

## SISTEMA PARA LA VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA EN EDIFICIOS: SONARCHITECT-ISO

pacs: 43.55.Rg

Castor Rodríguez Fernández<sup>1</sup>, Alfonso Rodríguez Molares<sup>1</sup>, Julio Martín Herrero<sup>2</sup> y Manuel A. Sobreira Seoane<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sound of Numbers S.L.

<sup>2</sup>E.T.S.I. de Telecomunicación, Universidad de Vigo

Campus de la Universidad de Vigo,

36200 Vigo

email: [amolares@gts.tsc.uvigo.es](mailto:amolares@gts.tsc.uvigo.es); [msobre@gts.tsc.uvigo.es](mailto:msobre@gts.tsc.uvigo.es)

### ABSTRACT

In several European countries, in addition to some minimum legal requirements for sound acoustic insulation, classification schemes of acoustic quality in buildings have been defined. Depending on the performance levels achieved, a dwelling may obtain certain ratings. Currently in Europe is far from the alignment in the concept of comfort or sound quality: no common descriptors are handled in the definition of isolation requirements, and these change depending on the countries. This article presents a tool that provides the ability to determine the noise classification of an entire building in any of the European classification schemes, taking into account the disparity of descriptors and requirements. The software calculates the acoustic insulation according to the method described in the family of standards UNE-EN 12 354.

### RESUMEN

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 alcanzado 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.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha llevado a cabo en Europa una revisión importante de los requerimientos de aislamiento acústico en la edificación. Durante el año 2004 se realizó en Europa una comparativa de requerimientos en 24 países, no sólo a nivel de exigencia sino también comparando el tipo de descriptores utilizados y el rango de frecuencia aplicado. Los 24 países participantes en este estudio fueron: Austria, Bélgica, República Checa, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Francia, Alemania, Hungría, Islandia, Italia, Letonia, Lituania, Holanda, Noruega, Polonia, Portugal, Eslovaquia, Eslovenia, España, Suecia, Suiza, Reino Unido (hasta aquí miembros del Comité Europeo de Normalización- CEN) y Rusia. De estos países, únicamente 9 cuentan con un esquema de clasificación acústica para la edificación. En la tabla 1 se incluye la lista de países con las referencias aplicables para la calificación acústica.

Tabla 1: Países europeos con esquemas de clasificación acústica en edificación

Esquemas Europeos para la Clasificación Acústica			
País	Notación de Clases	Año de Implantación	Referencia
Dinamarca	D/C/B/A	2001	DS 490 (2001)
Noruega	D/C/B/A	1997/2005	NS 8175 (2005)
Suecia	D/C/B/A	1996/1998/2004	SS 25267
Finlandia	D/C/B/A	2004	SFS 5907 (2004)
Islandia	D/C/B/A	2003	IST 45 (2003)
Alemania	I/II/III	1994	VDI 4100 (1994)
Francia	QL/QLAC	1993/1995/2000	Guide Qualitel (2000)
Holanda	5/4/3/2/1	1999	NEN 1070 (1999)
Lituania	E/D/C/B/A	2004	STR 2.01.07 (2003)

Los métodos e indicadores utilizados para el establecimiento de requerimientos acústicos se basan en la familia de normas ISO 717. Esta norma ofrece variedad de opciones, alguna de las cuales han sido adoptadas en varios países, lo que ha hecho que en distintos países se hayan adoptado diversas opciones. Actualmente, las distintas propuestas europeas tanto para el establecimiento de requerimientos como para la determinación de la clasificación acústica de edificios no están armonizadas y existe un grupo de trabajo en la Asociación Europea de Acústica, el WG "Technical Committee Room and Building Acoustics" encargado del establecimiento de criterios comunes para la clasificación acústica en Europa. Las tablas 2 y 3 aportan a modo de referencia las clases y los criterios utilizados en otros países europeos. En estas tablas se incluyen los datos del esquema de clasificación propuesto para España por la Asociación Española para la Calidad Acústica (AECOR) [5].

Tabla 2: Criterios principales de clasificación acústica de aislamiento a ruido aéreo en Europa.

Clase	Dinamarca	Finlandia	Islandia	Noruega	Suecia
A	$R'_w + C_{50-3150} \geq 63$	$R'_w + C_{50-3150} \geq 63$	$R'_w + C_{50-3150} \geq 63$	$R'_w + C_{50-3150} \geq 63$	$R'_w + C_{50-3150} \geq 61$
B	$R'_w + C_{50-3150} \geq 58$	$R'_w + C_{50-3150} \geq 58$	$R'_w + C_{50-3150} \geq 58$	$R'_w + C_{50-3150} \geq 58$	$R'_w + C_{50-3150} \geq 57$
C	$R'_w \geq 55$	$R'_w \geq 55$	$R'_w \geq 55^a$	$R'_w \geq 55^a$	$R'_w + C_{50-3150} \geq 53$
D	$R'_w \geq 50$	$R'_w \geq 49$	$R'_w \geq 50$	$R'_w \geq 50$	$R'_w \geq 49$

