

## VERIFICACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE CALIDAD ACÚSTICA EN EDIFICACIÓN MEDIANTE SOFTWARE

PACS: 43.55.Rg

Cástor Rodríguez Fernández  
Sound of Numbers, S.L.  
Av. Peregrina 21 P92A Bertamiráns  
15220 Santiago de Compostela – A Coruña  
+652770034 - castor@soundofnumbers.net

### Abstract

In several European countries, besides having minimum acoustic insulation requirements for buildings, they also have classification schemes for building acoustic quality. According to the acoustic performance of the building, a dwelling can get a classification. In this article it is presented a tool that provides the ability of determining the acoustic classification of an entire building, in any of the classification schemes, even optimizing and reviewing the acoustic performance. This software uses the computation method described in EN12354 norm, and also provides a tool for a subjective evaluation of the acoustic quality: 3D auralization.

### 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 alcanzados, una vivienda podrá obtener una clasificación determinada. 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, incluso revisando y optimizando el comportamiento acústico. El software presentado utiliza el método de cálculo descrito en la familia de normas EN12354 y además aporta una herramienta de evaluación subjetiva de la calidad acústica: la auralización 3D.

## 1 INTRODUCCIÓN

En este artículo se actualiza el análisis realizado en [1] con las nuevas funcionalidades del software SONarchitect.

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. Existe 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 [2] a [5] 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).

SONarchitect [7], permite el cálculo de las prestaciones acústicas de todo un edificio mediante los métodos descritos en la familia de normas EN 12354. El tiempo de cálculo 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. El software, además, incluye una herramienta de auralización en 3D 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.

## 2 REVISIÓN GENERAL DEL CÁLCULO AUTOMÁTICO MEDIANTE EN12354

SONarchitect 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 EN12354, partes 1, 2, 3, 4 y 6 (ISO 15712) Los cálculos se efectúan a partir de los planos del edificio sin la necesidad de aplicar restricciones geométricas.

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.

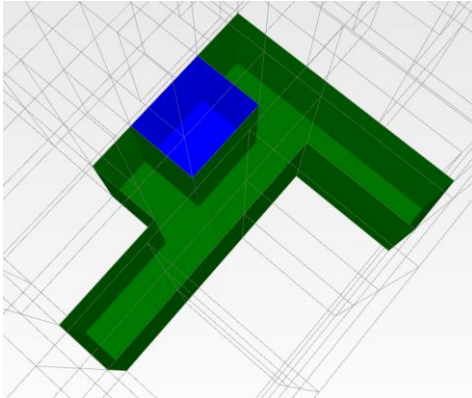


Figura 2 - Geometría recintos SONarchitect

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 estos 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 [8] analiza el impacto que tienen sobre los resultados de cálculo, las aproximaciones y simplificaciones que el usuario debe realizar durante el proceso de modelado. 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

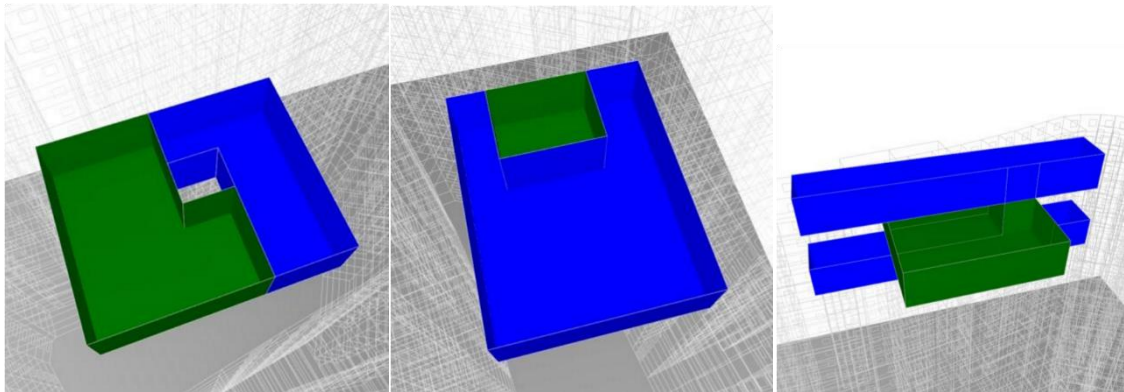


Figura 1 - Ejemplos de geometrías donde no puede utilizarse el modelo de cajas

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 puede conducir a errores en la estimación del aislamiento. En la figura, se muestran dos recintos que comparten tres 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.

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.

