



ELABORACIÓN DEL PLAN DE MUESTREO EN EDIFICACIÓN MEDIANTE EL CÁLCULO AUTOMÁTICO DEL AISLAMIENTO ACÚSTICOS DE UN EDIFICIO COMPLETO

pacs: 43.55.Rg

Manuel A. Sobreira-Seoane¹, Alfonso Rodríguez Molares
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones. Grupo Sonitum ®
E.T.S.I. de Telecomunicación, Universidad de Vigo
Campus de la Universidad de Vigo,
36200 Vigo
email: ¹ msobre@gts.tsc.uvigo.es; ² amolares@gts.tsc.uvigo.es

ABSTRACT

In this paper, a software tool to calculate the acoustic insulation of a full building is presented. It allows identifying those pairs of rooms having the minimum value of acoustic insulation (airborne, impact and façade), so an efficient sampling planning can be designed, if a verification of the fulfilment of the established requirements at the CTE DB-HR is required. The calculations based on the family of standards UNE 12354, have been validated with a real building. The results and the sampling planning developed are also presented.

RESUMEN

En la esta comunicación se presenta una herramienta que permite calcular el 100 % de todos los recintos de un edificio de forma automática, de forma tal que se puede localizar aquellos pares de recintos que "a priori" (antes de acometer el ensayo) son candidatos a presentar las peores prestaciones acústicas. Se presenta una aplicación de esta herramienta en un caso real, presentando una comparación de los resultados de cálculo con los valores procedentes de la verificación in-situ. Finalmente se propone un esquema de plan de muestreo para la declaración del cumplimiento de las especificaciones del CTE en un edificio completo.

INTRODUCCIÓN

La herramienta oficial de cálculo que da soporte a la opción general del CTE DB-HR, incluye multitud de hojas Excel que permiten calcular el aislamiento acústico de un par de recintos teniendo en cuenta la casuística geométrica del encuentro entre ambos. Contiene or tanto casos para 4 aristas coincidentes, tres aristas coincidentes... Tanto para transmisión

vertical como para transmisión horizontal. Para dar conformidad a un proyecto debería seleccionarse los casos peores para proceder al cálculo. El sentir general es que los recintos con 4 aristas coincidentes suelen comportarse peor que otras casuísticas que tienden a tener mayor aislamiento, si bien este hecho no es siempre cierto y encontrar el “caso peor” a menudo, además de mucho conocimiento técnico requiere de cierto grado de inspiración del que no siempre se dispone. Basta un simple ejemplo para ilustrar esta afirmación. Tomemos como referencia el ejemplo del anexo H de la norma UNE-EN 12354-1. Si mantenemos la solución constructiva que proporciona el texto de la norma y transformamos la geometría en la forma que indica la figura 1, manteniendo el volumen de los recintos, llegamos a que en este caso el tabique separador tiene un $D_{nT,A}$ de 53 dBA, frente a los 54 dBA del caso de cuatro aristas coincidentes. Esta diferencia se debe a que la transmisión Flanco-flanco a través de la pared interior (con bandas elásticas) es más robusta, al atravesar dos bandas en lugar de una única banda en el caso de la figura 1b). Sirva este caso como ilustración de que algo que parece una “verdad” universalmente reconocida, recogida en algunas publicaciones, puede no serlo tanto y que la identificación del caso peor no es una tarea trivial especialmente en aquellas situaciones donde se utilizan bandas perimetrales elásticas. En la referencia [4] se realiza un análisis detallado de las situaciones en las que el “lado de la seguridad” no se decanta por el cálculo de un par de recintos que comparten todas sus aristas, y del error cometido cuando se toma erróneamente esta decisión. Esta dificultad de establecer con certeza “el caso peor”, incrementa el interés del desarrollo de una herramienta *fiable* que sea capaz de realizar de forma automática el cálculo del 100 % de los pares de recintos de un edificio, garantizando así el cumplimiento íntegro, en fase de proyecto, de los requerimientos del DB HR.