	Francia	Alemania	España(*)	Holanda	
		Apartamentos	Adosados		
QLAC	$D_{nT,w} + C \geq 56$	III H: $R'_w \geq 59^b$ V: $R'_w \geq 60$	$R'_w \geq 68$	A $D_{nT,A} \geq 60$	1 $D_{nT,w} + C \geq 62$
QL	$D_{nT,w} + C \geq 53$	II H: $R'_w \geq 56$ V: $R'_w \geq 57$	$R'_w \geq 63$	B $D_{nT,A} \geq 55$	2 $D_{nT,w} + C \geq 57$
		I H: $R'_w \geq 53$ V: $R'_w \geq 54$	$R'_w \geq 57$	C $D_{nT,A} \geq 50$	3 $D_{nT,w} + C \geq 52$
					4 $D_{nT,w} + C \geq 47$
					5 $D_{nT,w} + C \geq 42$

a Se recomienda la utilización del  $C_{50-3150}$  en la clase C

(\*) Borrador de AECOR [5]

b H: Horizontal y V: Vertical

*Tabla 3: Criterios principales de clasificación acústica de aislamiento a ruido de impacto en Europa.*

Clase	Dinamarca	Finlandia	Islandia	Noruega	Suecia
A	$L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 43$	$L'_{n,w} \leq 43$ y $L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 43$	$L'_{n,w} \leq 43$ y $L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 43$	$L'_{n,w} \leq 43$ y $L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 43$	$L'_{n,w} \leq 48$ y $L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 48$
B	$L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 48$	$L'_{n,w} \leq 49$ y $L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 49$	$L'_{n,w} \leq 48$ y $L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 48$	$L'_{n,w} \leq 48$ y $L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 48$	$L'_{n,w} \leq 52$ y $L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 52$
C	$L'_{n,w} \leq 53$	$L'_{n,w} \leq 53$	$L'_{n,w} \leq 53$	$L'_{n,w} \leq 53$	$L'_{n,w} \leq 56$ y $L'_{n,w} + C_{1,50-250} \leq 56$
D	$L'_{n,w} \leq 58$	$L'_{n,w} \leq 63$	$L'_{n,w} \leq 58$	$L'_{n,w} \leq 58$	$L'_{n,w} \leq 60$

Francia		Alemania		España(*)		Holanda
		Apartamentos	Adosados			
QLAC	$L'_{n,w} \leq 52$	III	$L'_{n,w} \leq 39$	$L'_{n,w} \leq 34$	A	$L'_{n,w} + C_1 \leq 43$
QL	$L'_{n,w} \leq 55$	II	$L'_{n,w} \leq 46$	$L'_{n,w} \leq 41$	B	$L'_{n,w} + C_1 \leq 48$
		I	$L'_{n,w} \leq 53$	$L'_{n,w} \leq 48$	C	$L'_{n,w} + C_1 \leq 53$
						$L'_{n,w} + C_1 \leq 58$
						5 $L'_{n,w} + C_1 \leq 63$

Estas tablas ponen de manifiesto la disparidad de criterios a la hora de definir un único esquema europeo común: tanto en los descriptores utilizados ( $D_{nT}$ ,  $R'_{w}$ ,  $R'_{w} + C_{tr}$ , ...) como en la definición del número de clases y los umbrales de clases. En las referencias [1] a [4] se detalla la descripción de los esquemas de clasificación actualmente vigentes en Europa, su evolución y se analiza la dificultad que existe en el establecimiento de criterios objetivos de calidad que sean representen adecuadamente la reacción del usuario ante el nivel de calidad percibido (es decir, el grado de confort acústico percibido sea coherente con el valor objetivo del descriptor acústico).

En octubre de 2009 se presentaba una nueva herramienta de diseño, SONarchitect ISO [6], que permite el cálculo de las prestaciones acústicas de todo un edificio mediante los métodos de cálculo descritos en las normas EN ISO 12354. Con este programa se han realizado campañas de validación de cálculo, mostrando buena correlación entre las medidas y los cálculos realizados. El tiempo de cálculo<sup>1</sup> del programa permite optimizar el diseño, al no resultar pesado el proceso iterativo cálculo-modificación-recálculo.

En este artículo se revisan algunas de las características del programa y se describen las nuevas capacidades desarrolladas, como la posibilidad de establecer la clasificación acústica del proyecto, permitiendo elegir cualquiera de los esquemas de clasificación actualmente vigentes en Europa: Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega, Suecia, Francia Alemania, Lituania y los Países Bajos. El programa, además incluye una herramienta de auralización que permite facilitar la comprensión del concepto de calidad acústica y aclarar algunos conceptos básicos a profesionales claves en el proceso de construcción (arquitectos, arquitectos técnicos, promotores) no familiarizados con la acústica.

## REVISIÓN GENERAL DEL CÁLCULO AUTOMÁTICO MEDIANTE ISO 12354

SONarchitect ISO proporciona el cálculo automático del aislamiento acústico en un edificio del aislamiento a ruido aéreo y de impacto, aislamiento a ruido exterior, y la emisión de ruido desde los recintos ruidosos del edificio hasta el exterior. Calcula además el tiempo de reverberación. Todos los cálculos se realizan conforme a las normas EN ISO 12354, partes 1, 2, 3, 4 y 6. Los cálculos se efectúan a partir de los planos del edificio sin la necesidad de aplicar simplificaciones de geometría.

