos de su edificio, para cualquier tamaño y geometría, siguiendo la norma ISO EN 12354.

5.4.3.2. Criterios de aplicación al edificio tipo

Para la simulación se dispone de una versión educativa del programa SONarchitect. Dicha versión educativa impone una serie de limitaciones que expondremos a continuación:

Los edificios deben tener un número máximo de 2 plantas.

Los edificios deben tener un número máximo de diez recintos por planta.

Para cumplir con estas restricciones las simulaciones se han realizado, con la siguiente metodología:

- o Se han realizado considerando parejas de viviendas.
- o Se han considerado las plantas 1ª y 2ª de cada vivienda.
- o Para la vivienda número 8 se han considerado dos de los dormitorios pequeños como un solo recinto.

Se consideran que pasillos, vestíbulos y escaleras pertenecen al mismo recinto.

5.4.4. Parejas de recintos sometidas a ensayo

De todos los recintos que forman el edificio se seleccionarán las combinaciones acústicamente más desfavorables para realizar las medidas “*in situ*” del aislamiento acústico a ruido aéreo, de forma normalizada, a través de los valores globales de los diferentes índices. Las parejas de recintos sometidas a ensayo fueron las siguientes:

Cocina 6 – Cocina 5

Cocina 8 – Cocina 7

Dormitorio grande 6 – Dormitorio grande 5

Dormitorio grande 7 – Dormitorio grande 8

Dormitorio pequeño 6 – Dormitorio pequeño 5

Dormitorio pequeño 7 – Dormitorio pequeño 6

Dormitorio pequeño 7 – Dormitorio pequeño 8

Comedor 7 – Cocina 8

Comedor 6 – Comedor 5

Comedor 7 – Comedor 6

5.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. FASE1. Comparación entre normas

5.1.1. Resultados de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Sanitario”

En el “Edificio Sanitario” los resultados por frecuencias de los ensayos “in situ” de aislamiento, así como los valores de los diferentes índices globales, se muestran en la tabla 13:

Tabla 13. Valores por frecuencias e índices globales de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Sanitario”

FRECUENCIAS (Hz)	ENSAYO Dnt (dB)				
	LATERAL DERECHO	LATERAL IZQUIERDO	SUPERIOR DERECHO	SUPERIOR IZQUIERDO	SUPERIOR
50	13,2	12,4	55,8	56,4	48,5
63	12,1	11,3	58,1	58,9	52,3
80	14,3	13,1	60,5	61,1	55
100	19,5	17,3	64,2	63,6	60,1
125	18,925	17,8	65,3	64,2	59,3
160	17,56	18	68,8	71,4	66,2
200	19,6	23	71	69,7	65
250	23,95	30,4	68,4	70,7	63,7
315	24,415	26,7	70,2	69,9	65,3
400	26,7	31,6	72,4	69,8	65,8
500	26,5	35,1	69,1	67,2	63,9
630	28,03	36,5	71,9	68,8	66,6
800	30,9	34,8	72,7	71,4	69,7
1000	33,6	34,1	72,2	71,1	69,8
1250	34,15	39	72,9	72,6	71,8
1600	33,6	40,7	74,2	74,3	72,3
2000	28,1	40,9	73,1	73,2	71,7
2500	27,9	39,8	72,9	72,9	72
3150	30,65	37,8	73,25	73,65	72,3
4000	33,4	41,7	74,7	75,1	74,8
5000	37,7	46,2	76,8	76,9	76,8
D _{nTW} +C (100-5000) (dBA)	29	34	72	72	69
D _{nTW} +C (50-5000) (dBA)	29	34	73	72	70
D _{nTA} (100-5000) (dBA)	29,4	34,6	72,8	72,1	69,9
D _{nTA} (50-5000) (dBA)	29,3	34,1	72,7	72,1	69,8

5.1.2. Resultados de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Socio cultural”

En el “Edificio Socio cultural” los resultados por frecuencias de los ensayos “in situ” de aislamiento, así como los valores de los diferentes índices globales, se muestran en la tabla 14:

Tabla 14. Valores por frecuencias e índices globales de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Socio cultural”

FRECUENCIAS (Hz)	ENSAYO D_{nt} (dB)				
	DESPACHO 1-2	DESPACHO 4	DESPACHO 8	DESPACHO 9	DESPACHO 10
50	20,9	20,2	50,8	51,9	48,5
63	22,1	24,8	55,1	54,2	52,3
80	24	23,9	52,9	53,9	55
100	26,9	26,7	58,6	60,2	60,1
125	30,8	28,1	67,5	66,4	59,3
160	31,2	31,8	67,4	65,4	66,2
200	32,7	28,9	69,6	66	65
250	35,6	32,4	71,1	70,2	63,7
315	38,7	38,5	72,9	72,7	65,3
400	41,3	40,1	74,4	74	65,8
500	44,7	43,4	67,9	67,3	63,9
630	47,5	47,1	72,1	72,1	66,6
800	48,6	48,3	71,6	71,8	69,7
1000	49,3	49,4	68,6	69,5	69,8
1250	50,2	50,8	70,1	70,5	71,8
1600	52	51,5	74,7	74,4	72,3
2000	49,7	48,8	71,5	72,3	71,7
2500	44,9	44,2	71,1	70,9	72
3150	45,3	45,7	72	72	72,3
4000	49,9	49,9	71,2	71,5	74,8
5000	52,1	50,8	72,8	73	76,8
$D_{nTw}+C$ (100-5000) (dBA)	44	43	71	71	69
$D_{nTw}+C$ (50-5000) (dBA)	45	43	71	71	70
D_{nTA} (100-5000) (dBA)	45	43,6	71,1	71,2	69,9
D_{nTA} (50-5000) (dBA)	44,5	43,3	70,9	71,1	69,8