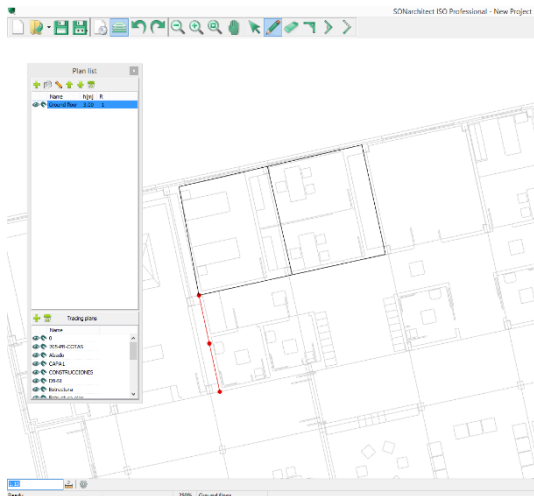


Figura 3 - Trazado sobre DXF

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,...). Es decir, SONArchitect selecciona automáticamente el índice de reducción vibracional, Kij, 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 [12]. Actualmente se están desarrollando y validando nuevas expresiones mediante la utilización de elementos finitos [13]. La única información adicional necesaria para la perfecta definición de uniones, son las juntas elásticas. 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.

Los materiales constructivos se seleccionan de la base de datos, Figura 5, donde se incluyen más de 2000 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 par la predicción del aislamiento, incluidas en el apéndice B de la norma EN 12354-1, apéndice C de la EN 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.

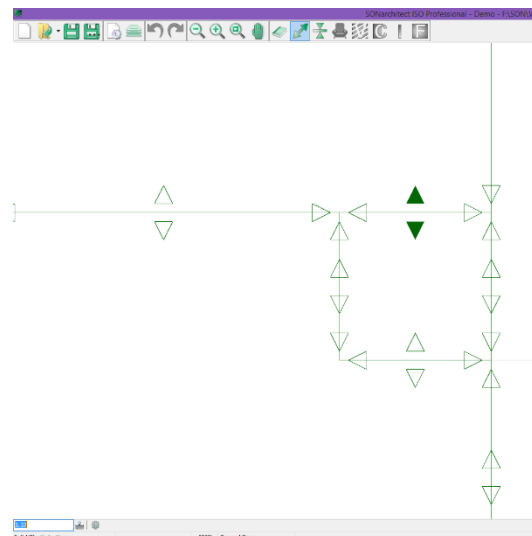


Figura 4 - Definición e uniones elásticas

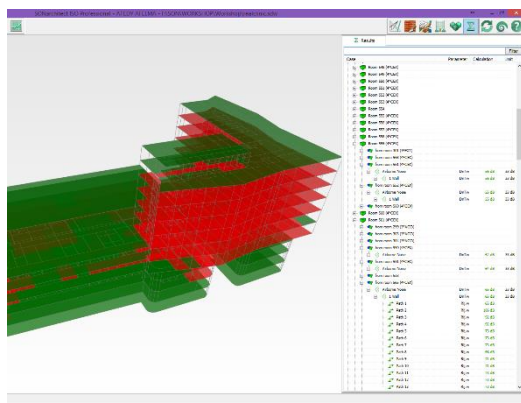


Figura 5 - Árbol de resultados

Los cálculos del aislamiento *in-situ* se presentan en un árbol de resultados, tal como indica la Figura 5. 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 los requisitos y límites de aislamiento son totalmente configurables). El programa además asigna color rojo a las vías de transmisión que lastran el cumplimiento de los requisitos, y naranja a los susceptibles de cambio, permitiendo localizarlas con rapidez dentro del árbol de resultados.

Además de los resultados de aislamiento según las partes 1, 2 y 3 de la norma EN 12354, el programa calcula la radiación hacia el exterior de los recintos clasificados como ruidosos, es decir, la parte 4 de la norma. Para ello, previamente el usuario deberá indicar los valores de presión sonora máxima en el interior del recinto (Figura 6). Poniendo en práctica el Anexo E, se pueden estimar los niveles de presión sonora exteriores.

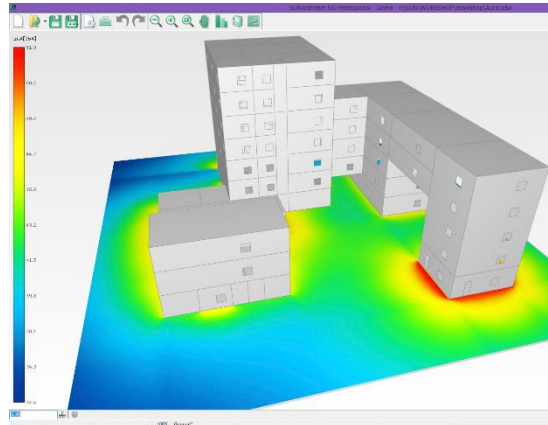


Figura 6 - Nivel de presión sonora exterior

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, pudiendo también incluir ficheros propios. En la Figura 8 se presenta el entorno 3D de escucha, en el que el usuario se puede desplazar por ambos recintos y apreciar las diferencias, puesto que posee procesado binaural. Puede además observarse en la Figura 7 que 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.