<sup>1</sup> El tiempo de cálculo para un proyecto de hospital en Bilbao (11244 casos a verificar) fue de 4.37 segundos en un ordenador con procesador Intel Core 2 Duo CPU E8200 @ 2.66 GHz con 2 GB de RAM.

Los índices de reducción vibracional,  $K_{ij}$ , se eligen de forma automática a partir de la información que el procesador geométrico extrae y del tipo de material seleccionado por el usuario. Los cálculos se realizan en tercios de octava y los requisitos del proyecto se pueden seleccionar de forma automática.

El usuario puede navegar por todas los recintos del edificio presentado en 3D e investigar cuál es el valor del aislamiento calculado para todos los elementos del edificio, tanto cuando estoas actúan como vía directa como cuando actúan como flanco. El programa permite además extraer un histograma que representa el comportamiento global del edificio.

Simmons en [7] analiza el impacto que tienen sobre los resultados de cálculo, las aproximaciones y simplificaciones que el usuario debe realizar durante el proceso de modelado.

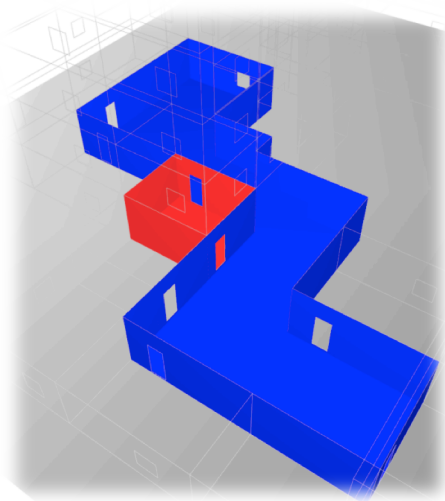


Figura 1: Geometría de un par de recintos definidos en SONarchitect ISO.

Como se ha comentado anteriormente, uno de los principales problemas relacionados con el uso de herramientas de diseño tradicionales es la dificultad que surge al tratar con geometrías complejas. El usuario se ve forzado a aproximar todas las posibles formas geométricas que se encuentra en los planos del edificio por cajas rectangulares. La figura 1 muestra como ejemplo uno de los casos en los que la utilización de herramientas tradicionales de cálculo pueden conducir a errores en la estimación del aislamiento. En la figura, se muestran dos recintos que comparten dos elementos separadores comunes. Con herramientas tradicionales, el usuario debe asumir que el tabique separador es único, lo que conduce a un error en la estimación del tiempo de reverberación estructural (no se tiene en cuenta la atenuación provocada por la esquina) y de la longitud de absorción equivalente. El usuario se ve forzado a definir “recintos equivalentes” y deberá poner especial cuidado al definir los “nuevos flancos equivalentes”

para no modificar las longitudes y las superficies correspondientes y mantener así el correspondiente índice de reducción sonora del flanco. En el caso de recintos en U para transmisión horizontal o L en el caso de transmisión vertical, las simplificaciones de cajas rectangulares no son posibles. La figura 2 muestra algunos de los casos donde la aproximación de cajas rectangulares no es utilizable.

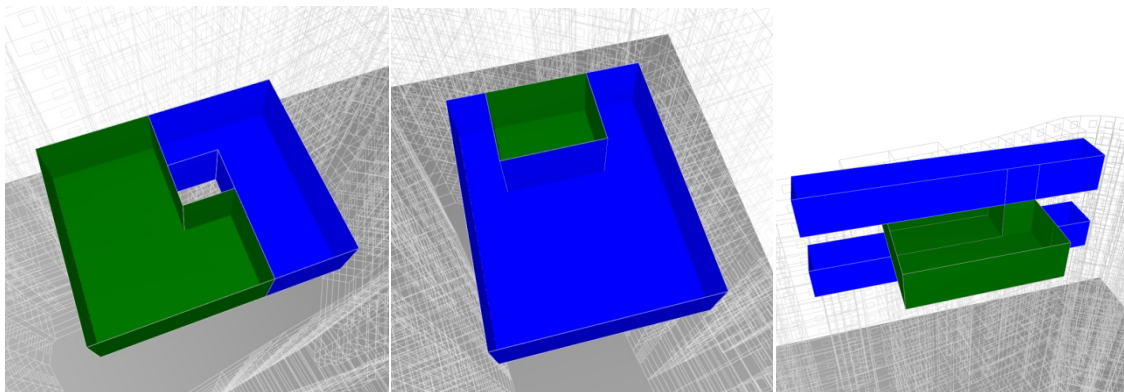


Figura 2 – Ejemplos de casos donde no puede utilizarse la aproximación de cajas rectangulares.

