

## **CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE ESTRUCTURAS DE MADERA EN EDIFICACIÓN EXISTENTE. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE UN EDIFICIO DE PATRIMONIO NACIONAL EN ARANJUEZ**

PACS: 43.55.Rg

De Diego Aguado, Germán; Carrascal García, M<sup>a</sup> Teresa; Romero Fernández, Amelia.  
Unidad de Calidad en la Construcción. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) – CSIC.  
C/ Serrano Galvache 4  
28033 Madrid  
España  
Tel:(+34) 913 020 440  
E-Mail: [german@ietcc.csic.es](mailto:german@ietcc.csic.es)

### **ABSTRACT**

This study shows part of a set of sound insulation tests and reports that aim to know the acoustic behaviour of existing structures, the testing focused on timber structures.

The selected building located in Aranjuez belongs to the National Heritage, is a residential building designed by Juan de Villanueva in the late eighteenth century known as "Casa de los Infantes".

Different construction solutions have been characterized, by sets of airborne and impact sound insulation tests undertaken in situ, reaching valuable conclusions regarding their sound insulation performance and their suitability to be used or reused in existing and new buildings.

### **RESUMEN**

Este estudio muestra parte de un conjunto de ensayos e informes que tienen por objeto conocer el comportamiento acústico de estructuras existentes, concentrando las pruebas en estructuras y soluciones constructivas en madera.

El edificio seleccionado perteneciente a Patrimonio Nacional, es el edificio de viviendas concebido por Juan de Villanueva a finales del siglo XVIII "Casa de los Infantes" situado en Aranjuez.

En él se han caracterizado distintas soluciones constructivas estudiando su comportamiento acústico mediante ensayos realizados in situ de aislamiento a ruido aéreo e impacto, llegando a conclusiones positivas en cuanto a su validez, comportamiento y buena capacidad para ser incorporadas y reutilizadas en edificación actual.

## **1 INTRODUCCION**

El objetivo es generar conocimiento para poder establecer criterios y mejorar si fuera necesario las prestaciones iniciales de un edificio para adecuarlo en la medida de lo posible a las necesidades de un usuario actual, (individuales y colectivas), sin menoscabar o respetando en la medida de lo posible las condiciones preexistentes. En este tipo de intervenciones no es posible establecer una exigencia de carácter universal, pues de las características específicas de cada intervención se deriva un determinado nivel de adecuación razonable, técnica y económicamente viable, y respetuosa con el valor arquitectónico y carácter del edificio.

Las soluciones y técnicas constructivas utilizadas en la mayoría de los casos son conocidas y aparecen extensamente identificadas en tratados de construcción y rehabilitación, pero dentro de una misma familia o tipo de soluciones, la variación de su composición, espesores y materiales que las componen, es suficientemente significativa a causa de los métodos o técnicas constructivas empleadas en cada época y proyecto concreto, que nos obliga a tener que reconocer cada elemento ensayado siendo difícil establecer un criterio de factor común por épocas o soluciones constructivas identificadas teóricamente con anterioridad.

Es necesario un intenso trabajo de campo, donde cada proyecto nos está aportando valiosa información, no solo desde el punto de vista del aislamiento acústico, sino también una metodología para establecer y realizar ensayos acústicos, identificación de muestras o elementos ensayados, y conocimiento sobre soluciones y técnicas constructivas que estamos compartiendo con la entidad que nos cede o pone a nuestra disposición el edificio.

Profundizar en el conocimiento del comportamiento y aislamiento acústico en edificios existentes, particularizado en este caso para edificios cuyos sistema constructivo y estructura es principalmente en madera y fábrica, puede aportar y generar criterios de intervención y rehabilitación desde el punto de vista acústico que ahora mismo se desconocen. Del mismo modo, estamos constatando que la identificación y estudio de los sistemas constructivos está enriqueciendo y orientando las estrategias de intervención desde otros requisitos, en caso de tener que rehabilitar los edificios estudiados. Poniendo en valor y conociendo el patrimonio existente se suscita la reutilización y creatividad en caso de intervenir en estructuras existentes.

