

PROYECTO BALI. INNOVACIÓN EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS DE ALTAS PRESTACIONES ACÚSTICAS, APLICABLES A OBRA NUEVA Y REHABILITACIÓN

PACS: 43.55.Ti

Ainchil Lavín, Javier Pablo¹; Arrechea Veramendi, Fernando¹; Arines Rodríguez, Susana²; Cortés Liendo, Azucena²

¹FCC Construcción

Avda. Josep Tarradellas 123-127, 7º Planta. 08029 Barcelona

Tel: +34 933 634 550. Fax: +34 934 102 087

E-mail: JAinchil@fcc.es; FARRECHEA@fcc.es

²TECNALIA. Unidad de Construcción

Parque Tecnológico de Bizkaia

C/ Geldo, Edificio 700. 48160 Derio

Tel: 902 760 000. Fax: +34 946 430 850

E-mail: susana.arines@tecnalia.com; azucena.cortes@tecnalia.com

ABSTRACT

This communication presents the conclusions of BALI Project, where new products and building systems with high acoustic performance and direct application to building construction (new construction and rehabilitation), have been designed.

The industrial participants were: FCC, Grupo Ortiz, EMVS, Hispalyt, Indagsa, Preinco, Grupo Saint-Gobain, Estrumaher, Tecair, Espinet-Ubach, Cype and IDEC. The universities and technological centres: IETCC, TECNALIA, UPM Grupo Tise, Universidad San Pablo CEU, Intromac and AITEMIN.

Information / results shown in this communication are the result of the researching work carried out under BALI PROJECT partially funded by the MINISTRY OF SCIENCE AND INNOVATION (MICINN) and EUROPEAN REGIONAL DEVELOPMENT FUND (FEDER). The mentioned results are then the exclusive property of entities that generated such these results.

RESUMEN

En esta comunicación se presentan las conclusiones del Proyecto Singular Estratégico BALI, a través del cual se han diseñado nuevos productos y sistemas constructivos de altas prestaciones acústicas con aplicación directa y específica en la construcción de edificios, obra nueva y rehabilitación.

Entre los participantes Industriales figuran FCC, Grupo Ortiz, EMVS, Hispalyt, Indagsa, Preinco, Grupo Saint-Gobain, Estrumaher, Tecair, Espinet-Ubach, Cype e Idec. Como Universidades y Centros Tecnológicos participan el IETCC, TECNALIA, UPM Grupo Tise, Universidad San Pablo CEU, Intromac y Aitemin.

La información/resultados que se exponen en la presente comunicación son fruto de los trabajos de investigación realizados en el marco del Proyecto BALI, financiado parcialmente por el Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) y Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) dentro del programa Proyectos Singulares Estratégicos. Dichos resultados son, pues, propiedad exclusiva de las entidades que generaron dicha información / resultados en el ámbito del Proyecto BALI.

INTRODUCCIÓN

El ruido, cotidiano y tradicionalmente aceptado en nuestra sociedad, especialmente en nuestro país, ha empezado a considerarse socialmente como una fuente importante de posibles trastornos para la salud. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), España es el segundo país del mundo en producción de ruido. Este hecho, unido a la reciente entrada en vigor del DB HR-CTE Documento Básico de Protección frente al Ruido del Código Técnico de Edificación, donde se introducen unos mínimos más exigentes en cuanto al aislamiento acústico en edificios, hace que sea necesario promover actividades de desarrollo tecnológicas enfocadas, que permitan obtener nuevos productos y herramientas que resuelvan la problemática planteada.

En este contexto nació en 2009 el **Proyecto Singular Estratégico BALI *Building Acoustics for Living***, a través del cual se han diseñado nuevos productos y sistemas constructivos de altas prestaciones acústicas que tienen aplicación directa y específica en la construcción de edificios, así como en su diseño integral, sin descuidar otros requisitos de producto.

En el proyecto se han abordado diferentes líneas de investigación, de acuerdo a diversas tipologías de producto, buscando la innovación tanto en materiales y sistemas ya tradicionales como en otros de más reciente aplicación en el sector de la construcción. Se ha estructurado a través de 6 subproyectos (SP), que a su vez se dividen en 19 grupos de trabajo (GT) o iniciativas de I+D, mediante las cuales se trata de dar respuesta a las necesidades de producto detectadas, orientadas a obra nueva, y a la rehabilitación acústica de edificios.