SONarchitect ISO calcula la transmisión sonora a través de cada elementos separador y de cada par de flancos sin restricciones geométricas y suma todas las contribuciones de los caminos de propagación entre el recinto fuente y receptor. El programa incluye herramientas de dibujo que permite recrear la geometría completa en 3 dimensiones de un edificio. El trazado del plano puede realizarse a partir de la importación de ficheros en formato “.dxf”, como indica la figura 3.

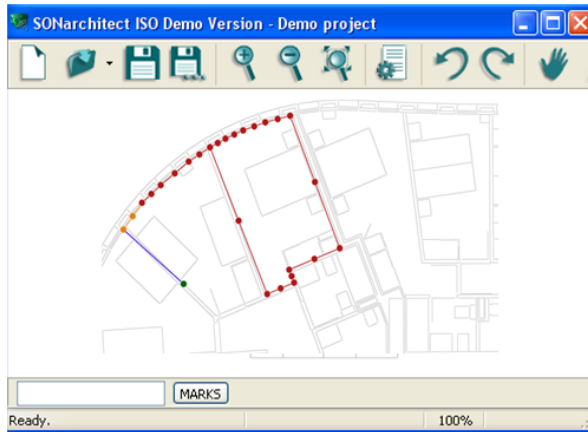


Figura 3: Proceso de dibujo en SONarchitect sobre el plano en dxf.

El programa contiene un potente procesador geométrico que reconoce automáticamente los volúmenes del edificio y detecta las intersecciones entre paramentos, etiquetando el tipo de unión (cruz, uniones en T).

La tecnología **Smart-2DJ** © permite al programa seleccionar el índice de reducción vibracional,  $K_{ij}$ , apropiado para cada tipo de unión. Al contrario que en otras herramientas convencionales, no hay necesidad de especificar si una unión es en “T”, “L” o “X”, o si los elementos son ligeros o si la unión corresponde con una fachada ligera. Toda esta información está implícita en el proceso de introducción de

la geometría y de los elementos constructivos. Se han incluido algunas extensiones a los índices de reducción vibracional, que permiten mejorar la estimación del aislamiento en el caso de encuentros entre la tabiquería interior y tabiques dobles [11]. Actualmente se están desarrollando y validando nuevas expresiones mediante la utilización de elementos finitos [12]. Si se desea incluir la utilización de bandas elásticas en los encuentros, el usuario cuenta con el modo de configuración de las uniones, figura 4, que implementa el interfaz **JLAN**. Está en proceso de desarrollo una mejora sobre esta interfaz, donde se podrá indicar la posibilidad de uniones entre paredes dobles en aquellos casos en que sea requerido.

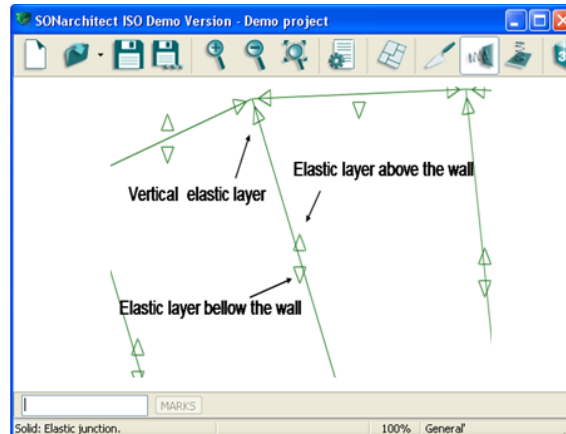


Figura 4: Interfaz JLANv1, selección de uniones elásticas

Los materiales constructivos se seleccionan de la base de datos, figura 5, donde se incluyen más de 500 soluciones constructivas de distintas bases de datos y fabricantes europeos con datos de aislamiento en laboratorio en tercios de octava. El usuario puede además diseñar sus propias soluciones constructivas. Se han desarrollado diferentes herramientas que permiten al usuario definir nuevos materiales, utilizando diferentes ecuaciones para la predicción del aislamiento, incluidas en el apéndice B de la norma EN ISO 12354-1, apéndice C de la EN ISO 12354-2 y otras expresiones de la ley de masas publicadas por distintos autores, como Cremer, London, Josse-Lamure, Price-Crocker, Sewell, Brekke y Arau. Se ha implementado además el método de impedancia para medios multicapa.

Los cálculos del aislamiento *in-situ* se presentan en un árbol de resultados, tal como indica la figura 5, donde al mismo tiempo se visualiza el espectro del aislamiento correspondiente (impacto, exterior, ruido aéreo) en tercios de octava para cada par de recintos en el edificio, indicando además en la geometría 3D la ubicación de los recintos dentro del edificio. Para cada resultado presentado en el árbol se puede desplegar para determinar la

contribución de cada uno de los flancos que intervienen en cada caso. Para cada resultado se puede imprimir una ficha justificativa en formato *pdf*.

Los pares de recintos que no verifican los requerimientos establecidos durante la fase de configuración del proyecto se representan en color rojo. (recordemos que el programa se adapta a distintos requerimientos en función de los requisitos establecidos en cada país). El programa además asigna color rojo a las vías de transmisión débiles, permitiendo localizarlas con rapidez dentro del árbol de resultados.