5.1.3. Resultados de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Empresarial administrativo”

En el “Edificio Empresarial administrativo” los resultados por frecuencias de los ensayos “in situ” de aislamiento, así como los valores de los diferentes índices globales, se muestran en la tabla 15:

Tabla 15. Valores por frecuencias e índices globales de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio Empresarial administrativo”

FRECUENCIAS (Hz)	ENSAYO Dnt (dB)		
	DESPACHO 1	DESPACHO 3	LABORATORIO
50	16,6	15,6	34,9
63	20,2	18,9	32,1
80	18,4	19,5	36,7
100	22,6	19	38,3
125	18,9	22,1	40,1
160	27,5	26,7	46
200	28,9	28,5	52,9
250	29,2	32,5	57,9
315	37,2	37,6	63,9
400	36,5	36,4	61,2
500	43,5	39,8	67,2
630	44,2	41,2	68,2
800	47,8	44	69,1
1000	47,5	41,7	68,2
1250	47,2	45,2	69,9
1600	46,9	45,4	70,1
2000	41	41,2	69,3
2500	36,5	36,7	67,8
3150	41,9	39,7	69,9
4000	45	42,6	69,1
5000	48,8	46,7	70,4
$D_{nTw}+C$ (100-5000) (dBA)	38	38	61
$D_{nTw}+C$ (50-5000) (dBA)	39	39	61
D_{nTA} (100-5000) (dBA)	39,2	38,9	62,1
D_{nTA} (50-5000) (dBA)	38,8	38,6	60,7

5.1.4. Resultados de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio docente”

En el “Edificio docente” los resultados por frecuencias de los ensayos “in situ” de aislamiento, así como los valores de los diferentes índices globales, se muestran en la tabla 16:

Tabla 16. Valores por frecuencias e índices globales de los ensayos de aislamiento in situ en el “Edificio docente”

FRECUENCIAS (Hz)	ENSAYO Dnt (dB)		
	AULA PRIMARIA 1	AULA PRIMARIA 3	DESPACHO DIRECTOR
50	35,2	36,7	24,8
63	34,8	37,3	22,1
80	36,1	40,5	28,9
100	49,8	47,3	27,3
125	56,5	51,8	29,3
160	58,6	55,9	30,8
200	59,8	57,6	30,2
250	59,5	56,7	35,1
315	59,4	60,2	36,2
400	62,2	62	39,2
500	64,1	64,4	40,5
630	67,1	67,9	41,9
800	70,9	70,9	43,8
1000	73,1	70	45,8
1250	78	64,8	48,5
1600	80,5	67,2	50,7
2000	79,8	71,2	51,5
2500	78,2	74,8	49,4
3150	75,5	73,5	48,3
4000	73,2	72,6	50,5
5000	73,2	73	54,9
$D_{nTw}+C$ (100-5000) (dBA)	68	66	43
$D_{nTw}+C$ (50-5000) (dBA)	65	65	44
D_{nTA} (100-5000) (dBA)	69	66,6	43,7
D_{nTA} (50-5000) (dBA)	64,9	65,1	43,5

5.1.5. Resumen de los 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. 28. 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 4, 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. 29).

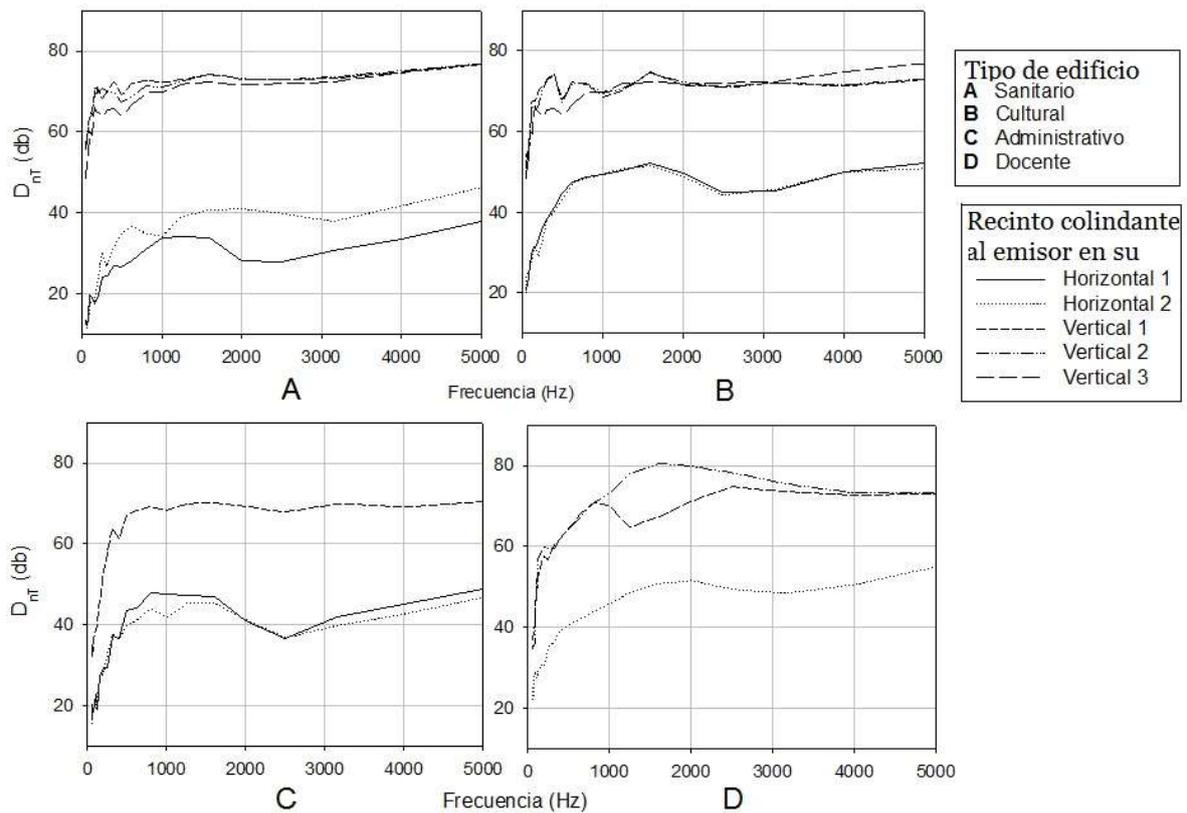


Figura. 28. Índices de aislamiento acústico D_{nT} medidos en distintos tipos de edificio (A, B, C, D) con diferente uso, con receptores en estancias colindantes horizontalmente (cerramiento vertical o paredes) y verticalmente (cerramiento horizontal o forjados).