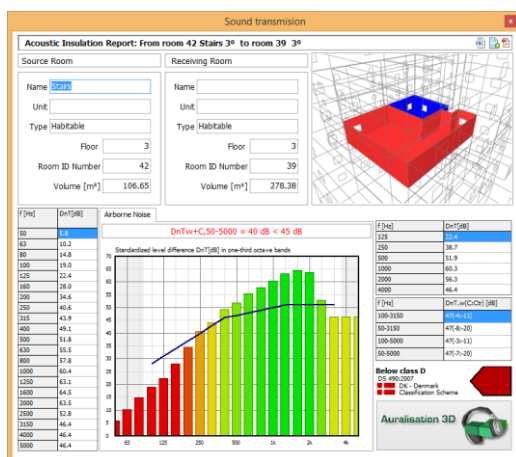


Figura 7 - Ficha de resultado con clasificación

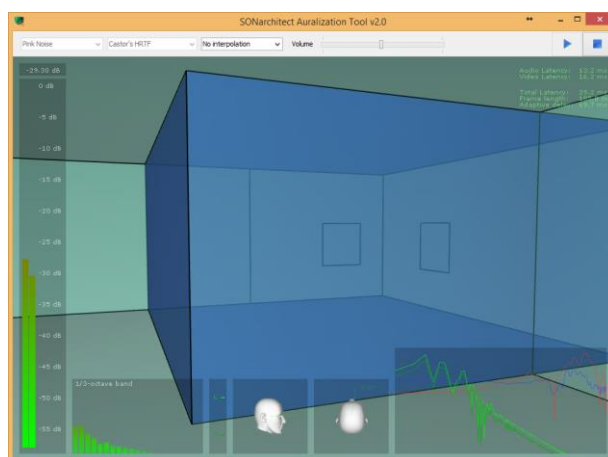


Figura 8 - Entorno de Auralización 3D

### 3 CLASIFICACIÓN ACÚSTICA DE EDIFICIOS: OPTIMIZACIÓN

El objetivo del establecimiento de un esquema de clasificación es el de garantizar unos niveles de confort acústico determinado, en función de la clase. La definición de las clases más elevadas debería ir orientada 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. 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.

Los esquemas de clasificación se aplican a cada par de recintos. 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? ¿Cómo asignar una etiqueta acústica a un edificio? ¿Hay algún interés en este proceso?

Un esquema de clasificación acústica resulta de interés sólo si implica una globalidad, de nada sirve que nos digan que un electrodoméstico tiene un determinado consumo en sólo uno de sus componentes, y no en otros. En edificación ocurre lo mismo con la eficiencia energética, no se analiza sólo una habitación, sino toda la vivienda. Llevando esta filosofía al aislamiento acústico, es necesario elevar el esquema de clasificación hasta el nivel de vivienda.