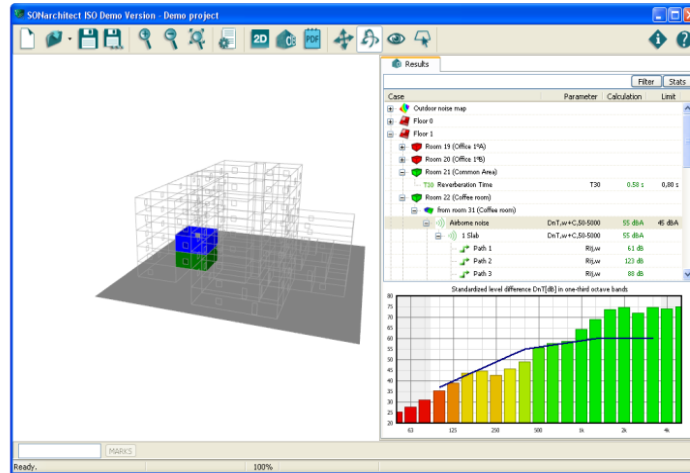


Figura 5: Presentación de resultados de cálculo en Sonarchitect ISO

Además de los resultados de aislamiento según las partes 1, 2 y 3 de la norma EN ISO 12354, el programa calcula la radiación hacia el exterior de los recintos clasificados como ruidosos. Para ello, previamente el usuario deberá indicar los valores de presión sonora máxima en el interior del recinto (figura 6).

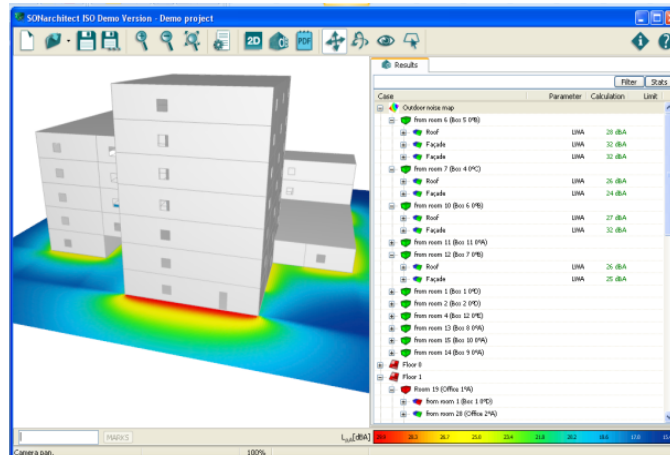


Figura 6: Representación de los niveles radiados hacia el exterior

Los resultados pueden presentarse en un informe recopilatorio, ver figura 7, de aquella información que el usuario desee incluir (informes configurables). Se incorpora además una nueva posibilidad: la auralización de los resultados de los cálculos. La auralización permite la evaluación subjetiva del proyecto, más allá de los requisitos legales establecidos y además trasladar el significado de las magnitudes acústicas manejadas a usuarios o clientes no familiarizados con ellas. El programa incluye algunos ficheros para permitir al usuario evaluar subjetivamente el aislamiento conseguido en el proyecto utilizando distintos tipos de fuentes sonoras. El usuario puede además incluir ficheros propios. En la figura 8 se presenta la ficha de un par de recintos donde se incluye la posibilidad de escuchar el resultado. Puede además observarse en las figuras 7 y 8 que en el informe y en la ficha se propone una *etiqueta de*

eficiencia acústica, en analogía a la utilizada en eficiencia energética, además de declarar el cumplimiento con los requisitos legales mínimos establecidos. Esta etiqueta se otorga en función del esquema de clasificación acústica correspondiente.

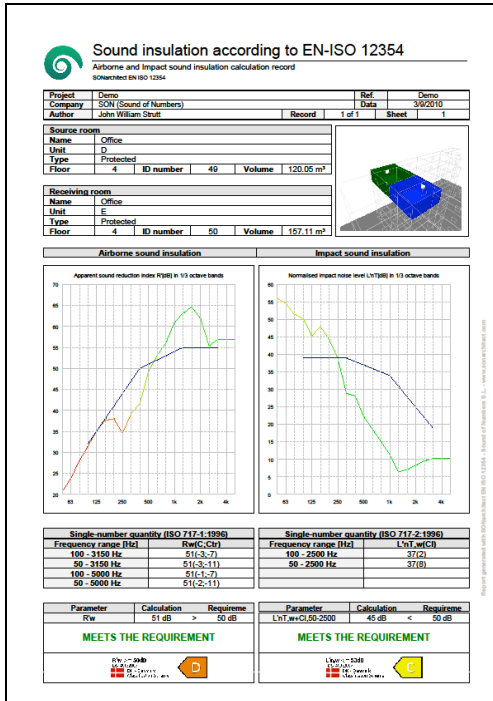


Figura 7: Ejemplo de informe.