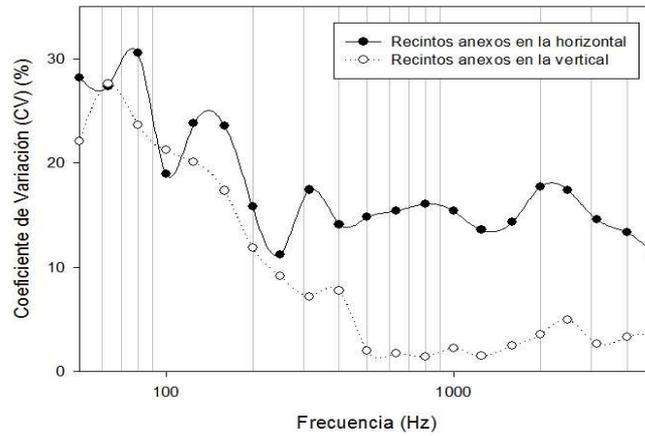


Figura 29. Coeficiente de variación de los valores de índice D_{nT} obtenidos en los ensayos realizados en los recintos ensayados según su separación vertical o horizontal para el rango de frecuencias de 100 a 5000 Hz.

La Fig. 30 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, $D_{nT,A}$ (100-5000), que no contempla las bajas frecuencias. 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 17.

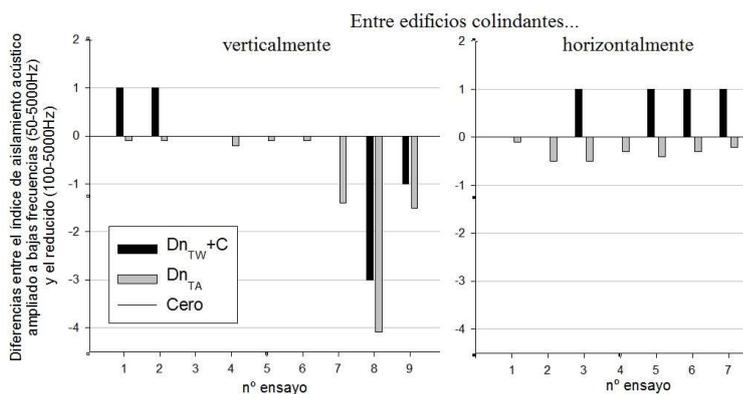


Figura 30. Diferencias entre los índices de aislamiento acústico ampliados a baja frecuencias, utilizando el espectro ampliado de la norma UNE EN ISO 717 y reducidos contemplados en las diferentes normas UNE EN ISO 140-4 y UNE EN ISO 16283-1

Tabla 17. Valores globales en unidades dBA de los índices de aislamiento acústico medidos.

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

5.1.6. Discusión

En los índices de aislamiento acústico D_{nT} (Fig. 28) se aprecian diferencias entre los niveles de aislamiento si el cerramiento es 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. 28), 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. 29) 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.28) 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. 29), y las diferencias de sus índices D_{nTW+C} y $D_{nT,A}$ (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 índice ampliado a bajas frecuencias de la norma UNE EN ISO 16263-1. Las diferencias constructivas entre las estancias (Tabla 17) influyen, como era lo esperado, en el nivel de aislamiento, tal y como señalaron Lang et al. (2013). 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, encuentros, 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 índices, no se introduce este error.

Existen diferencias en los resultados obtenidos entre los índices $D_{nT,A}$ y $D_{nTw}+C$ según los índices globales de 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. 30). 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 $D_{nT,A}$ 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 50-5000z. Estas diferencias tienen su origen en la metodología de cálculo de los índices globales. 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 $D_{nT,A}$ 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 $D_{nT,A}$, aunque sin incluir en el análisis los umbrales de bajas frecuencias. Nótese además, que los valores de $D_{nT,W}+C$ han de ser redondeados a un número entero, tal y como aparece en la norma ISO 717-1, mientras que los correspondientes a $D_{nT,A}$ no se les exige este redondeo tal y como aparece en el Decreto 6/2012 .

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. Sin embargo como para la obtención del índice sin la ampliación a bajas frecuencias $D_{NTA}(100-5000)$ no sería necesario la utilización de estos procedimientos específicos, bastaría con la utilización del procedimiento por defecto, lo que en la realidad supone prácticamente continuar usando el procedimiento de la antigua norma UNE-EN ISO 140-4:1999.

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 .

En lo relativo a los índices $D_{nT,W}+C$ (Fig. 30), 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 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 $D_{nT,A}$ 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).

Tabla 19. Ficha justificativa del cálculo de la herramienta oficial con los resultados finales



Documento Básico HR Protección frente al ruido

Ficha justificativa del cálculo de aislamiento a ruido aéreo y de impactos entre recintos interiores.
Caso: Recintos adyacentes con 4 aristas comunes.