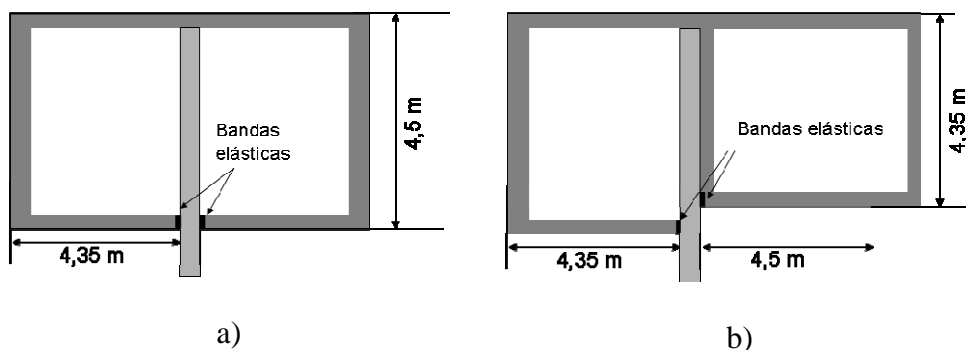


Figura 1. Modificación del ejemplo del anexo H la norma EN 12354-1 de 4 aristas coincidentes a 3 aristas coincidentes.

El mismo problema que aparece a la hora de dar conformidad a un proyecto en la fase de cálculo, surge cuando se plantea una campaña de medidas: ¿en qué pares de recintos se debe acometer las medidas? ¿Cómo debe establecerse el plan de muestreo para que este sea representativo de las prestaciones acústicas del edificio completo? No existe respuesta única a estas cuestiones, si bien disponer de una aproximación a algunas de las posibles respuestas adecuadas es de gran importancia, sobre todo si además se tiene en cuenta que en la nueva definición de alcances de la Entidad Nacional de Acreditación (E.N.A.C.), se acredita el “muestreo de elementos constructivos” como tarea independiente del ensayo. Un laboratorio que pretenda dar conformidad a un edificio completo bajo acreditación, debe tener acreditada su competencia técnica en el muestreo.

A la hora de establecer las mediciones además debe tenerse en cuenta que el factor “puesta en obra” introduce una contribución adicional a la incertidumbre asociada a la verificación del aislamiento “in-situ”. Este comportamiento del aislamiento acústico, donde el valor “in-situ” no sólo depende del factor “puesta en obra” si no también de la naturaleza de los flancos que acompañan a los elementos divisorios y al tipo de geometría del par de recintos,

debe tenerse en cuenta a la hora de establecer un plan de muestreo. La recomendación de muestrear un número mínimo de viviendas, únicamente responde a un muestreo del factor “puesta en obra” que no garantizaría en todo caso que el total del edificio cumple con las exigencias del DB HR. Si el muestreo se centra en aquellos recintos que a priori tienden a tener el menor aislamiento posible, la probabilidad de tener algún recinto no comprobado con aislamiento menor a los verificados se reduce drásticamente.

En los siguientes apartados se presentará una herramienta que calcula de forma eficiente el aislamiento acústico a ruido aéreo, impacto y fachada del 100% de los pares de recintos de un edificio, permitiendo además identificar de forma clara la ubicación de los recintos que presentan el peor aislamiento posible. El software ha sido validado en obra real y sigue la misma filosofía de interpretación de las normas de cálculo de la familia UNE EN-12354 [1] que la herramienta oficial de cálculo. Se han realizado algunas extensiones en el método de cálculo, especialmente en lo relativo a mejoras de los Coeficientes de Reducción Vibracional, K_{ij}

SOFTWARE PARA CÁLCULO AUTOMÁTICO DE AISLAMIENTO ACÚSTICO EN EDIFICIO COMPLETO: SONArchitect®

El objetivo de SONArchitect® es facilitar la realización del proyecto de aislamiento acústico, verificando el cumplimiento de los requerimientos del CTE DB HR, utilizando para ello la opción general de cálculo detallada en el documento, que coincide con método simplificado desarrollado en la familia de normas UNE-EN 12354-1. Internamente, el software está organizado en un intérprete geométrico, un motor de cálculo acústico y una base de datos que contiene los datos acústicos de los elementos constructivos (los procedentes del catálogo oficial de elementos constructivos y las bases de datos de ATEDY/AFELMA y de la empresa alemana BSW).