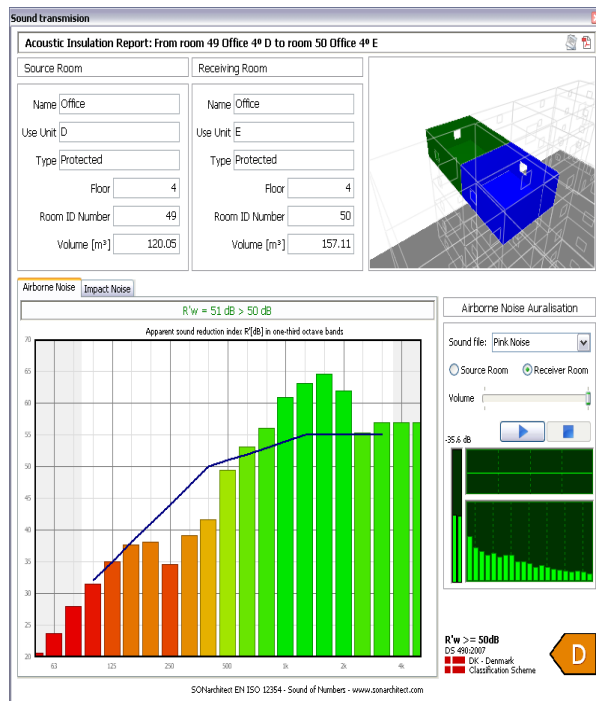


Figura 8: Ficha de resultados con herramienta de auralización

## CLASIFICACIÓN ACÚSTICA DE EDIFICIOS

El objetivo del establecimiento de un esquema de clasificación garantizar unos niveles de confort acústico determinado, en función de la clase. La definición de las clases más elevadas deberían ir orientadas hacia el objetivo de que un 100 % de los usuarios del edificio declaren no percibir molestias procedentes de las actividades desarrolladas por otros ocupantes del edificio. Principalmente dos trabajos [9] y [13] han establecido las relaciones dosis-reacción en función de distintos niveles de aislamiento ante distintas fuentes de ruido doméstico: música comercial reproducida por Cds, ruido de impacto de pasos y de niños jugando. Las conclusiones y la curva dosis-reacción publicada en estos trabajos, con una pendiente del 4% por dBA entre 20% y el 80% de usuarios con molestias por ruido, fue verificada mediante los estudios realizados en la Universidad Técnica de Dinamarca [14]. En nuestra opinión la variación, la pendiente de molestia podría mostrar variaciones superiores si se hubieran considerado más fuentes de ruido habituales en entornos domésticos, como son los ruidos procedentes de cuartos de baño, ruidos con componentes tonales procedentes de instalaciones o incluso la música procedente de un principiante tocando un instrumento durante las largas horas de aprendizaje (música no comercial). Incluso cuando estos sonidos no están presentes en todos los recintos de una vivienda, nuestra sensibilidad ante ellos podría suponer una percepción devaluada del grado de confort acústico. Ante esta situación, puede resultar interesante la utilización de herramientas de auralización en un entorno de diseño acústico de un edificio para poder evaluar la presencia e importancia de estos ruidos en distintas estancias de una vivienda.

Actualmente, los requisitos mínimos de aislamiento acústico establecidos en Europa, suponen un nivel de confort acústico donde únicamente un 40% de los usuarios de una vivienda que cumpla el mínimo establecido se declararían satisfechos. Claramente los requisitos legales garantizan un umbral de confort mínimo, pero este mínimo no es suficiente.

En agosto de 2009, nueve países europeos habían ya desarrollado un sistema de clasificación acústica en la edificación, descritos en [2],[3]. Estos esquemas surgen como una herramienta para incrementar el nivel de confort acústico en las viviendas y muchos de ellos están vinculados con los códigos técnicos nacionales, al asignar un nivel de clasificación determinado a los niveles requeridos en el código técnico de la edificación nacional correspondiente. Este vínculo entre esquema de clasificación y código técnico simplifica considerablemente la aplicación del Código Técnico y realza el concepto de calidad definido en el esquema: el mensaje que se genera es *existe una mayor calidad acústica posible y los requisitos legales solo garantizan un grado e confort mínimo*. En muchos de estos esquemas de clasificación, las clases más altas incluyen requerimientos mínimos de aislamiento en baja frecuencia, incluyendo descriptores que utilizan términos de adaptación espectral extendidos a 50 Hz.

Los esquemas de clasificación se aplican a cada par de recintos. En la aplicación de un esquema que garantice confort acústico hay un problema en el viaje desde el elemento constructivo al edificio. Podemos determinar mediante y cálculo el aislamiento de un paramento y determinar su clase. Para determinar la clase de un recinto tenemos que resolver todas las colindancias del recinto y determinar la clase de todos los paramentos. Entonces, ¿cómo podemos clasificar una habitación a partir de las clases de los paramentos? ¿Cómo podemos asignar una clase a una vivienda a partir de la clasificación de las habitaciones? Y...¿Cómo asignar una etiqueta acústica a un edificio? ¿Hay algún interés en este proceso?