## **2 ELECCIÓN DEL EDIFICIO**

La elección del edificio ha estado condicionada por las necesidades técnicas derivadas para este tipo de ensayos y la tipología constructiva.

Se quería estudiar un edificio de estructura y sobre todo forjados de madera. Era necesario poder acceder a diferentes recintos del edificio colindantes horizontal y verticalmente y en algunos de los recintos era deseable poder realizar calas en muros y forjados.

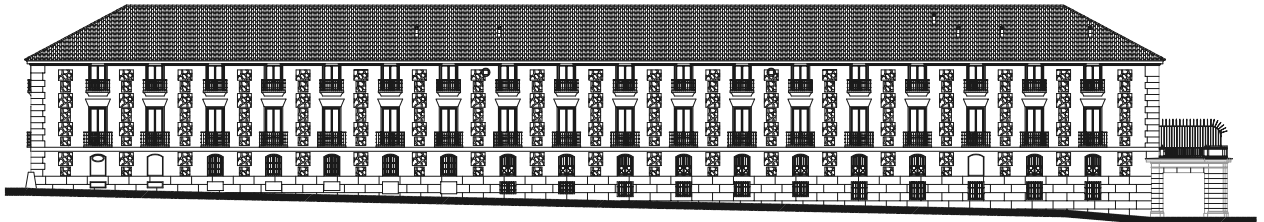
Gracias a la colaboración con Patrimonio Nacional, han puesto a nuestra disposición un edificio que pertenece y es gestionado por la Dirección del Patrimonio Arquitectónico e Inmuebles, en concreto, el edificio de viviendas, "Casa de Infantes" en Aranjuez, que ha cumplido perfectamente con este propósito.

La construcción forma una unidad arquitectónica con el resto de edificios y parroquia de San Antonio en torno a la plaza del mismo nombre, generando un conjunto unitario concebido por Juan de Villanueva, arquitecto mayor del Rey y de Madrid con Carlos III, a finales del siglo XVIII para alojar a las familias de los hijos del monarca.

Constructivamente la arquitectura esta realizada en muros de carga, forjados de madera, y algún elemento de separación vertical también en entramado de madera. Se ha respetado en gran medida su estructura y distribución original lo que garantiza en cierta medida que las

soluciones se corresponden con las iniciales. Hemos observado que presenta alguna reparación puntual, pero conservándose en general su composición original. Durante los ensayos, muchas de las viviendas estaban desocupadas, y al necesitar ser reparadas y rehabilitadas, hemos podido realizar calas en algunos puntos que nos han dado una valiosa información en cuanto a que ha sido posible identificar con exactitud el sistema constructivo y composición de estructura, divisiones y cerramientos.

Información gráfica general del edificio:



Alzado general Calle Real. Alzado tipo



Planta Primera



Planta Segunda



Detalles Alzado y Sección tipo del conjunto

### 3 ANÁLISIS Y ELECCIÓN DE RECINTOS

El conjunto que conforma el edificio “Casa de Infantes” está dividido en dos piezas, una ocupada parcialmente con dependencias del ayuntamiento, y el resto pertenece a Patrimonio. Es un edificio en manzana cerrada, siendo el acceso a las viviendas desde el patio interior de manzana.

El volumen gestionado por Patrimonio ocupa la mitad de la manzana, organizado en torno a 5 portales con sus escaleras independientes.