Se trata de un proyecto planteado a 2 años, que puede presumir de nutrirse y beneficiarse de las experiencias, know how y recursos de un **consorcio multidisciplinar** de empresas industriales (promotoras y constructoras, fabricantes de productos, estudios de arquitectura, etc.) y centros de Investigación, todos ellos relacionados con los diferentes subsectores implicados y liderados de la mano de FCC Construcción y con el apoyo tecnológico de Tecnalia.

Entre los **Participantes Industriales** figuran FCC Construcción, Grupo Ortiz, EMVS (Empresa Municipal de la Vivienda y Suelo de Madrid), Hispalyt, Indagsa, Preinco, Grupo Saint-Gobain, Estrumaher, Tecair, el estudio de arquitectura Espinet-Ubach, Cype Ingenieros e Idec. Como **Universidades y Centros Tecnológicos** participan el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción IETcc, Tecnalia, Universidad Politécnica de Madrid Grupo Tise, Universidad San Pablo CEU, Intromac y Aitemin.

El proyecto cuenta con la financiación del **Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN)** dentro del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011, cofinanciado por el **Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)**.

NECESIDADES DE DESARROLLO DE PRODUCTOS Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto se ha estructurado en diferentes Sub _Proyectos (SP) en función de los principales focos de molestia que intervienen en el diseño integral de los edificios: el ruido de tráfico y el vecindario. En relación con estos dos tipos de fuentes sonoras el DB HR-CTE establece límites de aislamiento acústico frente al ruido procedente del exterior, y entre recintos, respectivamente.

Mediante un **estudio de viabilidad general (SP1)** se ha determinado la estructura y necesidades de mercado en el campo de la acústica de edificación. Partiendo de un análisis de quejas y reclamaciones de la ciudadanía (Figuras 1 y 2) se han obtenido las siguientes conclusiones:

- A nivel nacional, un elevado número de viviendas se encuentra afectado por la contaminación acústica. En varias comunidades autónomas, entre las que se encuentran Andalucía, Baleares y la Comunidad Valenciana, el porcentaje de viviendas afectadas supera el 25% de las muestreadas.
- Los focos de ruido más molestos son el tráfico de vehículos y los vecinos.



Figuras 1 y 2: Análisis de quejas de la ciudadanía. Fuente: INE.

Se han detectado los vacíos y oportunidades que han dado lugar a las propuestas de desarrollo y optimización de diversos productos. En la Figura 3 se recoge un esquema de la **estructura general del Proyecto BALI**, en el que se presentan las distintas iniciativas y desarrollos abordados.

Con el fin de reducir las molestias generadas por el ruido de tráfico, se debe actuar sobre la envolvente del edificio. En este sentido, se proponen desarrollos tanto en la **envolvente opaca (SP2)** como en la **envolvente acristalada (SP3)**.

Para minimizar el ruido generado por los vecinos, se propone intervenir en los sistemas de **instalaciones de los edificios (SP4)**, y en los **elementos interiores (SP5)**: paredes, forjados, etc.

Las **necesidades concretas de producto** identificadas son las siguientes:

- SP2: Envoltentes opacas de altas prestaciones acústicas, para dar respuesta a los escenarios más ruidosos. Son precisos modelos de simulación para el diseño de edificios con fachadas novedosas no tradicionales (prefabricadas, ligeras, etc.), puesto que la norma EN 12354- Parte 1⁽²⁾ únicamente presenta algoritmos específicos de simulación acústica para elementos de construcción tradicional.
- SP3: Elementos acristalados, cajones de persiana, y sistemas de ventilación integrados, de alto aislamiento acústico. Este tipo de elementos constituyen generalmente el camino de transmisión sonora más débil, cuando se encuentran integrados en la envolvente del edificio.
- SP4: Conocimiento del comportamiento acústico de los sistemas de aire y sistemas de bajantes hidráulicas. Es preciso trabajar en modelos de simulación para el diseño de los sistemas de instalaciones en el edificio en general, así como desarrollar equipamiento menos ruidoso.
- SP5: Elementos constructivos (paredes, forjados) y sistemas de mejora (suelos flotantes, trasdosados, etc.) de altas prestaciones acústicas, para dar respuesta a los requisitos más exigentes. Son precisos modelos de simulación para el diseño de edificios con elementos constructivos no tradicionales.

En todo momento se ha buscado la innovación tanto en materiales y sistemas ya tradicionales como en otros de más reciente aplicación. Se han desarrollado productos aplicables a obra nueva, y considerando la creciente evolución del mercado de la edificación hacia la renovación, se han desarrollado productos orientados a la rehabilitación de edificios.