Tipos de uniones e índices de reducción vibracional				
Encuentro	Tipo de unión	K_{Ff}	K_{Fd}	K_{Df}
Separador - Suelo	Unión flexible en T de elementos homogéneos, orientación 2 (junta elástica en 4)	0	11.8	11.8
Separador - Techo	Unión flexible en + de elementos homogéneos (juntas elásticas en 2 y 4)	0	11.8	11.8
Separador - Pared	Unión flexible en + de elementos homogéneos (juntas elásticas en 1 y 3)	38.9	18	18
Separador - Pared	Unión rígida en T de elementos homogéneos (orientación 2)	9.2	6	6

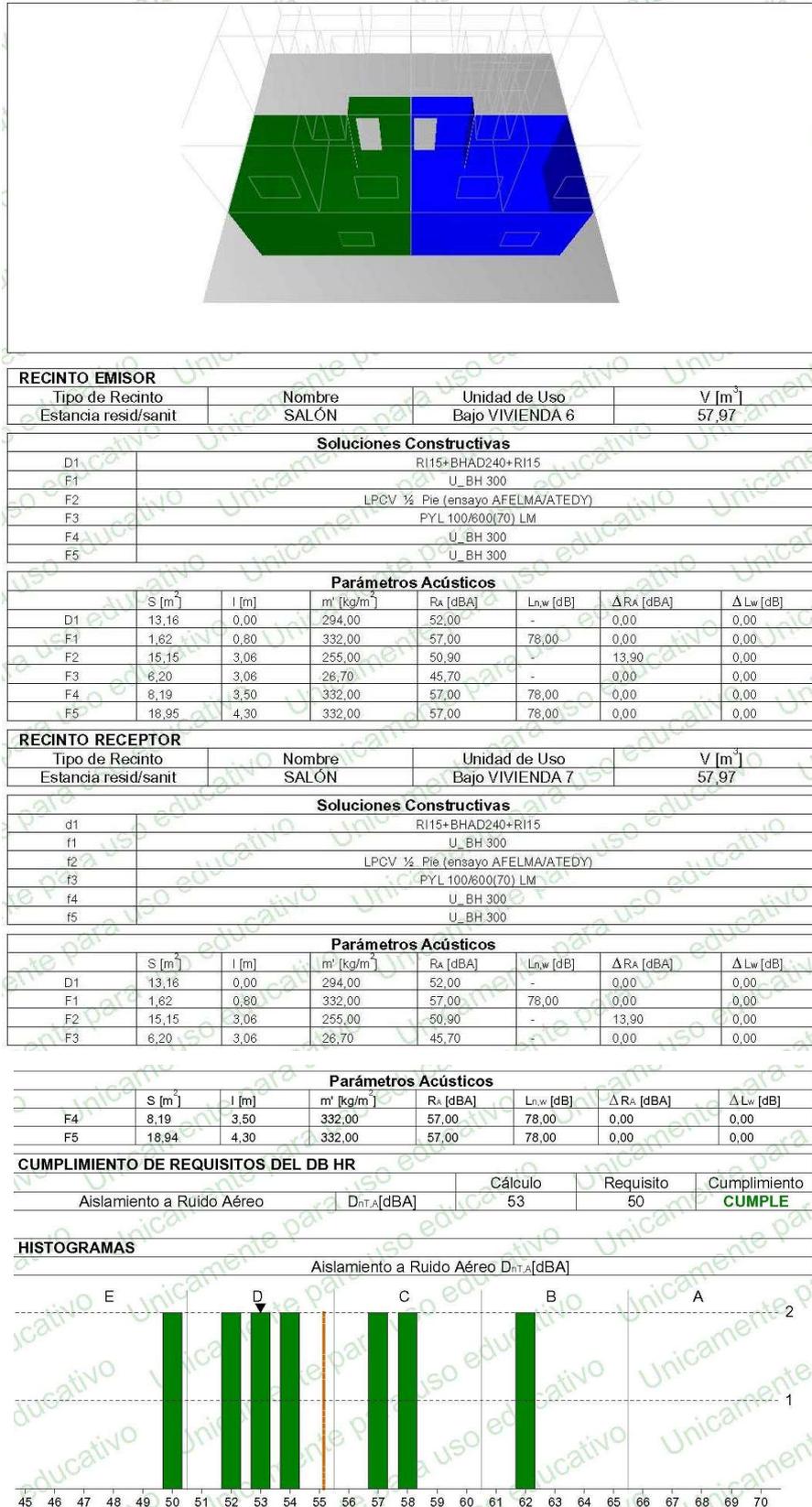
Transmisión del recinto 1 al recinto 2				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	D_{nTA} (dBA)	52	50	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	L'_{nTw} (dB)	65	65	CUMPLE

Transmisión del recinto 2 al recinto 1				
		Cálculo	Requisito	
Aislamiento acústico a ruido aéreo	D_{nTA} (dBA)	52	45	CUMPLE
Aislamiento acústico a ruido de impacto	L'_{nTw} (dB)	65	-	

5.2.2. Resultados de la simulación con Sonarchitect

Al igual que en el caso anterior, las salidas que produce la aplicación se pueden ver en el Anexo III. Aquí se presenta un ejemplo de cálculo de aislamiento a ruido aéreo entre Salón vivienda 6 – Salón vivienda 7 (Tabla 20).