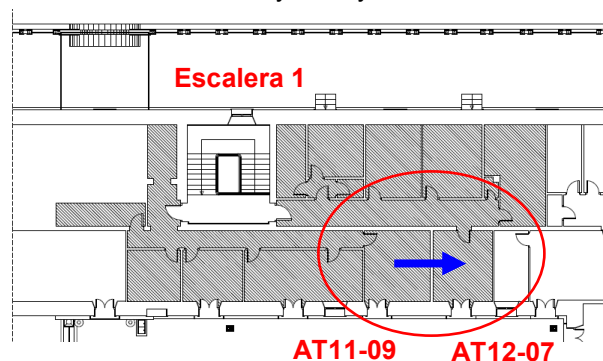
En base a la información recopilada, estudios y visitas previas, se seleccionan 3 viviendas que presentan las características necesarias para realizar los ensayos, situándose todas ellas en un mismo portal. Las viviendas se numeran en los planos con los códigos, AT11, AT12, y P6. En total se identifican 6 recintos en las tres viviendas. Dos espacios o recintos con dimensiones similares, conectados verticalmente, que se identifican en los planos con AT11-04 y P6-07, dos recintos conectados verticalmente, que se identifican en los planos con AT11-08 sobre P6-11 de diferentes dimensiones y dos recintos colindantes horizontalmente que pertenecen a viviendas diferentes numerados como AT11-09 y AT12-07.

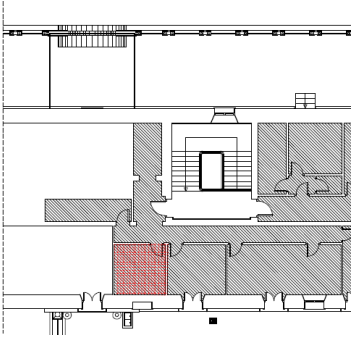
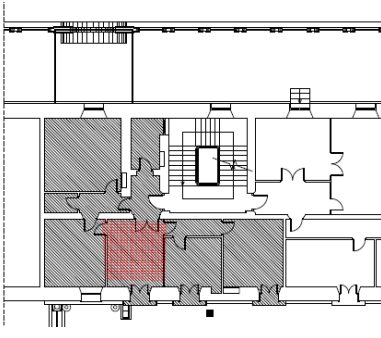
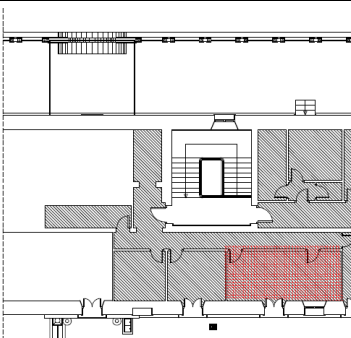
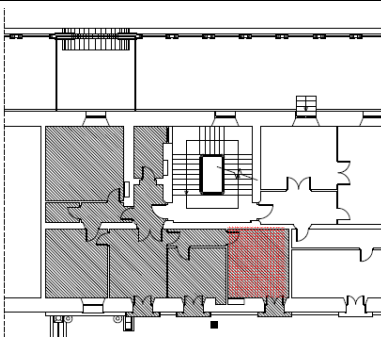
Por planta los recintos se encuentran en las siguientes viviendas:

Principal 6 (P6) en 1ª Planta, Ático 11 (AT11) en 2ª Planta y Ático 12 (AT12), en 2ª Planta.

### 4 CAMPAÑA DE ENSAYOS

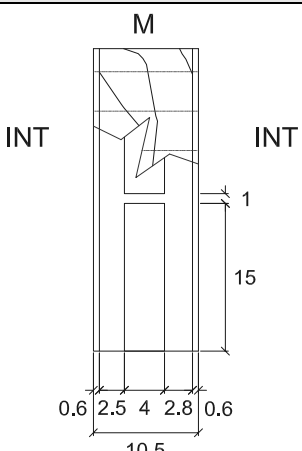

Se prevén los siguientes tres grupos de ensayos. Ensayo 1: AT11-09 colindante con AT12-07 (2ª Planta). Ensayo 2: AT11-04 sobre P6-07, y Ensayo 3: AT11-08 sobre P6-11.