Un esquema de clasificación acústica resulta de interés para el público. Podemos comprobar el éxito en el desarrollo e implantación del esquema de clasificación de eficiencia energética. Cada vez más el gran público comprende el significado de las clases y que un frigorífico de clase A es más eficiente que el de clase B. También implica una simplificación importante en los descriptores. No nos venden un frigorífico explicándonos cuántos vatios consume. Simplemente con la etiqueta nos llega: clase B “debe ser bastante bueno”. Los esquemas de clasificación resultan de gran interés porque los usuarios se sentirán mucho más cómodos con un concepto como “esta habitación es clase A”, o “clase B”, que con cantidades acústicas. Con el tiempo un usuario entenderá que en una vivienda clase B escuchará algo los ensayos del pequeño vecino del quinto, mientras que con una vivienda clase A, puede estar tranquilo organizando cenas para los amigos sin que estos molesten a sus vecinos. Parece por tanto que es útil y recomendable llevar el esquema de clasificación hasta el nivel “vivienda”.

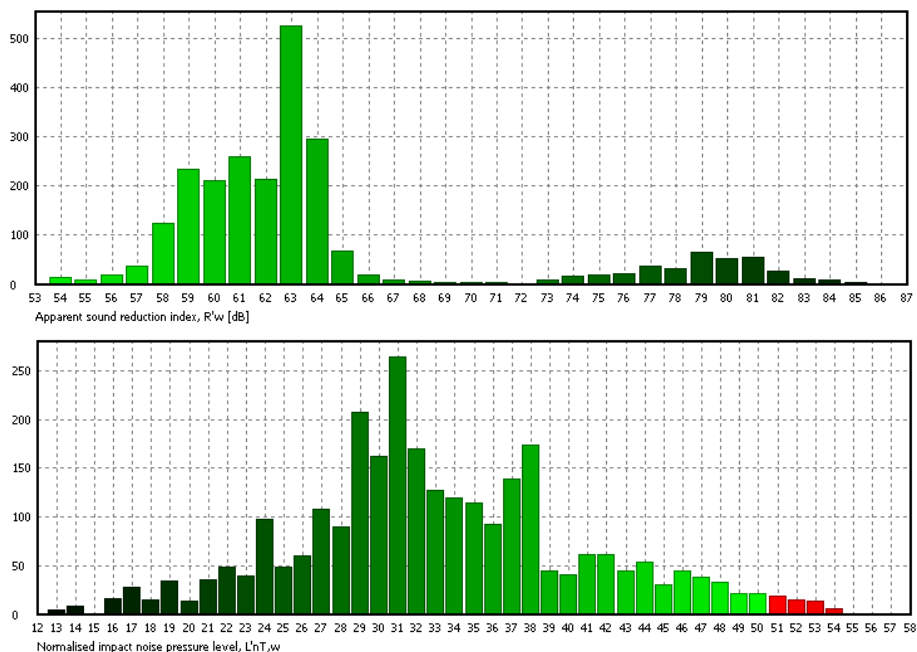


Figura 9: Histograma mostrando los resultados para un edificio para aislamiento a ruido aéreo (superior) y ruido de impacto (inferior), mostrando la dispersión de prestaciones de los paramentos.



Por otra parte, el problema de establecer un sistema de clasificación, puede no ser tan importante para los usuarios finales como para los promotores o los legisladores. No es incompatible, o al menos no lo parece, mantener en el mismo edificio viviendas que pertenecen a distintas clases. Puede haber usuarios que prefieran pagar algo más por un grado de confort acústico superior. En el aseguramiento de la calidad, el eslabón más débil establecerá el nivel de calidad del conjunto. De este modo, la clase de una habitación debería ser definida a partir de la peor de las particiones. De poco importa si el 90 % de las colindancias de un recinto es de clase A, si una de las particiones es de clase d. Del mismo modo, la clase de una vivienda debería ser establecida a partir de la clase de la habitación con peor clasificación. Claramente, si en fase de proyecto resulta complicado establecer el caso peor para dar conformidad a un mínimo legal, cuando hablamos de la verificación de la calidad y del establecimiento de clases en las viviendas de un edificio, el 100 % de las viviendas debe ser verificadas, y, al menos en cada vivienda ser capaces de detectar la habitación y la partición con clase mínima. Si una habitación de un edificio pertenece a una clase determinada, ¿puede deducirse que todas las habitaciones de una vivienda pertenecen a la misma clase?, si se ha establecido una clase para una vivienda, ¿podemos inferir que todas las viviendas de un edificio pertenecerán a la misma clase?. Estas cuestiones se resuelven parcialmente echando un vistazo a un histograma obtenido calculando el 100 % de los paramentos de un proyecto. En la figura 9 se muestran los histogramas correspondientes al aislamiento a ruido de impacto y a ruido aéreo de un proyecto real. Se observa una gran dispersión de resultados y revela como es difícil establecer conclusiones o extrapolaciones para todas las particiones de un edificio (es decir, para todas las habitaciones y viviendas) a partir del conocimiento de un conjunto pequeño de ellas. Si todas las plantas de un edificio presentan la misma distribución, los resultados podrían extrapolarse a partir el cálculo de tres plantas.

