

LA ACÚSTICA Y LA INDUSTRIALIZACIÓN. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN EN EDIFICACIÓN

PACS: 43.55.Ti

Arines Rodríguez, Susana; Fuente González, Marta; Pérez Abendaño, Mariana; Melián Hernández, Amabel
TECNALIA. Unidad de Construcción
Parque Tecnológico de Bizkaia, C/ Geldo, Edificio 700.
48160 Derio
Tel: +34 902 760 000.
Fax: +34 946 430 850
E-mail: susana.arines@tecnalia.com; marta.fuente@tecnalia.com;
mariana.perez@tecnalia.com; amabel.melian@tecnalia.com

ABSTRACT

To ensure the requirements of the Spanish technical building code in acoustics design (DB HRCTE), a predictive design of the acoustic behaviour of the building in the planning stage is required. Standard EN 12354 for prediction of acoustic performance of buildings, allows the design of buildings constructed with traditional building elements. To obtain more accurate predictions when industrialized systems are used (systems which are not covered in the standard EN12354), a researching project was conducted by manufacturers of industrial systems (precast concrete panels and lightweight façades made of GRC – glass reinforced concrete). The results are presented in this communication. Information / results shown in this communication are the result of the researching work carried out under BALI PROJECT⁽¹⁾ 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

Para garantizar las exigencias del Documento Básico de Protección Frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación DB HR-CTE, se requiere un diseño predictivo del comportamiento acústico del edificio, en fase de proyecto. La Norma EN 12354, de predicción del comportamiento acústico de edificios, permite el diseño de edificios construidos a base de elementos constructivos tradicionales.

Con el fin de obtener predicciones más precisas cuando se utilizan sistemas industrializados no tradicionales, no contemplados específicamente en la Norma EN12354, se ha llevado a cabo un proyecto de investigación por parte de dos fabricantes de sistemas industrializados: paneles prefabricados de hormigón macizo y fachadas ligeras de GRC, cuyos resultados se presentan en esta comunicación.

La información/resultados que se exponen en la presente comunicación son fruto de los trabajos de investigación realizados en el marco del Proyecto BALI⁽¹⁾, financiado 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

La tendencia actual en el sector de la construcción es que el mercado está aumentando su enfoque hacia los **sistemas de construcción industrializada**: prefabricados de paneles de hormigón, materiales compuestos, paneles sándwich, y sistemas ligeros combinando varias capas de materiales.

Este tipo de sistemas presentan una serie de ventajas entre las que se encuentran la excelente calidad de la fachada (construcción controlada en instalaciones industriales), rapidez de montaje y ejecución en obra, seguridad en la ejecución, posibilidades variadas de formas y acabados, además de otras prestaciones exigibles al producto (térmicas, resistencia frente al fuego, etc.).

En cuanto a las prestaciones acústicas, constituyen sistemas que en laboratorio de ensayo pueden aportar niveles de aislamiento acústico muy elevados. Así, combinados con las ventanas adecuadas, se puede garantizar el cumplimiento de los **requisitos frente al ruido exterior** exigidos en los entornos más ruidosos (zonas de aeronaves y autopistas).

Por otro lado, para garantizar las exigencias de **aislamiento acústico entre recintos del edificio**, se requiere un diseño predictivo del comportamiento acústico del edificio en fase de proyecto, que se suele realizar en base a la norma EN 12354 Partes 1 y 2⁽²⁾. Esta norma permite la modelización del comportamiento acústico de varias combinaciones de sistemas de construcción, principalmente en lo que respecta a elementos monolíticos y paredes dobles ligeras. Sin embargo, actualmente no puede hacer frente a todas las combinaciones que encontramos en los edificios reales. Por ejemplo, la norma no tiene en cuenta de manera específica el comportamiento acústico de algunos sistemas prefabricados, entre los que se encuentran los dos sistemas que se presentan en esta comunicación: paneles prefabricados de hormigón macizo y fachadas ligeras de GRC.