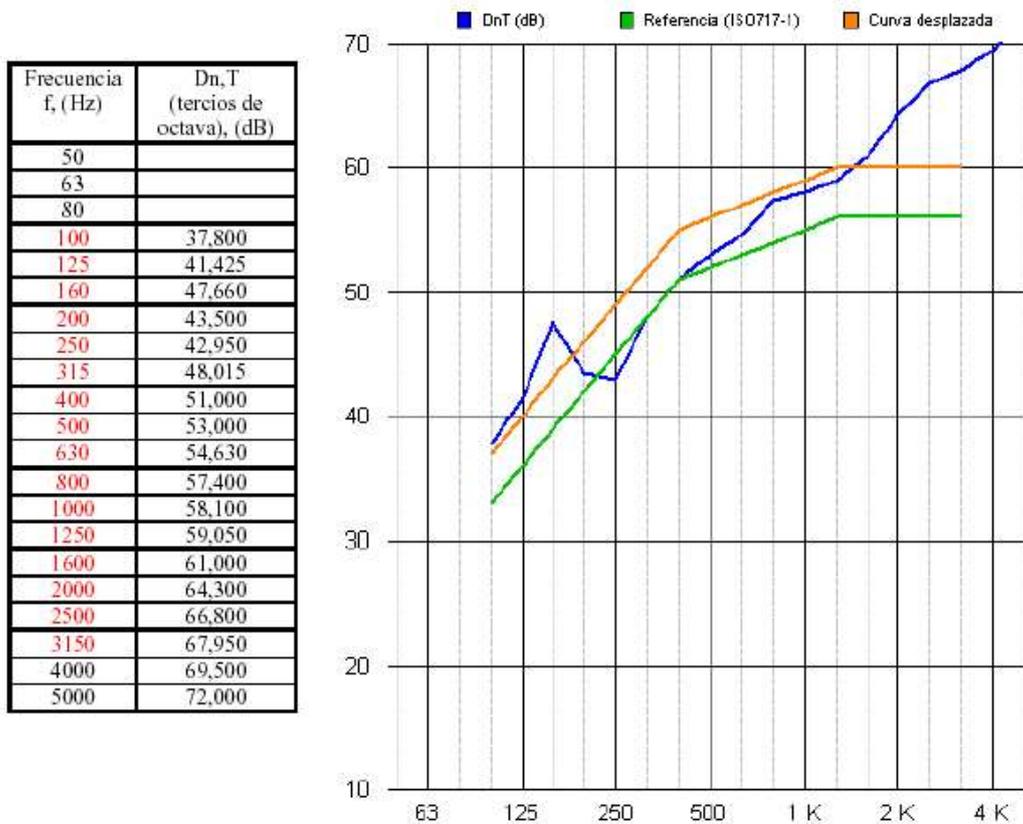
Tabla 20. Ficha justificativa del cálculo con SONarchitect



5.2.3. Resultados de los ensayos de aislamiento “in situ”

Todas las medidas realizadas se muestran en el Anexo III. Aquí se presenta un ejemplo de la medida de aislamiento acústico a ruido aéreo entre los recintos cocina 6 -cocina 5 (Figura 31).

**Medida de aislamiento normalizado conforme ISO 140-4
Medición “in situ” de aislamiento a ruido aéreo entre locales**



Valoración de $Dn,T,w (C ; Ctr) (dB) : (C;Ctr)=56 (-1 ; -5)$ conforme a ISO 717-1
Evaluación basada en resultados de mediciones in situ obtenidos por un procedimiento de ingeniería

Nº de informe : Cocinas 6-5

Nombre del instituto de ensayo : UCO

Figura 31. Resultado medida “in situ” entre recintos cocina 6-cocina 5.

5.2.4. Resumen de los Resultados

En primer lugar, se presentan los resultados de las simulaciones realizadas con la Herramienta Oficial de Cálculo del DB-HR del CTE. Una vez que se introducen los datos geométricos y constructivos la misma herramienta se encarga de realizar los cálculos considerando al primer recinto como emisor y al segundo como receptor y viceversa, el primero como receptor y segundo como emisor.

Quedan reflejadas en la tabla 21 las dos medidas por cada par de recintos, en columnas distintas, en las que también pueden observar los valores límites de aislamiento acústico para cada par, en función del tipo de recinto (habitado o protegido).

Tabla 21. Resultados de la simulación con la Herramienta oficial de cálculo

RESULTADOS HACIENDO USO DE LA HERRAMIENTA OFICIAL DE CÁLCULO DEL DB-HR DEL CTE		Aislamiento acústico a ruido aéreo $D_{nT,A}$ (dBA)			
		TRANSMISION DEL RECINTO 1 AL RECINTO 2		TRANSMISION DEL RECINTO 2 AL RECINTO 1	
RECINTO 1	RECINTO 2	Cálculo	Requisito	Cálculo	Requisito
SALON 6	SALON 7	53	50	53	50
DORMITORIO PQ 6	DORMITORIO PQ 7	50	50	50	50
SALON 7	COCINA 8	50	45	52	50
COCINA 8	COCINA 7	49	45	51	45
DORMITORIO GR 7	DORMITORIO GR 8	51	50	51	50
COCINA 6	COCINA 5	50	45	50	45

En segundo lugar se presentan en la tabla 22 también agrupados los resultados de las simulaciones realizadas con la versión educativa del programa SONarchitect.

Tabla 22. Resultados de la simulación con el programa SONarchitect.

RESULTADOS USANDO EL PROGRAMA SONarchitect (versión educativa)		Aislamiento acústico a ruido aéreo $D_{nT,A}$ (dBA)			
		TRANSMISION DEL RECINTO 1 AL RECINTO 2		TRANSMISION DEL RECINTO 2 AL RECINTO 1	
RECINTO 1	RECINTO 2	Cálculo	Requisito	Cálculo	Requisito
SALON 6	SALON 7	53	50	53	50
DOR PQ 6	DOR PQ 7	50	50	50	50
SALON 7	COCINA 8	51	45	53	50
COCINA 8	COCINA 7	49	45	51	45
DOR GR 7	DOR GR 8	52	50	52	50
COCINA 6	COCINA 5	50	45	50	45

Al igual que con la Herramienta Oficial de Cálculo del DB-HR del CTE el cálculo produce la salida de dos fichas distintas, fruto de considerar el recinto primero como emisor y el segundo como receptor y después en sentido inverso.

En tercer lugar se presentan en la tabla 23 los resultados de las medidas “in situ” del aislamiento a ruido aéreo entre recintos.

Tabla 23 Resultados de las medidas “in situ” del aislamiento a ruido aéreo.