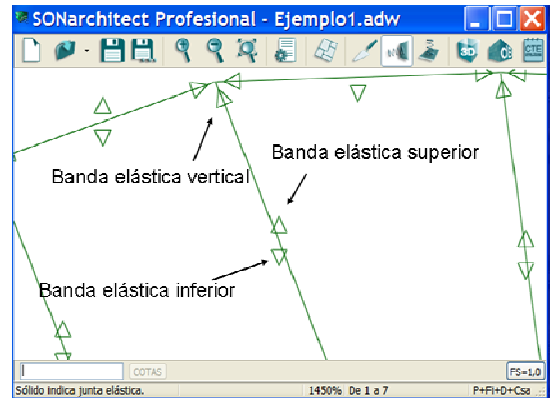
Introducción de datos en SONArchitect

La interfaz gráfica permite introducir de forma sencilla y sin restricciones (en cuanto a la forma de dibujar, orden de nodos, etc) la planta del edificio. Se puede importar un fichero en formato “.dxf”, que serviría como plantilla para dibujar sobre ella el “plano acústico” (ver figura 2a), donde algunos aspectos de la geometría deben simplificarse (columnas, shunts, bajantes, etc). El programa permite replicar completamente las plantas que tienen idéntica distribución o añadir nuevas plantas con solución constructiva o distribuciones diferentes, como suele suceder con los aprovechamientos bajo cubierta y la planta baja donde se ubicarán bajos comerciales o locales de actividad. La figura 2 ilustra de forma muy esquemática la introducción de datos en SONArchitect:

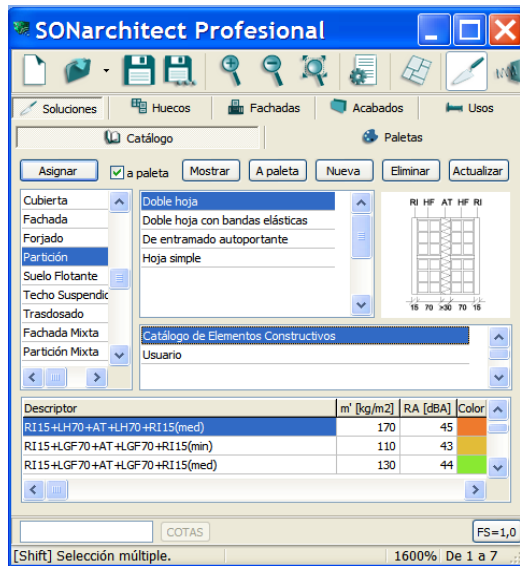
- Se introduce la geometría de la planta del edificio mediante una herramienta de dibujo, que permite utilizar como plantilla un fichero en formato “.dxf” importado.
- Se seleccionan las uniones en las que existen bandas elásticas. El triángulo hacia arriba indica banda perimetral en entre un elemento vertical y el forjado superior. En los encuentros con otros paramentos puede seleccionarse del mismo modo la existencia de bandas elásticas.
- Se asignan los elementos constructivos correspondientes a fachadas, forjados y elementos verticales.
- Se definen las unidades de uso y el tipo de recinto en función de la clasificación que proporciona el CTE DB HR. Si se asignan letras a cada unidad de uso de la misma forma que el edificio real, en la fase de análisis será sencillo ubicar los recintos, ya que el programa al replicar plantas les añade el número correspondiente, generando así las unidades 1ªA, 2ªA, etc.
- Finalmente se obtiene la geometría del edificio en 3D, que será verificada y rastreada por el intérprete geométrico.