Con el fin de obtener predicciones más precisas cuando se utilizan estos sistemas, dentro del Proyecto BALI se ha llevado a cabo un estudio específico de I+D sobre el diseño acústico de edificios con elementos prefabricados de hormigón, realizado en base a los detalles constructivos y sistemas de unión considerados para su integración en los edificios, con la finalidad de proponer un modelo de simulación adaptado a dichos sistemas. El objetivo de esta comunicación es dar a conocer las conclusiones obtenidas.

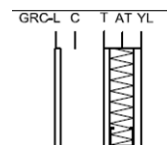
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FACHADA PREFABRICADA LIGERA DE GRC “STUD FRAME”

El Panel *Stud Frame* se compone de una lámina de cara vista de 10mm de espesor de GRC (mortero reforzado con fibra de vidrio), fijada mediante unos conectores metálicos a un bastidor también metálico. Este bastidor se utiliza para soportar la lámina, y permite al sistema posicionamiento y anclaje en obra. Constituye un cerramiento de fachadas prefabricado, autoportante, que soporta las cargas de empuje del viento. Permite longitudes máximas de 6,5m y superficies de hasta 22 m² en un único elemento en su piel exterior.

El sistema de fachada analizado en el Proyecto BALI (Figura 1) está compuesto por una lámina de GRC, cámara de aire, tablero antifuego, lana mineral y placa de yeso laminado, con un espesor total de 17,5 cm, y una masa superficial de 70 kg/ m².

El montaje en obra de la unión entre la fachada y el forjado se realiza mediante carriles metálicos situados en el bastidor y perfiles metálicos en L y U, pletinas, y placas que lo anclan a la obra generalmente atornillados. La unión entre la fachada y la pared de separación entre viviendas (pared de fábrica de ladrillo cerámico trasdosada con placa de yeso laminado) se puede considerar similar (Figura 2).

El aislamiento acústico a ruido aéreo en laboratorio del sistema de fachada opaca (ensayo realizado bajo norma UNE 74.040.84 parte 3 – ISO 140/III.78) es de $R_{Atr} = 51$ dBA (índice a ruido de tráfico). Considerando la opción simplificada de diseño del DB HR-CTE, combinando la fachada opaca con la ventana adecuada, se puede garantizar el cumplimiento de los requisitos más exigentes establecidos frente al ruido procedente del exterior (en zonas próximas a autopistas y aeropuertos, que presenten índices de ruido día L_d de 75dBA).



Fachada completa analizada:

- Placa GRC 10mm
- Cámara Aire 100mm
- Tablero anti fuego 10mm
- Lana mineral 40mm
- Placa yeso laminado 15mm

Figura 1. Lámina de GRC y sistema de fachada analizado

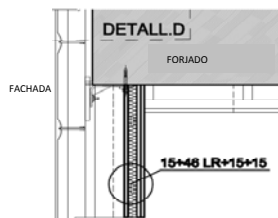


Figura 2. Detalle de los encuentros en obra fachada-forjado y fachada-pared. Promoción de viviendas ubicada en Hospitalet.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE FACHADA PREFABRICADA DE HORMIGÓN MACIZO

El sistema constructivo se basa en la combinación de elementos prefabricados de hormigón con estructuras in situ. Es un sistema de prefabricación abierta, puesto que permite combinarse con otros sistemas constructivos tradicionales.

Los elementos industrializados empleados en el sistema son paneles de hormigón armado arquitectónicos previstos para trasdosar, portantes o autoportantes. Al estar previsto para trasdosar, las características internas del edificio son totalmente tradicionales, no apareciendo en ningún momento hormigón visto en el interior de la vivienda.

El sistema de fachada analizado en el proyecto (Figura 3) está compuesto por un panel de hormigón de 12cm, cámara de aire, poliuretano y placa de yeso laminado, con un espesor total de 19 cm, y una masa superficial entorno a 320 kg/m².