Los resultados de los distintos subproyectos se han combinado dentro de un SP de integración (**desarrollador virtual y físico, SP6**), dentro del cual, entre otros aspectos, se han integrado los progresos y avances obtenidos en los distintos SPs en una herramienta de diseño que permite a arquitectos y proyectistas el diseño acústico de edificios en fase de proyecto.

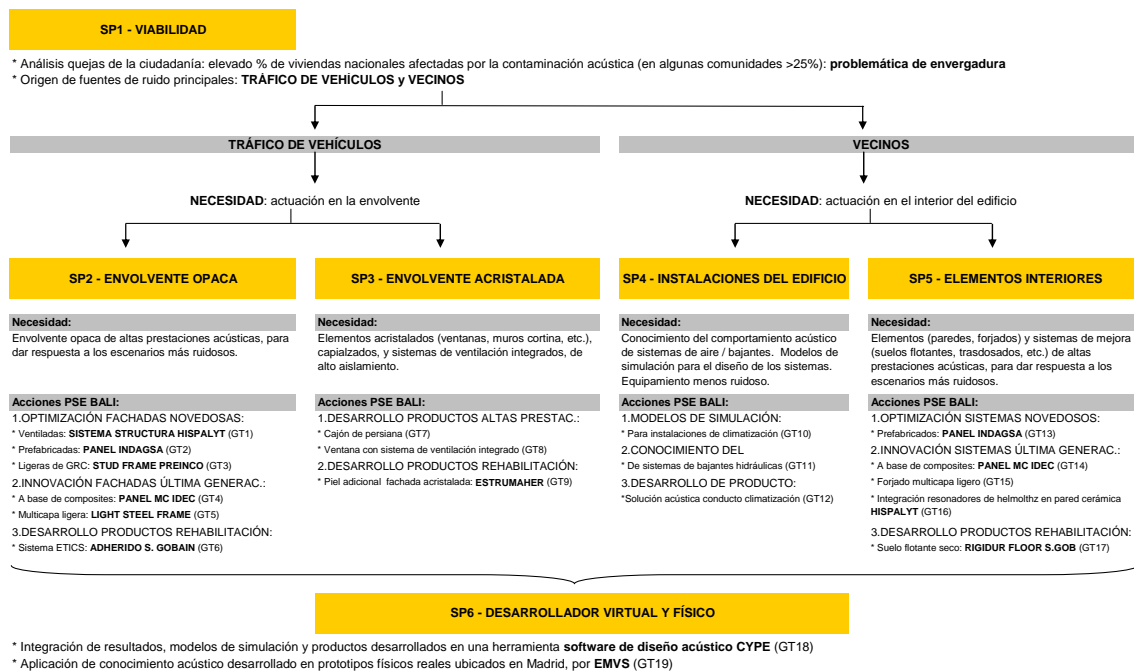


Figura 3: Estructura general del Proyecto BALI

DESARROLLOS Y MEJORAS DE PRODUCTOS

Dada la gran cantidad de empresas presentes e iniciativas de desarrollo propuestas en el Proyecto BALI, se han configurado 19 grupos de trabajo mediante los cuales se ha dado respuesta a las necesidades detectadas. Es de destacar que pese a lo nutrido del Consorcio ha sido posible alcanzar un número no desdeñable de logros.

Se han llevado a cabo las acciones que a continuación de una manera sucinta se señalan. Algunas de estas iniciativas se presentan en detalle en comunicaciones técnicas complementarias del Proyecto BALI (ver referencias).

SP2- Envoltente opaca:

- 1. Optimización de fachadas novedosas (GT1, GT2 y GT3):

Se trabajó en la composición de tres tipos de fachada no tradicionales: fachada ventilada cerámica⁽⁴⁾⁽⁵⁾, fachada prefabricada de hormigón⁽⁶⁾, y fachada ligera de GRC (microhormigón armado con fibra de vidrio)⁽⁶⁾. Se han diseñado y optimizado los detalles constructivos, con el

fin de minimizar las transmisiones sonoras directas e indirectas que se generan a través de dichas fachadas cuando se integran en el edificio.

Las tres fachadas optimizadas **permiten el cumplimiento y superación de los requisitos de aislamiento acústico exigidos en el CTE a las edificaciones más expuestas al ruido**, próximas a autopistas y aeropuertos, que presentan índices de ruido día Ld de 75dBA. Se han desarrollado modelos de simulación que permiten el diseño de edificios con estos elementos, y se han validado con ensayos in situ realizados en 3 promociones de viviendas ubicadas en Móstoles, Pinto y L'Hospitalet de Llobregat, proporcionadas por las empresas del consorcio.