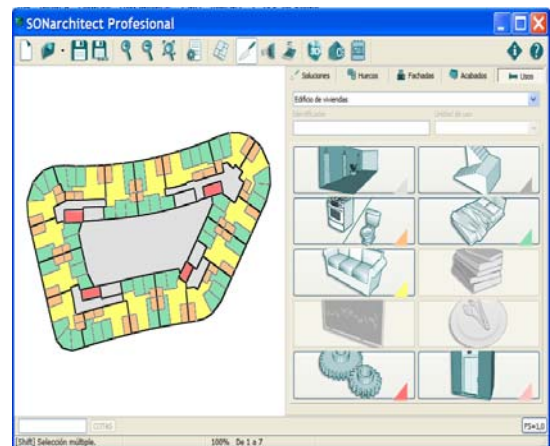
a)



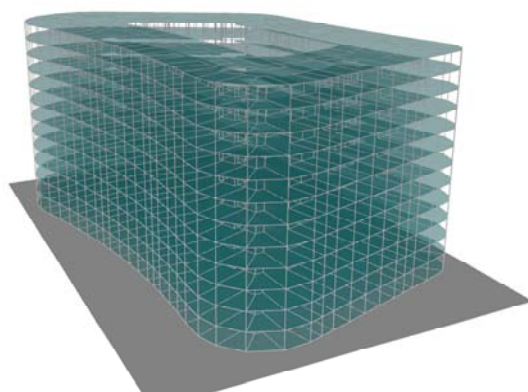
b)



c)



d)



e)



f)

Figura 2. Proceso de introducción de datos en Sonarchitect®.

El Proceso de Cálculo

El procesador geométrico, una vez introducida la geometría identifica todos los pares de recintos adyacentes en el edificio, estableciendo una estructura en árbol que permite identificar todas las vías de transmisión asociadas. El procesador detecta también si un encuentro entre paramentos conforman una unión tipo “T” o tipo “+”, pasando esta información al motor acústico. Finalmente, será el motor acústico el que decida de forma automática cómo calcula el índice de reducción vibracional asociado a cada vía de transmisión aplicando la ecuación y el modelado adecuado a cada configuración. Además de las ecuaciones de la norma, se han elaborado nuevas ecuaciones a partir de mediciones de Kij realizadas en modelos a escala y a cálculos realizados mediante métodos numéricos (FEM). Mientras en [5] se exponía la metodología y la verificación de los Kij de la norma, en la referencia [6] se describe en detalle el método utilizado para la determinación de nuevas Kij. Algunas de las Kij no contempladas por las normas y recogidas por el programa son:

- Uniones en cruz entre tabiquería simple y paredes dobles (por ejemplo las que se dan a menudo entre la tabiquería interior y la pared divisoria entre unidades de uso).
- Uniones entre paredes dobles
- Uniones entre paredes dobles y forjados, tanto con bandas perimetrales elásticas como en apoyo rígido.
- Diferentes uniones con fachadas de doble hoja.

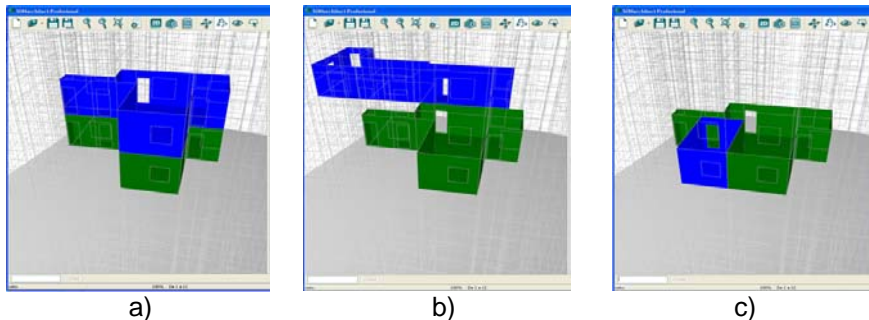


Figura 3. Detección de recintos: a) superpuestos, b) compartiendo arista, d) adyacentes.