La unión entre el panel de fachada y el forjado se realiza mediante hormigonado in situ. El detalle de unión entre el panel de fachada y la pared de separación entre viviendas (pared de fábrica de ladrillo cerámico trasdosada con placa de yeso laminado) se muestra en la Figura 4.

El aislamiento acústico a ruido aéreo en laboratorio del sistema de fachada opaca (ensayo realizado bajo norma UNE 74.040.84 parte 3 – ISO 140/III.78) es de $R_{Atr} = 54$ dBA (índice a ruido de tráfico), nivel de aislamiento que permite el cumplimiento de los requerimientos más exigentes frente al ruido procedente del exterior.



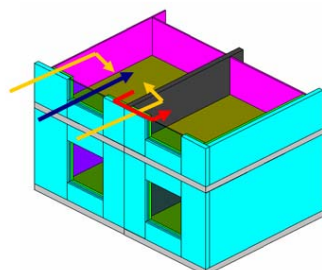
Figura 3. Panel prefabricado de hormigón macizo



Figura 4. Detalle de los encuentros en obra panel-forjado y panel-pared. Promoción de viviendas ubicada en Móstoles.

MODELOS DE PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE EDIFICIOS CON LOS SISTEMAS DE FACHADA PREFABRICADOS

El CTE establece requisitos de aislamiento acústico frente al ruido procedente del exterior, y entre recintos interiores del edificio. Las fachadas de un edificio, desde el punto de vista acústico intervienen en el aislamiento frente al exterior y también como camino indirecto en el aislamiento entre recintos del edificio.



- ➡ transmisión directa entre el exterior y la vivienda
- ➡ transmisiones indirectas entre el exterior y la vivienda
- ➡ transmisión indirecta a través de la fachada entre dos viviendas

Figura 5. Ejemplos de transmisiones de ruido a través de la fachada

En el aislamiento **frente al ruido procedente del exterior** la transmisión directa a través del cerramiento del edificio constituye generalmente la transmisión dominante. El valor de esta

transmisión depende de las características acústicas en laboratorio de la parte ciega de la fachada y de los huecos (carpintería y accesorios), y de la geometría del recinto.

Se ha podido comprobar que para las fachadas prefabricadas descritas, considerando situaciones similares al caso de estudio (en las cuales las ventanas constituyen los caminos de transmisión sonora dominantes), los modelos de simulación recogidos en la norma EN12354-Parte 3⁽²⁾, suponiendo 2dB asociados a las posibles transmisiones indirectas entre el exterior y la vivienda, proporcionan predicciones adecuadas. Se han obtenido diferencias entre predicciones y medidas in situ de 0-3dB, encontrándose generalmente las predicciones del lado de la seguridad.

En el aislamiento **entre recintos** influyen la transmisión directa (a través del elemento separador: medianera o forjado) y las transmisiones indirectas a través del resto de elementos constructivos (fachadas, tabiques, forjados, etc.), que pueden tener un peso importante. Para evaluar las transmisiones indirectas a través de la fachada, es necesario, además del aislamiento acústico en laboratorio, disponer de información de la transmisión de ruido a través de las uniones entre la fachada y el resto de elementos constructivos del edificio. Dicha información es aportada generalmente por la norma EN12354 a través del índice Kij (índice de reducción vibracional para las uniones).

Sin embargo, la norma EN12354 no tiene en cuenta el comportamiento acústico de algunos sistemas prefabricados, entre los que se encuentran los dos sistemas que se presentan en la esta comunicación. Dentro del Proyecto BALI se ha analizado este aspecto, y se han propuesto las expresiones de simulación para los dos sistemas de fachada analizados.