Para una mejor comprensión de los agentes implicados en el proceso de construcción (desde arquitectos, promotores a usuarios finales), tal como se ha expuesto anteriormente, se propone una traslación de los requisitos acústicos a un sistema de etiquetado. Una de las ventajas técnicas futuras es su robustez frente a posibles cambios o unificaciones a nivel europeo de los descriptores acústicos utilizados. El sistema etiquetado puede mantenerse si más que cambiar la definición subyacente. El usuario recibe el mismo mensaje de eficiencia acústica aunque esta pueda verse redefinida en el tiempo, ajustando los niveles de clase a nuevos valores o, simplemente cambiando las definiciones expresadas en  $D_{nT,A}$ , por ejemplo  $D_{nT,w}$ . El mero cambio “de subíndice” causaría confusión en el profesional no acostumbrado a los indicadores acústicos, y para él, con herramientas de diseño adaptadas a los cambios de descriptores, nada habrá cambiado en términos de etiquetado. La figura 10 muestra una propuesta de etiquetado atizado por SONarchitect adaptado al esquema de clasificación noruego.

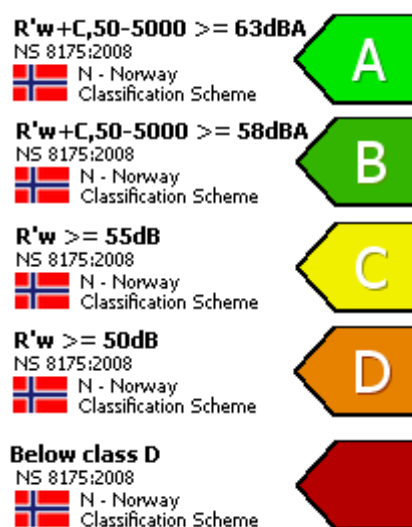


Figura 10: Propuesta de etiquetado acústico

## CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un resumen de los esquemas de clasificación europeos y discutido el entorno de los esquemas de clasificación acústica. Se han revisado las características de SONarchitect y descrito la inclusión de nuevas herramientas para la verificación del confort acústico: la inclusión de una herramienta de auralización y la propuesta de SONarchitect de utilizar un sistema de etiquetado como sistema para describir la clasificación acústica de un edificio.

## REFERENCIAS

- [1] Rasmussen, B.; Rindel JH. Concepts for evaluation of sound insulation of dwellings-from chaos to consensus?. *Proceedings Forum Acusticum 2005. Budapest*, "IN- CDROM"
- [2] Rasmussen, B.; Rindel JH. Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe. *Applied Acoustics, Volume 71, Issue 3, March 2010, Pages 171-180*
- [3] Rasmussen, B. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. *Applied Acoustics, Volume 71, Issue 4, April 2010, Pages 373-385*
- [4] Rasmussen, B. Sound insulation of residential housing – building codes and classification schemes in Europe. In *Handbook of noise and vibration control*. USA: Wiley & Son; 2007. Crocker Malcolm J, editor-in-chief.
- [5] Espinel Valdivieso, A.; Igualador Pascual, Fernando; Frias Pierrad, Juan. Proposal of acoustic classification scheme in Spain. *Proceedings INTERNOISE 2010, Lisboa, Portugal, Junio 13-16*. IN CD-ROM.
- [6] Sobreira Seoane, M.; Rodríguez Molares A and Martín Herrero J. Automatic calculation of sound insulation following UNE 12354 in a whole building. *Proceedings Euronoise 2009*. Edimburgh, Scotland, October 26-28 2009. IN CD-ROM.
- [7] Christian Simmons. Reproducibility of measurements with ISO 140 and calculations with EN 12354. *NT Technical Report. ISSN 0283-7234*
- [8] European standard EN 12354. *Building Acoustics – estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements*.
  - Part 1: Airborne sound insulation between rooms (2000)
  - Part 2: Impact sound insulation between rooms (2000)
  - Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound (2000)
  - Part 4: Transmission of indoor sound to the outside (2000)
  - Part 5: Sound levels due to service equipment in buildings, prEN 2004
  - Part 6: Sound absorption in enclosed spaces (2003)
- [9] Rindel JH. Acoustic quality and sound insulation between dwellings. *J Build Acous 1999;5:291–301*.
- [10] Rasmussen, B. Facade sound insulation comfort criteria in european classification schemes for dwellings. *Euronoise 2006*. Tampere, Finland, 30 May-1 June 2006, " IN-CD ROM".
- [11] Metzen, Pedersen, Sonntag. "Extending the CEN calculation model for sound transmission in buildings to heavy double walls as separating and flanking walls". *Forum Acusticum, Sevilla, 2002*.
- [12] Rodríguez-Molares, A.; Sobreira-Seoane, M.A. "Determination of vibration reduction index by numerical calculations". *Proceedings Euronoise 2009*. Edimburgh.
- [13] Nielsen, J.R.; Rindel, J.H.; Mortensen, F.R. "Subjective Evaluation of Noise from Neighbours – With Focus on Low Frequencies", Pilot project, Publication n. 52, 1998, Department of Acoustic Technology, Technical University of Denmark.
- [14] Mortensen, F.R. "Subjective Evaluation of Noise from Neighbours – With Focus on Low Frequencies", Main project, Publication n. 53, 1999, Department of Acoustic Technology, Technical University of Denmark.