Se debe destacar que en ningún momento el usuario debe tomar la decisión sobre el tipo de unión, ya que el motor de cálculo detecta automáticamente la tipología de la unión en función de la geometría y la solución constructiva adoptada. La figura 3 muestra como ejemplo cómo el programa encuentra todos los recintos adyacentes, incluso los recintos que únicamente comparten una arista en el caso de recintos protegidos, donde también aplica el requerimiento de aislamiento a ruido de impacto (ver figura 3 b). El programa permite en cada caso identificar las contribuciones de cada vía de transmisión.

DISEÑO DE UN PLAN DE MUESTREO Y VALIDACIÓN.

Para la validación y verificación de la calidad acústica se seleccionó un edificio de protección oficial, promovido por el Instituto Gallego de la Vivienda y Suelo –IGSV – de la Xunta de Galicia. Se trata de un edificio de 12 plantas con bajos comerciales, con 16 viviendas por planta, distribuidas en 4 grupos, con acceso por portales independientes (4 viviendas por portal), lo que hace un total de 192 viviendas. Por tipología de recintos, la promoción contiene 4 recintos de instalaciones (uno por escalera), 96 zonas comunes, 564 recintos habitables, 612 dormitorios y 192 estancias. Para la identificación de los recintos se utilizará la letra de la vivienda conjuntamente con el portal correspondiente, que genera automáticamente el programa si la asignación de unidades de uso es coherente con la asignación de letras en la

obra real. La verificación del 100% del edificio, requiere la comprobación de 919 segmentos de fachada, 2498 elementos de separación con recintos habitables, 8343 elementos de separación con protegidos, 65 protegidos elementos de separación entre protegidos y recintos de instalaciones. En total, se necesitará la aplicación del método general de cálculo a un total de 11825 particiones, cálculos que SONarchitect realiza en apenas 2 segundos.

Datos de Entrada

La geometría del edificio se introdujo a partir de los planos en formato “dxf”. Los elementos constructivos utilizados son:

- Elementos verticales:
 - Separación de viviendas en el mismo portal: medio pié de ladrillo semimacizo, trasdosado por ambas caras con 40 mm de lana mineral y placa de yeso laminado de 15 mm.
 - Entre viviendas de portales diferentes: doble tabicón de ladrillo hueco doble especial divisiones, con placa de 20 mm de poliestireno expandido (junta de dilatación), trasdosado en el lado de las viviendas con 15 mm de lana mineral y placa de yeso laminado de 15 mm.
 - Entre vivienda y zonas comunes, medio pié de ladrillo hueco doble especial divisiones, enfoscado hacia la zona común y hacia la vivienda trasdosado con placa de yeso laminado de 15 mm sobre 60 mm de lana mineral.
 - Entre recintos de instalaciones y viviendas: tabicón ladrillo hueco doble especial divisiones (25x8x12) trasdosado con 15 mm de lana mineral y placa de yeso laminado de 15 mm.
 - Pilares forrados con lana mineral y yeso laminado de 15 mm.
- Tabiquería interior de entramado autoportante (YL15+ 60 MW + YL15).
- Forjado reticular de 300 con solera flotante: 5 cm de losa de hormigón sobre poliestireno expandido (sin elastificar).
- Fachada: paneles de G.R.C (*Glass Reinforced Concrete*), trasdosados por El interior con 40 mm de lana mineral y doble placa de paneles de yeso de 15 mm. Ventanas sin capialzado, oscilobatientes (4+10+4 mm) de 2 metros cuadrados de superficie. Ventanas con la misma geometría en todo el edificio (ver fotografía de la figura 2 f).

De todas las soluciones se han podido encontrar datos de las prestaciones acústicas en laboratorio, excepto del suelo flotante sobre EPS. Para modelar este suelo se optó por introducir el dato del peor EEPS incluido en el catálogo oficial de elementos constructivos.

Muestreo y resultados de cálculo.