▪ 2. Innovación en el desarrollo de fachadas de última generación con nuevos materiales

Los trabajos se han centrado en el desarrollo de dos productos a base de combinaciones eficientes de nuevos materiales:

- Diseño de un panel de fachada ligero a base de *composites* (actualmente utilizados en el sector de la aeronáutica), materiales reciclados, y conexiones elásticas (con el fin de evitar transmisiones sonoras entre capas) (GT4).
- Desarrollo de una fachada multicapa ligera, compuesta por light steel frame y distintas capas de materiales aislantes y absorbentes (paneles de fibra de madera, lana mineral, barrera de vapor, entre otros.) (GT5).

Los dos productos **permiten el cumplimiento de los requisitos más exigentes** establecidos en el CTE frente al ruido procedente del exterior.

▪ 3. Desarrollo de productos orientados a la rehabilitación acústica de edificios (GT6):

Los sistemas ETICS (External Thermal Insulation Composite Systems, sistemas de rehabilitación por el exterior de la fachada) se diseñan principalmente para aplicaciones térmicas, sin embargo es frecuente que su aplicación empeore el aislamiento acústico de la fachada original.

En el Proyecto BALI se ha desarrollado un sistema ETICS⁽⁷⁾ a base de lana mineral y una combinación eficaz de morteros, que optimiza el aislamiento acústico de las fachadas en proceso de rehabilitación. El sistema aporta **mejoras de aislamiento acústico 5 dB superiores a las aportadas por otros sistemas ETICS** disponibles en el mercado.

		
<p>GT1. Fachada ventilada cerámica "SISTEMA STRUCTURA". Industrial: HISPALYT (RAtr= 50dBA)</p>	<p>GT2: Panel prefabricado de hormigón macizo. Industrial: INDAGSA (RAtr= 54dBA)</p>	<p>GT3: Panel ligero de fachada de GRC "Stud Frame". Industrial: PREINCO (RAtr=51dBA)</p>

		
GT4: Panel MC de fachada base composites. Industrial: IDEC (RAtr=50 dBA)	GT5: Fachada multicapa ligera. Varios fabricantes. (RAtr=50dBA)	GT6: Sistema ETICS "adherido". Industrial: SAINT GOBAIN WEBER/ISOVER

Figura 4: Productos desarrollados en el SP2. Envoltente opaca.

SP3- Envoltente acristalada:

- 1. Desarrollo de productos de altas prestaciones acústicas:

Se han llevado a cabo dos iniciativas:

- Diseño y optimización de un cajón de persiana a base de lana mineral y otros materiales absorbentes que aportan masa al sistema⁽⁸⁾. Se han conseguido mejoras de 9dB sobre el cajón original, y niveles de aislamiento acústico de $R_{Atr} = 31\text{dBA}$ (GT7).
- Desarrollo de un panel acristalado con un sistema de intercambiadores de calor integrado. Se han conseguido niveles de aislamiento $R_{Atr} = 41\text{ dBA}$ (GT8).

- 2. Desarrollo de productos orientados a la rehabilitación acústica de edificios:

- Se ha desarrollado una piel adicional de muro cortina para la rehabilitación de fachadas acristaladas. Con esta segunda piel se consiguen mejoras de hasta 7dB sobre el muro cortina original, en función de las características del mismo. El aislamiento del muro cortina completo abatible alcanza los 41 dBA (R_{Atr}). Este producto constituye una solución idónea como alternativa a la rehabilitación acústica de edificios (GT9).

		
GT7: Cajón de persiana optimizado. Varios fabricantes. (RAtr= 31dBA)	GT8: Panel acristalado con sistema de intercambio de calor integrado. Varios fabricantes. (RAtr= 41dBA)	GT9: Piel adicional de muro cortina para rehabilitación. Industrial: ESTRUMAHER. (ARAtr=7dBA)

Figura 5: Productos desarrollados en el SP3. Envoltente acristalada.

SP4- Instalaciones del edificio:

- 1. Validación de modelos de simulación para instalaciones de climatización (GT10):

Se han verificado de forma rigurosa una serie de modelos de simulación recogidos en la reciente norma EN-12354-Parte 5⁽³⁾, actualmente en fase de validación a nivel internacional. Para ello se han realizado pruebas experimentales en un edificio de oficinas de reciente construcción ubicado en L'Hospitalet de Llobregat, facilitado por los socios del proyecto, y se han contrastado los niveles sonoros obtenidos mediante simulación, con los niveles reales

generados en el edificio. Las conclusiones y simplificaciones obtenidas se han integrado en la herramienta de diseño desarrollada dentro del SP6.