MEDICIÓN “IN SITU” DEL AISLAMIENTO A RUIDO AÉREO ENTRE RECINTOS		
PARES DE RECINTOS		$D_{nT,w} (C;C_{tr})$
COCINA 6	COCINA 5	56
COCINA 8	COCINA 7	56
DORMITORIO GRANDE 7	DORMITORIO GRANDE 8	51
DORMITORIO PEQUEÑO 7	DORMITORIO PEQUEÑO 6	49
SALON 7	COCINA 8	57
SALON 7	SALON 6	52
DORMITORIO GRANDE 6	DORMITORIO GRANDE 5	53
DORMITORIO PEQUEÑO 6	DORMITORIO PEQUEÑO 5	50
DORMITORIO PEQUEÑO 7	DORMITORIO PEQUEÑO 8	50
SALON 6	SALON 5	53

En la tabla 24 se presentan de forma conjunta los resultados de la Herramienta oficial de cálculo, de la simulación con el programa SONarchitect, y de las medidas “in situ” del aislamiento a ruido aéreo.

Tabla 24. Resultados de las dos simulaciones y de las medidas “in situ”

PAREJAS DE RECINTOS		MEDIDAS “IN SITU”	HERRAMIENTA OFICIAL		SONarchitect	
			→	←	→	←
COCINA 6	COCINA 5	56	50	50	50	50
COCINA 8	COCINA 7	56	49	51	49	51
DOR GR 7	DOR GR 8	51	51	51	52	52
DOR PQ 7	DOR PQ 6	49	50	50	50	50
SALON 7	COCINA 8	57	50	52	51	53
SALON 7	SALON 6	52	53	53	53	53

Finalmente en la tabla 25 se resumen los valores medios (de las estimaciones) y se resumen todos los resultados.

Tabla 25. Resumen de los valores medios y exigencias.

PLANTA	VALORES MEDIOS	MEDIDAS "IN SITU" (+3dBA)	SIMULACIÓN SONarchitect	HERRAMIENTA OFICIAL	EXIGENCIA
BAJA	COCINAS	55	50	50	45
	SALONES	50,5	53	53	50
PRIMERA	DORMITORIOS GRANDES	50	52	51	50
	DORMITORIOS PEQUEÑOS	47,5	50	50	50

5.2.5. DISCUSIÓN

En un primera valoración es de destacar es que casi en todos los casos analizados, ya sean medidas “*in situ*” o estimaciones, se cumplen los requisitos exigidos.

Con respecto a las estimaciones, ya sea con la Herramienta Oficial de Cálculo del DB-HR del CTE, todas cumplen y quedan por encima de los valores límite de aislamiento acústico a ruido aéreo exigidos. Además en general con cierto margen, excepto en el caso de los dormitorios, sobre todos los pequeños que obtienen valores más ajustados.

En el caso de las medidas “*in situ*” se observa que también se cumplen las exigencias, en general con cierta holgura, excepto en el caso del par de recintos formados por los dormitorios pequeños de las viviendas 6 y 7. En todo caso, para el cumplimiento de las exigencias del DB HR se admiten tolerancias entre los valores obtenidos mediante medidas “*in situ*” y los valores límites de 3dBA.

En consecuencia, todos los recintos estudiados, ya sean emisores o receptores, en las combinaciones analizadas, se encuentran dentro de los valores permitidos

Por otra parte, no existen grandes diferencias entre las simulaciones realizadas con la Herramienta oficial y el programa comercial SONarchitect si acaso lo que es destacable es el gran parecido en los datos usando ambas herramientas

Los valores de aislamiento medidos "*in situ*" han sido mayores que los estimados. Podemos decir que han sido mejores que los esperados, pero no en todos los casos. Los dormitorios, especialmente los pequeños, tanto en valores medidos como estimados se encuentran demasiado cerca del límite.

En general, para todas los recintos, a excepción de las cocinas, los resultados medidos "*in situ*" son menores que los obtenidos en las simulaciones.

6. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas de acuerdo a los objetivos establecidos son las siguientes:

1. Las rectificaciones de normativa, orientadas a la utilización de nuevo de la norma en vigor UNE EN ISO 16283-1:2015 no subsanan el problema de usar la derogada norma UNE EN ISO 140-4 como procedimiento de medida, ya que sigue manteniendo 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 supone continuar con la metodología de medida anterior. A pesar de que, esta ampliación de las medidas hacia bajas frecuencias vienen impulsado por la queja sistemática de los ciudadanos de percibir ruido de baja frecuencia en sus viviendas. Por tanto, si se incorporara en la evaluación del aislamiento acústico estas bajas frecuencias, se atenderían estas demandas a la par que se mejoraría la fiabilidad de las medidas.

2. En la Fase 1 de este trabajo se ha analizado y discutido las diferencias de los valores de los índices globales de aislamiento acústico a ruido aéreo ampliados o no a las bajas frecuencias, definidos en las normas UNE-EN ISO 140-4 (derogada) y UNE-EN ISO 16283-1 (nueva) en edificios públicos, resultando ser reducidas.

3. Existen diferencias significativas al usar rango de frecuencias ampliado o no con el uso del descriptor $D_{nT,A}$ aunque carecen de significación en el

descriptor DnTw+C. La aplicación del nuevo índice ampliado no debe suponer un perjuicio para los agentes implicados (técnicos de laboratorios, fabricantes de materiales, arquitectos, técnicos de los ayuntamientos, etc.). La normativa persigue incorporar la evolución de la técnica y, en este caso, el índice global ampliado a bajas frecuencias aportado por 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.

4. 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 diciembre de 2019, del documento actualizado de comentarios al CTE, indica que las medidas se realizarán con el índice sin incluir la ampliación a bajas frecuencias DNTA (100-5000), lo cual hace pensar que la decisión, por parte del ministerio, de adoptar el índice ampliado será a largo plazo.

5. Por todo ello durante la realización de la Fase 2 se ha limitado el uso como método de medida a la norma UNE EN ISO 140-4.