Para el desarrollo de modelos de simulación, en concreto de la cuantificación de las transmisiones sonoras indirectas a través de la fachada, se considera que el procedimiento más apropiado para la realización de este tipo de estudios requiere trabajos experimentales detallados, así como medidas de velocidad de vibración en los distintos elementos constructivos, y medidas de tiempos de reverberación estructurales de los componentes, entre otros aspectos. Debido al grado de avance de construcción de los edificios piloto sobre los que se han realizado los estudios, no ha sido posible el desarrollo de este tipo de análisis experimental.

Con el fin de avanzar en el proyecto, se han propuesto, en base a los distintos fenómenos físico-acústicos de transmisión de ruido, una serie de expresiones de simulación basadas en la norma EN12354, que pueden constituir una base para seguir investigando en este campo.

Se ha realizado un análisis de la precisión de dichas expresiones, mediante un estudio comparativo entre los resultados de predicción teóricos y los resultados obtenidos en campañas de medidas "in situ" realizadas en dos promociones de viviendas de reciente construcción ubicadas en Hospitalet y en Móstoles, facilitadas por los socios del proyecto.

Sistema de fachada prefabricada ligera de GRC "Stud Frame"

- 1. Modelo de simulación propuesto:

Se propone, para la simulación de transmisiones sonoras indirectas a través de la fachada prefabricada ligera de GRC, el siguiente modelo de predicción, basado en las expresiones de la norma EN12354- Parte1, Anexo E:

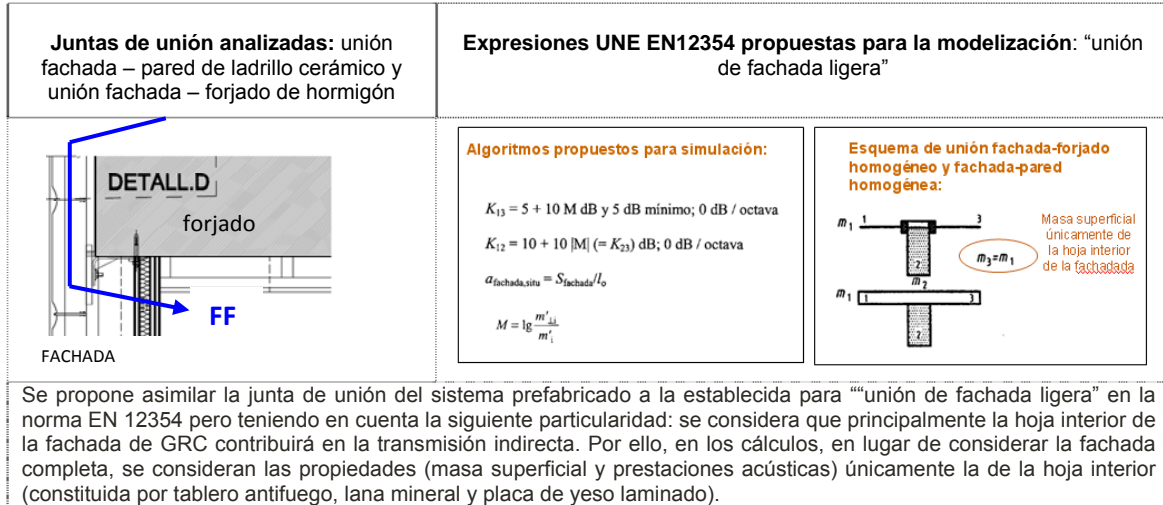


Figura 6. Modelo de simulación propuesto. Fachada prefabricada de GRC “Stud Frame”.
 FF: transmisión sonora flanco-flanco a través de la fachada

▪ 2. Comparativa predicción-medida:

Se ha llevado a cabo una campaña experimental de ensayos in situ de aislamiento a ruido aéreo y a ruido de impactos entre recintos de distintas viviendas, en una promoción de viviendas piloto de nueva construcción ubicada en Hospitalet.

Por otro lado, se han realizado predicciones de los escenarios ensayados utilizando la herramienta de cálculo del DB HR facilitada por el Ministerio de Fomento⁽³⁾, y considerando las expresiones de simulación propuestas.