▪ 2. Conocimiento del comportamiento acústico de sistemas de bajantes hidráulicas (GT11):

Se ha caracterizado y analizado el ruido generado por la instalación de las redes de saneamiento a lo largo de sus diferentes elementos y puntos singulares (tramos verticales y horizontales, codos, etc.), mediante pruebas experimentales en una Residencia para discapacitados de reciente construcción ubicada en Barcelona, y en una promoción de edificios de viviendas localizada en Alcalá de Henares. Se ha estudiado el comportamiento real de los materiales de aislamiento acústico una vez montados en obra, y se han identificado las soluciones más eficaces dentro de las que se están adoptando, para que sirvan de apoyo en la toma de decisiones⁽⁹⁾.

▪ 3. Desarrollo de solución acústica para conductos de climatización (GT12):

Se han diseñado y caracterizado distintas soluciones de silenciadores para conductos de climatización, enfocados a minimizar el ruido aéreo en redes de climatización de edificios industrializados ligeros, priorizando parámetros de autoconstrucción. De las soluciones estudiadas más favorables se han realizado medidas experimentales en laboratorio de pérdidas de inserción.

SP5- Elementos interiores:

▪ 1. Optimización de sistemas novedosos (GT13):

Se ha trabajado en la composición de un sistema de panel prefabricado de hormigón macizo no tradicional para su uso como separación entre viviendas y zonas comunes del edificio (escaleras), y en el diseño de los detalles constructivos, con el fin de minimizar las transmisiones sonoras directas e indirectas a través del panel cuando se integra en el edificio.

El producto **permite el cumplimiento y superación de los requisitos de aislamiento acústico exigidos entre recintos en el CTE, incluso para recintos de instalaciones y actividad**. Se han desarrollado modelos de simulación que permiten el diseño de edificios con estos elementos, y se han validado a través de una campaña de medidas in situ realizadas en una promoción de viviendas ubicada en Móstoles.

▪ 2. Innovación en el desarrollo de sistemas de última generación con nuevos materiales

Los trabajos se han centrado en el desarrollo de tres productos:

- Diseño de un panel ligero para su uso como elemento de separación vertical entre viviendas, a base de *composites*, materiales reciclados, y conexiones elásticas (con el fin de evitar transmisiones sonoras entre capas) (GT14).
- Desarrollo de un forjado multicapa ligero, compuesto por light steel frame y distintas capas de materiales aislantes y absorbentes (GT15).

Ambos productos **permiten el cumplimiento de los requisitos más exigentes** establecidos en el CTE entre recintos.

- Desarrollo de un bloque cerámico con resonadores de Helmholtz integrados, con el fin de optimizar el aislamiento acústico en los rangos de frecuencia más críticos (GT16).

- 3. Desarrollo de productos orientados a la rehabilitación acústica de edificios (GT17):

A base de una combinación eficiente entre lana mineral y placas de yeso laminado de alta densidad y resistencia mecánica, se ha desarrollado un sistema de suelo flotante de construcción en seco⁽¹⁰⁾ aplicable tanto a rehabilitación de edificios como a obra nueva, que **con un espesor de 4cm, aporta mejoras elevadas a ruido aéreo y ruido de impactos** sobre los distintos tipos de forjado.

Sobre forjados normalizados de hormigón el suelo flotante aporta mejoras de 7 dBA a ruido aéreo, y 25 dBA a ruido de impactos. Sobre forjados de madera representativos de los forjados actuales a rehabilitar, las mejoras aportadas son especialmente ventajosas (entre 12-15 dBA a ruido aéreo, y 11-14 dBA a ruido de impactos, en función del tipo de forjado base).



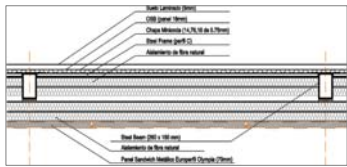


		
<p>GT13: Panel prefabricado de hormigón macizo. Industrial: INDAGSA (RA= 60dBA)</p>	<p>GT14: Panel MC de fachada base composites. Industrial: IDEC (RA=56 dBA)</p>	<p>GT15: Forjado multicapa ligero base. Varios fabricantes. (RA=58 dBA)</p>
		
<p>GT16: Resonadores de Helmholtz. Industrial: HISPALYT (RA=42 dBA)</p>	<p>GT17: Suelo flotante de construcción en seco "Rigidur floor". Industrial: SAINT GOBAIN PLACO/ ISOVER</p>	

Figura 6: Productos desarrollados en el SP5. Elementos interiores.