6. La Herramienta Oficial de Cálculo del DB-HR del CTE es fiable en tanto que las medidas “*in situ*” corroboran el cumplimiento de las exigencias de

aislamiento acústico a ruido aéreo. El uso de esta herramienta aporta fiabilidad y certidumbre en el proceso de diseño al proyectista y le permite elegir soluciones constructivas adecuadas para el cumplimiento de las exigencias acústicas.

7. Se puede decir lo mismo del programa comercial usado, pues prácticamente produce resultados similares. Quedaría por valorar si compensa el coste de adquisición de un paquete informático cuando la Herramienta Oficial es pública, gratuita y de libre difusión, y como se puede ver permite trabajar con bastante fiabilidad. Pero por otra parte, también se ha de valorar que los programas comerciales, en sus versiones profesionales, no sólo permite los cálculos que aquí se han mostrado, sino que además tienen otras aplicaciones como la provisión de un plan de muestreo de un edificio y mayores capacidades gráficas, además de estar preparados para cumplir con las legislaciones de varios países de la Unión Europea.

8. Las medidas “*in situ*” ponen de manifiesto que en algunos casos, como se ejemplifica en los dormitorios del edificio de estudio, en los que los valores de aislamiento están muy próximos a los límites establecidos, se corre el riesgo de que una deficiente ejecución o un fallo fortuito impliquen un incumplimiento de las exigencias. Por tanto, es aconsejable adoptar soluciones constructivas que aporten un suficiente margen de seguridad por encima de las exigencias del DB-HR. Esto debe asumirse, aunque implique un coste, que siempre será menor que el debido a la rectificación para poder conseguir una certificación prestacional en caso de fallo en el diseño o en la ejecución.

9. Con independencia de los posibles fallos en la ejecución citados en el párrafo anterior, es imprescindible el control, en general, en la fase de obra, tanto de materiales como de la formación de los operarios para evitar la realización de puentes acústicos o derivaciones por flancos.

10. La evolución de la normativa, las herramientas de simulación y los materiales de construcción ha sido continua en los últimos años, permitiendo la mejora del cumplimiento de las exigencias acústicas y de la fiabilidad del proceso de diseño. No obstante, debe subrayarse la importancia de las medidas “*in situ*”, ya que, son las únicas que permiten comprobar los resultados exigidos además de facilitar la detección de fallos ocultos e inesperados por errores de ejecución.

7. BIBLIOGRAFÍA

Agencia Europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo, 2005. Magazine: El ruido en el trabajo. Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. Luxemburgo.

Disponible en: <https://osha.europa.eu/es/publications/magazine/8>.

Arenaz Gombau, A.; Espinel Valdivieso, A.E.; Martín González, L., 2010. Metodología de muestreo acústico de edificios. 41º Congreso Nacional de Acústica, León 2010.

Babisch, W., 2006. Transportation noise and cardiovascular risk. Review and synthesis of epidemiological studies. Dose-effect curve and risk estimation. Noise and Health.

Babisch, W., 2008. Road traffic noise and cardiovascular risk. Noise Health, 10(38):27-33.

Berglund, B.; Lindvall, T.; Schwela, DH. (eds), 2015. Guidelines for community noise. Ginebra: World Health Organization 1999.

Bragança, L.; Patrício, J., 2004. Case Study: Comparison between the Acoustic Performance of a Mixed Building Technology Building and a Conventional Building, Building Acoustics, 11(1): 79-90.

Carrascal García, T.;Romero Fernández, A.; Casla Herguedas, B., 2015. Requisitos de ruido en edificios existentes en España: Nuevas propuestas e Informe de Evaluación de Edificios Existentes. Euronoise 2015, Maastrick.

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

CEC, 2011. Catálogo de elementos constructivos (v 2.0). Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

Disponible en: <https://itec.cat/cec/>.

Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía. BOJA, núm. 24, 6 febrero 2012.

Díaz Jiménez, J.; Linares Gil, C., 2015. Salud ambiental, 15(2):121-131.

Directiva 89/106/CEE del Consejo de 21 de diciembre de 1988 relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros sobre los productos de construcción. Diario Oficial de las Comunidades Europeas nº L 040, 11/02/1989.

Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. Diario Oficial de las Comunidades Europeas núm. 189, 18/07/2002.

Documento Básico con Comentarios DB-HR. Protección frente al ruido (Dcc-DB-HR). Abril 2016.

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.

Documento Básico con Comentarios DB-HR. Protección frente al ruido (Dcc-DB-HR). Junio 2016.

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.

Documento Básico con Comentarios DB-HR. Protección frente al ruido (Dcc-DB-HR). Diciembre 2019.

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”. Diciembre 2019.

Ecobarómetro, 2013. Junta de Andalucía, CSIC.

Obtenido en:

<https://www.cma.junta-andalucia.es/medioambiente/portal/ecobarometro-de-andalucia>

Flores Pereita, P., 1990. Manual de acústica, ruidos y vibraciones. Fundamentos básicos y sistemas de control. Ed. GYC. Barcelona.

González de la Peña, P.; García Cabrera, P., 2019. How to achieve the acoustical performances with plasterboard systems. Internoise 2019. Madrid junio16-19.

González Gaya, C.; Theirs Rodríguez, E.; González Gaya, E., 2013. El comportamiento acústico de los edificios en la certificación medioambiental. EAA European Symposium on Environmental Acoustics and Noise Mapping. Valladolid 2013.

Guillén Guillamón, I.; Fran Bretones, J.; Gómez Lozano, V.; Ramírez Hoyos, P., 2016. Optimization of the acoustic behavior of industrialized walls in energy-efficient buildings.eco efficient building in situ experiences. 20th International Congress on Project Management and Engineering. Cartagena, 13-15 de julio de 2016.

Hagberg, K.; Bard, D., 2010. Sound Insulation Descriptors in Europe - Special Rules Complicate Harmonization within Lightweight Industry. Building Acoustics, 17(4): 277–290.