Una vez realizados los cálculos, el programa proporciona la posibilidad de generar un informe con el 100 % de los cálculos, una selección de resultados o un informe con los mínimos aislamientos calculados. Para la elaboración del plan de muestreo, por tanto, SONarchitect permite localizar aquellos elementos separadores (forjados, elementos de separación vertical y fachadas) que desde el punto de vista de la opción general de cálculo tendería a presentar el mínimo aislamiento posible. De esta forma, si el objetivo del plan de muestreo es verificar el cumplimiento de los requerimientos, la selección de las viviendas a evaluar se haría siguiendo del criterio marcado por el programa. Los documentos normativos tienden a especificar un número mínimo de ensayos (un 20 %, raíz del número de viviendas, etc.). La inclusión de la información previa que proporciona el método de cálculo de la opción general (o de las normas UNE EN 12354), permite robustecer el plan de muestreo: si parte de ese muestreo se centra en aquellos recintos que en el cálculo tienden presentar el peor comportamiento, podemos dar mayores garantías de que el edificio en su globalidad cumplirá requerimientos. Como ejemplo, se presentan las medidas realizadas en el edificio mencionado

anteriormente. La siguiente tabla, muestra la comparación de los cálculos realizados con las mediciones. En la fase de cálculos se localizaron los recintos con menor aislamiento, y se procedió a encargar el ensayo: en este caso, el par de dormitorios colindantes, pertenecientes a distintos portales, separados por la doble pared de fábrica de ladrillo con junta de dilatación (cámara rellena de EPS), que en cálculo dio 53 dBA.


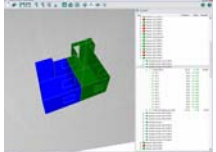

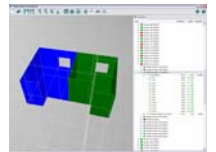

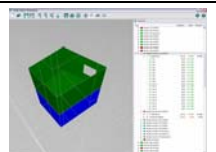

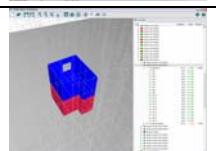

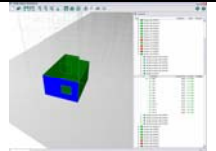

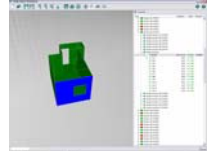
Situación en el plano	Vista en SONarchitect	Referencia	Medidas	Cálculos
		1 <i>Elemento Vertical.</i> 2ºF- (Dormitorio) 2ºG (Dormitorio) Portal 4.	$D_{nT,A} = 58 \text{ dBA}$	$D_{nT,A} = 57 \text{ dBA}$
		2 <i>Elemento Vertical</i> 2ºH- (dormitorio) Portal 4 2ºA (Dormitorio) Portal 1	$D_{nT,A} = 53 \text{ dBA}$	$D_{nT,A} = 53 \text{ dBA}$
		3 <i>Forjado</i> 2ºE- (Dormitorio) Portal 4 3ºE (Dormitorio) Portal 4.	$D_{nT,A} = 56 \text{ dBA}$ $L_{n,w} = 65 \text{ dB}$	$D_{nT,A} = 56 \text{ dBA}$ $L_{n,w} = 66 \text{ dB}$
		4 2ºH (Dormitorio) Portal 4 3ºH (Dormitorio) Portal 4.	$D_{nT,A} = 58 \text{ dBA}$ $L_{n,w} = 61 \text{ dB}$	$D_{nT,A} = 56 \text{ dBA}$ $L_{n,w} = 66 \text{ dB}$
		5 <i>Fachada</i> 2º F (Dormitorio) Portal 4	$D_{2m,nT,Atr} = 30 \text{ dB Atr}$	$D_{2m,nT,Atr} = 30 \text{ dB Atr}$
		6 <i>Fachada</i> 2º G (Dormitorio) Portal 4	$D_{2m,nT,Atr} = 30 \text{ dB Atr}$	$D_{2m,nT,Atr} = 30 \text{ dB Atr}$

Tabla 1: Comparación de resultados medidas/cálculos

La campaña de medidas fue realizada por una empresa independiente, G.O.C., que realizó los ensayos en los recintos que se le indicó en plano. A priori, en la fase de cálculos se detectó:

- La amplia dispersión de valores del aislamiento entre recintos protegidos y habitables.
- La poca variabilidad del aislamiento en fachada, debido a la uniformidad de la solución y al tamaño homogéneo de los huecos en todas las estancias.
- Un aislamiento a ruido de impacto al límite (66 dB en cálculo) debido a la utilización de EPS el lugar de EEPS en la solera flotante.