SP6- Desarrollador virtual y físico:

Los resultados de los distintos subproyectos se han combinado en dos iniciativas recogidas dentro de un SP de integración (SP6):

- Se han integrado los avances y nuevos desarrollos en un software de diseño (software CYPE⁽¹¹⁾), a raíz de la constante demanda por parte de arquitectos y proyectistas entorno a la disponibilidad de una herramienta de diseño acústico que permita optimizar los edificios (GT18)
- El conocimiento adquirido durante el proyecto se está aplicando en una serie de promociones de viviendas construidas en Madrid (GT19).

CONCLUSIONES

Mediante los desarrollos abordados en el proyecto se ha conseguido dar un salto relevante en la disponibilidad de soluciones arquitectónicas de altas prestaciones acústicas, cuyo comportamiento ha sido validado en demostradores experimentales y/o reales.

Se ha realizado, en base a un diagnóstico sobre confort acústico en edificios elaborado por el INE, un análisis de necesidades, en términos de prestaciones acústicas, para la mejora acústica substancial de productos de edificación de interés fabricados y comercializados por los socios industriales del proyecto. Tras el diagnóstico, se han emprendido 17 desarrollos de producto, entre los cuales existen por un lado desarrollos totalmente nuevos, y por otro aplicaciones de mejoras significativas sobre productos ya existentes.

Se ha tratado de abordar de manera global la problemática acústica y se han desarrollado consecuentemente productos orientados a obra nueva así como a la rehabilitación de edificios, considerando los distintos elementos constructivos que conforman los edificios: envolvente, elementos interiores, y sistemas de instalaciones. Asimismo, se han propuesto nuevos modelos teóricos de simulación para poder predecir el comportamiento acústico de los productos desarrollados cuando se integran en los edificios. Los desarrollos han sido validados con más de 200 ensayos in situ realizados en 8 edificios de distintos usos (residencial, oficinas y residencias) ubicados en Madrid y Barcelona.

Para la correcta implementación de resultados, los modelos y los nuevos productos se han implementado en una herramienta informática para su uso por los diseñadores de los edificios.

REFERENCIAS

- (1) www.proyecto-bali.es
- (2) Norma EN 12354- Parte 1: 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.
- (3) Norma EN 12354-Parte 5: Building acoustics - Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements - Part 5: Sounds levels due to the service equipment.
- (4) Estudio de las fugas de aislamiento en la unión fachada-ventana usando técnicas de intensidad sonora. IETcc Instituto Eduardo Torroja de la Construcción. Tecniacústica 2011.
- (5) Técnicas de medida de intensidad sonora: estudio previo de adecuación de la cámara de transmisión. IETcc Instituto Eduardo Torroja de la Construcción. Tecniacústica 2011.
- (6) La Acústica y la Industrialización. Comportamiento acústico de elementos prefabricados de hormigón en edificación. Tecnalia. Tecniacústica 2011.
- (7) Comportamiento acústico de sistemas ETICS para la rehabilitación, por el exterior, de la fachada con lanas minerales. Saint Gobain. Tecniacústica 2011.
- (8) Influencia de diferentes materiales y estrategias en el comportamiento acústico del cajón de persiana. Tecnalia. Tecniacústica 2011.
- (9) Estudio sistemático del ruido generado por la instalación de saneamiento en edificación y actuaciones de mejora. IETcc Instituto Eduardo Torroja de la Construcción. Tecniacústica 2011.
- (10) Suelo flotante de construcción en seco. Solera rigidur. Prefabricated floor element. Rigidur floor. Saint Gobain. Tecniacústica 2011.
- (11) La integración del factor acústico en el diseño óptimo de sistemas de climatización por conductos. CYPE Ingenieros. Tecniacústica 2011.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestra sincera gratitud al Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) y Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) por confiarnos el desarrollo de este proyecto.

Hacemos extensivo este agradecimiento a los socios industriales del proyecto: FCC Construcción, Grupo Ortiz, EMVS, Hispalyt, Indagsa, Preinco, Grupo Saint-Gobain, Estrumaher, Tecair, Espinet-Ubach, Cype e Idec, así como a las Universidades y Organismos de Investigación participantes por su disposición y colaboración a lo largo de todo el desarrollo del proyecto.