En la Figura 7 se muestran los resultados comparativos entre predicción y medida:

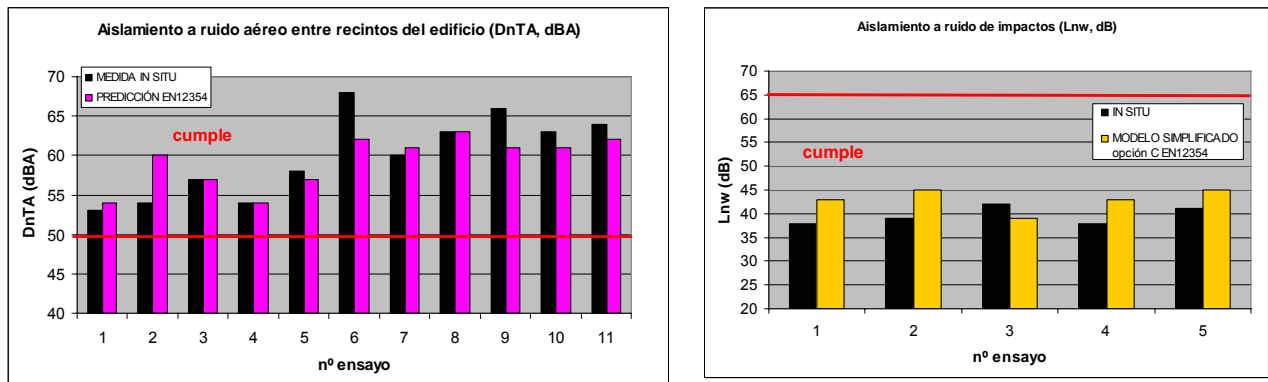


Figura 7. Comparativa predicción-medida. Fachada prefabricada de GRC “Stud Frame”

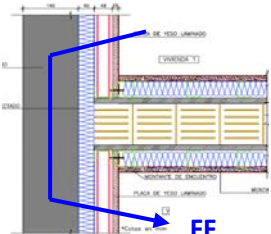
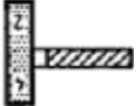
- Las predicciones realizadas con el modelo propuesto se consideran adecuadas. Existen desviaciones entre predicciones y medidas de 0-6 dB, y las estimaciones teóricas, en el 75% de los casos, coinciden con la medida o están del lado de la seguridad.
- A ruido aéreo, entre recintos colindantes horizontalmente: el camino de transmisión sonora más débil es la transmisión indirecta flanco-flanco a través de la fachada (del orden de 60-62dBA). En caso de que se requieran aislamientos entre recintos superiores a este valor, habría que reforzar el detalle constructivo de la fachada.

- A ruido aéreo, entre recintos colindantes verticalmente: el camino más débil es la transmisión indirecta flanco-flanco a través de la fachada (del orden de 62-65dBA). En caso de que se requieran aislamientos entre recintos superiores a este valor, habría que reforzar el detalle constructivo de la fachada.

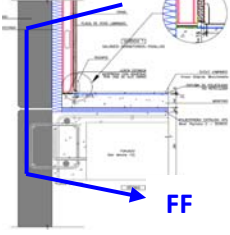
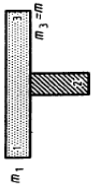
Sistema de fachada prefabricada de hormigón macizo

- 1. Modelo de simulación propuesto:

Se propone, para la simulación de transmisiones sonoras indirectas a través de la fachada prefabricada de hormigón macizo, el siguiente modelo de predicción, basado en las expresiones de la norma EN12354- Parte1, Anexo E:

<p>Junta de unión analizada: unión fachada – pared de ladrillo cerámico.</p>	<p>Expresiones UNE EN12354 propuestas para la modelización: “uniones de paredes con capas intermedias flexibles”</p>
	$K_{13} = 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2 + 2 \Delta_1 \text{ dB}$ $K_{24} = 3,7 + 14,1 M + 5,7 M^2 \text{ dB}; 0 \leq K_{24} \leq -4 \text{ dB}; 0 \text{ dB / octava}$ $K_{12} = 5,7 + 5,7 M^2 + \Delta_1 (= K_{23}) \text{ dB}$ $\Delta_1 = 10 \lg \frac{f}{f_1} \text{ dB para } f > f_1$ 

Se propone asimilar la junta de unión del sistema prefabricado a la establecida para “uniones de paredes con capas intermedias flexibles” en la norma UNE EN 12354. La “capa intermedia flexible” la constituye el aislante térmico, en este caso poliuretano. Aunque dicho material puede no responder a la siguiente condición de aplicación señalada en la norma: $f_1 = 125 \text{ Hz}$ si $(E_1/e_1) \sim 100 \text{ MN/m}^3$, se ha validado la garantía de aplicación de las expresiones propuestas, mediante una comparativa entre resultados de predicción y resultados de más de 15 medidas in situ realizadas en una promoción viviendas ubicada en Móstoles.

<p>Junta de unión analizada: unión fachada – forjado de hormigón.</p>	<p>Expresiones UNE EN12354 propuestas para la modelización: “uniones rígidas en T”</p>
	$K_{13} = 5,7 + 14,1 M + 5,7 M^2 \text{ dB}; 0 \text{ dB / octava}$ $K_{12} = 5,7 + 5,7 M^2 (= K_{23}) \text{ dB}; 0 \text{ dB / octava}$ 

Puesto que la junta se encuentra macizada (rigidizada) con mortero, se propone asimilar su comportamiento al de la “unión rígida en T” establecida en la norma UNE EN 12354.

Figura 8. Modelo de simulación propuesto. Fachada prefabricada de hormigón macizo
 FF: transmisión sonora flanco-flanco a través de la fachada

- 2. Comparativa predicción-medida:

Se ha llevado a cabo una campaña experimental de ensayos de aislamiento acústico in situ en una promoción de viviendas piloto, de reciente construcción, ubicada en Móstoles.

Por otro lado, se han realizado predicciones de los escenarios ensayados utilizando la herramienta de cálculo del DB HR facilitada por el Ministerio de Fomento⁽³⁾, y considerando las expresiones de simulación propuestas.

En la Figura 9 se muestran los resultados comparativos entre predicción y medida:

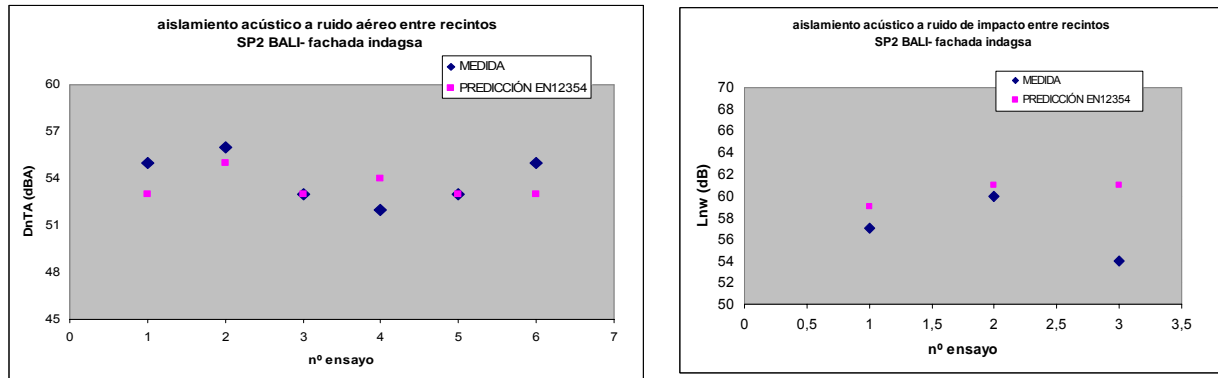


Figura 9. Comparativa predicción-medida. Fachada prefabricada de hormigón macizo

- Las predicciones realizadas con el modelo propuesto se consideran adecuadas. Existen desviaciones entre predicciones y medidas de 0-2 dB a ruido aéreo y 1-7 dB a ruido de impactos. Las estimaciones teóricas, en el 90% de los casos, coinciden con la medida o se encuentran del lado de la seguridad.
- A ruido aéreo, entre recintos colindantes horizontalmente: el camino de transmisión sonora más débil es la transmisión indirecta flanco-flanco a través de la fachada (del orden de 60-60dBA). En caso de que se requieran aislamientos entre recintos superiores a este valor, habría que reforzar el detalle constructivo de la fachada.
- A ruido aéreo, entre recintos colindantes verticalmente: el camino más débil es la transmisión directa a través del forjado + suelo flotante (del orden de 59dBA). En caso de que se requieran aislamientos entre recintos superiores a este valor, habría que utilizar suelos flotantes que aporten mayor mejora a ruido aéreo. Las transmisiones a través de la fachada son del orden de 60-62 dBA.

CONCLUSIONES

Mediante los desarrollos abordados en el proyecto se ha conseguido avanzar en el diseño acústico de edificios con sistemas de fachada no tradicionales.

Se han propuesto opciones de modelos predictivos del comportamiento acústico de edificios construidos con los dos sistemas de fachada prefabricada descritos: fachada ligera de GRC "Stud Frame" y panel prefabricado de hormigón macizo. Los modelos se consideran adecuados y conservadores, y se han validado mediante la realización de más de 50 ensayos in situ en dos promociones de viviendas de reciente construcción ubicadas en Hospitalet y en Móstoles.

Hay que considerar que se han analizado los tipos de uniones concretos que conformaban los edificios piloto, y los resultados no se pueden extrapolar a otros tipos de fachadas prefabricadas.

Se han cuantificado las transmisiones sonoras indirectas a través de los dos sistemas de fachada, cuyo valor se encuentra entorno a 60-65dBA. En caso de que se requieran aislamientos entre recintos superiores a este valor, habría que reforzar el detalle constructivo de la fachada.

Con cualquiera de los dos sistemas de fachada analizados se cumplen y superan los requisitos de aislamiento a ruido aéreo establecidos en el CTE entre recintos protegidos de distintas viviendas ($D_{nTA} \geq 50\text{dBA}$), e incluso entre recintos protegidos de viviendas y recintos de instalaciones y/o actividad ($D_{nTA} \geq 55\text{dBA}$). Por otro lado, se han obtenido niveles de aislamiento a ruido de impactos muy por debajo de los exigidos en el CTE (límite $L_{nw} \leq 65\text{dB}$ entre recintos protegidos de distintas viviendas, $L_{nw} \leq 60\text{dB}$ entre recintos protegidos y recintos de instalaciones / actividad).

REFERENCIAS

- (1) Proyecto BALI. Innovación en sistemas constructivos de altas prestaciones acústicas, aplicables a obra nueva y rehabilitación. FCC Construcción. Tecnia Acústica 2011.
- (2) Norma EN 12354: 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. Parte 2: Aislamiento acústico a ruido de impacto entre recintos. Parte 3 – Aislamiento acústico a ruido aéreo contra el ruido exterior.
- (3) www.codigotecnico.org

AGRADECIMIENTOS

A PREINCO, fabricante de sistema de fachada ligera de GRC “Stud Frame”, e INDAGSA, fabricante de panel prefabricado de hormigón macizo, por las facilidades prestadas y su constante colaboración en el desarrollo del proyecto.

A FCC Construcción y GRUPO ORTIZ, por sus valiosas aportaciones y la proporción de promociones piloto para la validación de las investigaciones.

A INTROMAC, por los eficaces servicios prestados en relación con las campañas de medida durante las fases de validación.