Hellmut, T.; Classens, T.; Khinr, R.; Kephelopoulos, S. (eds), 2011. World Health Regional Office for Europe and European Commission. Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen.

Hopkins, C.; Turner, P., 2005. Field measurement of airborne sound insulation between rooms with non-diffuse sound fields at low frequencies. *Applied Acoustics*, 66(12): 1339–1382.

Hopkins, C., 2015. Revision of international standards on field measurements of airborne, impact and facade sound insulation to form the ISO 16283 series. *Building and Environment*, 92: 703-712.

Lang, J.; Muellner, H. 2013. The importance of music as sound source in residential buildings. *Internoise September 2013*. Innsbruck, Austria.

Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. BOE núm. 276, de 18 noviembre 2003.

Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. BOE núm. 266, 6 noviembre 1999.

Lorenzana Lorenzana, M.T.; Segade Zas, L.; González Suárez, J.;Alba Fernández, J., 2009. Resultados del aislamiento in situ en viviendas con bandas perimetrales elásticas. *Congreso TecniAcústica*, Cádiz 2009.

Machimbarrena, M.; Carrascal, T., 2010. The Spanish acoustics building code (DB HR) and its first year of application. 2nd Convention of the Edilizia Acoustics Group. Florencia, 13 de diciembre 2010.

MAGRAMA, 2010. Contaminación atmosférica [datos actualizado en 2010].

Disponible en:

<http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/contaminacion-acustica/>.

Myung-Jun, K.; Ha-Geun, K., 2007. Field measurements of façade sound insulation in residential buildings with balcony windows. *Building and Environment*, 42: 1026–1035.

Novile, M.A.; Lang, W.W., 1995. Normas de medida y códigos de ensayo. En: *Manual de medidas acústicas y control del ruido*. Harris, C.M. (ed.). Ed. McGraw Hill, Madrid, pp 15.1-15.14.

Paz Morandeira, J.; Nogueira López, P., 2017. Spanish building assessment report (iee). Improvement suggestions. European symposium on sustainable building acoustics. La Coruña 2017.

Pedersoli S.; Sorribas Panero R.; Cantalapiedra Vargas M., 2013. Exactitud de los software de predicción acústica en el cumplimiento del db-hr. EAA European symposium on environmental acoustics and noise mapping. Valladolid 2013.

Pérez, A.J., 2011. Mediciones acústicas para verificar el cumplimiento de las exigencias del CTE DB-HR en edificio de viviendas con alto nivel de prestaciones acústicas. *Revista dB, AECOR (Asociación Española para la Calidad Acústica)*, noviembre.

Rasmussen, B.; Rindel, J.H., 2010. Sound insulation between dwellings. Descriptors applied in building regulations in Europe. *Applied Acoustics*,

71(3): 171-180.

Rasmussen, B., 2010. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. *Applied Acoustics*, 71(4): 373-385.

Rasmussen, B., 2011. Sound insulation between Dwellings – Overview of the Variety of Descriptors and Requirements in Europe. *Proceedings of Forum Acusticum*. Denmark.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 74, 28 marzo 2006.

Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico “DB-HR Protección Frente el Ruido” del Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 254, 23 octubre 2007.

Redel-Macías, M.D.; Cubero-Atienza, A.J.; Salas-Morera, L.; Arauzo-Azofra, A.; García-Hernández, L., 2009. Review of algorithms for active noise control. XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Badajoz, 8-10 de julio de 2009.

Rodríguez Fernández, C.; Rodríguez Molares, A.; Martín Herrero, J.; Sobreira Seoane, M.A., 2010. Sistema para la verificación de la calidad acústica en edificios: SONARCHITECT-ISO. 41º Congreso Nacional de Acústica. *TecniAcústica*, León 2010.

Rodrigues Monteiro, C.; Mondaca, C.; Machimbarrena, M.; Smith, S., 2012. "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.

Rodríguez Rodríguez, F.; Goicoechea Castaño, I.; Fenollera Bolibar, M.; Patiño Cambeiro, F., 2013. Búsqueda de la sostenibilidad en los grandes proyectos de ingeniería mediante la modelización acústica 3d y la optimización de los sistemas constructivos. EAA European symposium on environmental acoustics and noise mapping. Valladolid 2013.

Ruiz, L.; Delgado, E.; Neila, F.J.; Vega, S., 2012. Comparative study on acoustic behavior between light multi-layered and traditional façades. *Materiales de Construcción*, 62, 307, 397-409.

Selander, J.; Nilsson, M.E.; Bluhm, G, 2009. Long-term exposure to road traffic noise and myocardial infarction. *Epidemiology*, 20(2):272–9.

Sørensen, M.; Hvidberg, M.; Andersen, Z.J., 2011. Road traffic noise and stroke: a prospective cohort study. *Eur. Heart J.*, 32:737–44.

Tobías, A.; Linares, C.; Díaz, J., 2013. El ruido de tráfico, un importante problema de salud pública en las grandes ciudades: de la pérdida de audición a causa de riesgo de muerte. *Actuarios*, 33:29-30.

UNE-EN ISO 140-4:1999. 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. Asociación Española de Normalización (AENOR).

UNE-EN ISO 354:2004. Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. Asociación Española de Normalización (AENOR).

UNE EN ISO 717-1:2013. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo. Asociación Española de Normalización (AENOR).

UNE-EN ISO 16283-1: 2015. 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).

UNE-EN ISO 12354-1:2018. Acústica de edificios. Estimación del rendimiento acústico de los edificios a partir del rendimiento de los elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos. Asociación Española de Normalización (AENOR).

Venero de Castro, J., 2009. Estudio de las nuevas tablas de la opción simplificada del DB HR. Comparativa con la opción general. Congreso TechniAcústica, Cádiz 2009.

Wei, W.; Van Renterghem, T.; Botteldooren, D., 2012. An efficient model for background noise mapping. Euronoise, Praga 2012.