A priori, debido al factor “puesta en obra”, cabría esperar resultados ligeramente peores a los calculados. La tabla 1 muestra una gran similitud entre los resultados de las medidas y de los cálculos. Debe destacarse que el edificio en cuestión ha sido sometido a un estricto control de ejecución en obra. Las mediciones permitieron verificar que el caso peor para recintos

protegidos se situaba en los dormitorios colindantes pertenecientes a portales diferentes, presentando un valor "in-situ" de 53 dB. En cuanto a los forjados, existe una buena correspondencia en el caso de ruido aéreo. Sin embargo, al no contar con los datos de entrada adecuados de mejora a ruido de impacto de la solera flotante sobre EPS, se subestima el valor de ruido de impacto. Ha sorprendido el comportamiento in-situ del poliestireno expandido sin elastificar. En cuanto a la fachada, la predicción y el cálculo son coincidentes, especialmente debido a que este edificio es un tanto peculiar: superficies de ventanas homogéneas, de pequeña superficie. Eso limita la posibilidad de pérdidas de aislamiento a través de la carpintería.

Con los resultados obtenidos, centrandolo en los casos peores, podemos afirmar que el edificio en cuestión cumple con los requisitos del CTE DB HR.

Cabe destacar que SONarchitect proporciona la función de distribución de todos los recintos y una propuesta de clasificación acústica del edificio basado en los estándares nórdicos [7-8], que no se ha incluido en este artículo ya que está en espera de la posible definición de un nuevo esquema de calificación acústica.

CONCLUSIONES Y AGRADECIMIENTOS

Se ha presentado una herramienta software que permite el cálculo del aislamiento acústico 100 % de los recintos de un edificio mediante la opción general de cálculo del CTE DB HR, tanto para ruido aéreo entre recintos, fachadas y ruido de impacto.

Se ha presentado el resultado del muestreo efectuado sobre un edificio de viviendas de protección oficial de la Xunta de Galicia, mostrando una excelente correlación entre los cálculos y las mediciones realizadas en la promoción por la empresa G.O.C. El criterio para la selección de recintos y la elaboración del muestreo ha sido tomar los casos peores indicados y localizados por el software.

Los autores agradecen la colaboración de la empresa G.O.C en la realización de las medidas. Así mismo debemos destacar la excelente disposición de la Xunta de Galicia al proporcionar toda la información solicitada y al haber concedido el permiso para divulgar los resultados.

REFERENCIAS

- [1] UNE-EN 12354-parte 1. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico a ruido aéreo entre recintos
- [2] UNE-EN 12354-parte 2. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impactos entre recintos.
- [3] UNE-EN 12354-parte 3. Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 3: Aislamiento acústico a ruido aéreo contra el ruido del exterior.
- [4] A. Molares, Manuel A. Sobreira, T. Carrascal, A. Romero y J. A. Tenorio. "Análisis De La Casuística Derivada De La Aplicación Del CTE". Actas de Tecniacústica 2008-Coimbra.
- [5] A. Molares, Manuel A. Sobreira. "Resultados Previos En La Simulación Numérica De Elementos De La Construcción". Actas de Tecniacústica 2008-Coimbra.
- [6] A. Molares, Manuel A. Sobreira. "Determination of vibration reduction index by numerical calculations". Pendiente de publicación de los proceedings de Euronoise 2009.
- [7] DS 490, 2001, "Lydklassifikation af boliger". (Sound classification of dwellings), Denmark.
- [8] NS 8175:2005, "Lydforhold i bygninger, Lydklassifisering av ulike bygningstyper" (Sound conditions in buildings - Sound classes for various types of buildings), Norway.