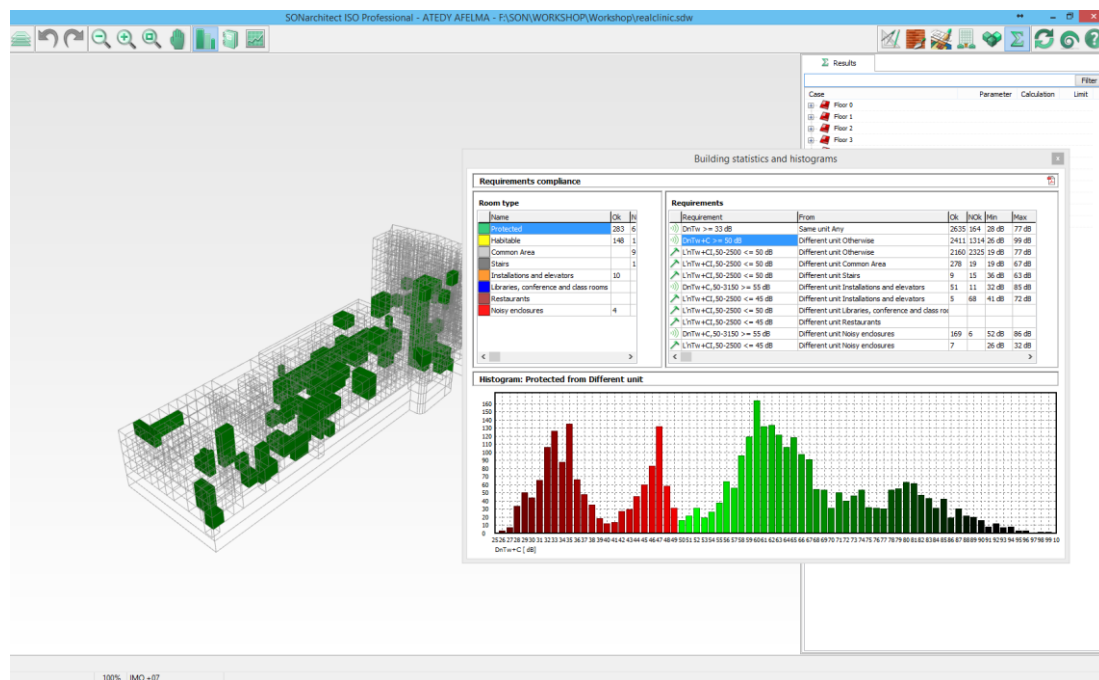


Figura 9 - Histogramas interactivos

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 parámetros de un proyecto. En la Figura 9 se muestra el histograma correspondiente al aislamiento 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. Con SONarchitect se facilita enormemente la tarea de la optimización, ya que los histogramas que se obtienen son interactivos, pudiendo así saber qué grupos de recintos están situados en qué valor de aislamiento, aplicando mejores soluciones a los aislamientos más pobres, y soluciones más pobres a los aislamientos más fuertes. Llevando a cabo iteraciones que sigan este mecanismo, se puede optimizar el comportamiento acústico de todo un edificio, sintonizando la forma del histograma según la calidad acústica deseada.

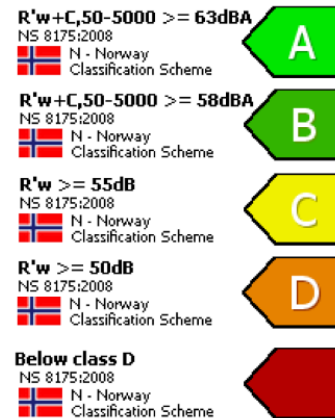


Figura 10 - Esquema de clasificación Noruego

La Figura 10 muestra una propuesta de etiquetado atizado por SONarchitect adaptado al esquema de clasificación noruego. Ahora faltaría la definición estadística de clasificación acústica. Si el 98% de los pares de recintos de una vivienda cuentan con un aislamiento acústico de clasificación A, ¿quiere decir eso que esa vivienda sólo puede optar a una clasificación inferior? Se plantea aquí la posibilidad de definir calidad en términos estadísticos, para eso habría que redefinir los parámetros de calidad acústica, así como sus clases.

#### 4 CONCLUSIONES

En este artículo se ha discutido el entorno de los esquemas de clasificación acústica. Se han revisado las características de SONarchitect y la inclusión de nuevas herramientas para la verificación del confort acústico: 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 y la optimización de la calidad acústica del edificio como conjunto.

#### REFERENCIAS

- [1] Rodríguez Fernández, C., Rodríguez Molares A., Martín Herrero, J. y Sobreira Seoane, M: Sistema para la verificación de la calidad acústica en edificios: SONarchitect. Tecniaacústica León 2010
- [2] Rasmussen, B.; Rindel JH. Concepts for evaluation of sound insulation of dwellings- from chaos to consensus?. Proceedings Forum Acusticum 2005. Budapest, "IN- CDROM"
- [3] 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

- [4] Rasmussen, B. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe. Applied Acoustics, Volume 71, Issue 4, April 2010, Pages 373-385
- [5] 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.
- [6] Espinel Valdivieso, A.; Iguadolor Pascual, Fernando; Frias Pierrad, Juan. Proposal of acoustic classification scheme in Spain. Proceedings INTERNOISE 2010, Lisboa, Portugal, Junio 13-16. IN CD-ROM.
- [7] 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.
- [8] Christian Simmons. Reproducibility of measurements with ISO 140 and calculations with EN 12354. NT Technical Report. ISSN 0283-7234
- [9] 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)
- [10] Rindel JH. Acoustic quality and sound insulation between dwellings. J Build Acous 1999;5:291–301.
- [11] 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”.
- [12] 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.
- [13] Rodríguez-Molares, A.; Sobreira-Seoane, M.A. “Determination of vibration reduction index by numerical calculations”. Proceedings Euronoise 2009. Edimburgh.
- [14] 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.
- [15] 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.