Recintos	Esquema / Situación	Recintos	Esquema / Situación
<b>Recinto emisor:</b> AT11-04	 Ático 11: 2ª Planta	<b>Recinto receptor:</b> P6-07	 Principal 6: 1ª Planta
<b>Recinto emisor:</b> AT11-08	 Ático 11: 2ª Planta	<b>Recinto receptor:</b> P6-11	 Principal 6: 1ª Planta

### 5 RESULTADOS ENSAYOS DE AISLAMIENTO ACÚSTICO

Por ensayos, en el grupo de ensayos número 1 se relacionan en la misma planta dos recintos que pertenecen a usuarios diferentes. El volumen del recinto emisor es de 34,1 m<sup>3</sup> y el volumen del recinto receptor es de 38,1 m<sup>3</sup>. El elemento separador vertical, es un tabique interior. Detalle y descripción:

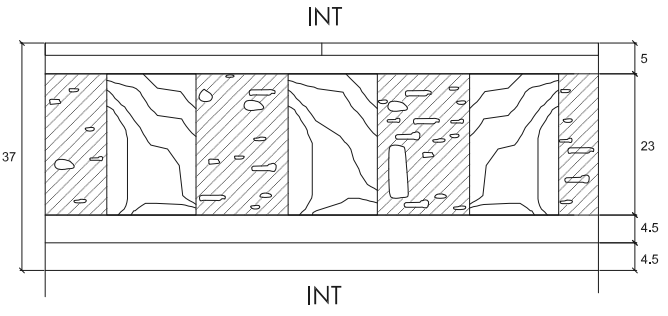

Leyenda	Detalle Constructivo	Fotografía
AT11-09 – AT12-07  Espesor total 10,5 cm. Área del elemento separador: 11,2 m <sup>2</sup> .  Entramado de madera entomizada. Ladrillo macizo 4 cm. Guarnecido y enlucido yeso de 2,8 y 2,5 cm. Pintura por ambas caras.		



En los grupos de ensayos 2 y 3, se relacionan en distintas plantas dos recintos que pertenecen a usuarios diferentes. El volumen de los recintos emisores es de 17,3 m<sup>3</sup>, el AT11-04 y 53,4 m<sup>3</sup> el AT11-08. El volumen de los recintos receptores es de 44,7 m<sup>3</sup> el P6-07, y 47,6 m<sup>3</sup> el P6-11.

El elemento horizontal separador directo es un forjado.

Detalle y descripción:

Leyenda	Detalle Constructivo
<p>AT11-04 – P6-07 AT11-08 – P6-11</p> <p>Espesores totales: 37 - 40 cm.</p> <p>Área de elementos separadores comunes: 6,6 m<sup>2</sup> ubicado en el recinto AT11-04 y 13,6 m<sup>2</sup> en el recinto P6-11.</p> <p>Pavimento cerámico, 2 cm.</p> <p>Cama de mortero de agarre y relleno en yeso, de espesor 2 cm.</p> <p>Viguetas de madera entomizada 23 cm.</p> <p>Relleno con yeso y yesones 23 cm.</p> <p>Guarnecido y enlucido inferior, dos tongadas de yeso y cascote 9 cm.</p> <p>Acabado inferior en pintura.</p>	<p>INT</p>  <p>INT</p>
	Fotografías
	

Cuadro resumen grupo de ensayos 1:

RESULTADOS OBTENIDOS			LÍMITES NORMATIVOS
PARÁMETRO DE AISLAMIENTO			CTE
$D_{nTw} (C, C_{tr})^1$ dB	$D_{nTw} (C_{100-5000}, C_{tr100-5000})^2$ dB	$D_{nTA}^3$ dBA	$D_{nTA}^4$ dBA Protegido - Protegido
43 (0, -2) dB	43 (0, -2) dB	43,6 dBA	≥ 50 dBA

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES NORMATIVOS
PARÁMETRO DE RUIDO DE IMPACTOS	CTE
$L'_{nTw} (Ci)^5$ dB	$L'_{nTw}^6$ dB Protegido - Protegido
60 (-9)	≤ 65 dB

Cuadro resumen grupo de ensayos 2:

RESULTADOS OBTENIDOS			LÍMITES NORMATIVOS
PARÁMETRO DE AISLAMIENTO			CTE
$D_{nTw} (C, C_{tr})^1$ dB	$D_{nTw} (C_{100-5000}, C_{tr100-5000})^2$ dB	$D_{nTA}^3$ dBA	$D_{nTA}^4$ dBA Protegido - Protegido
58 (-1, -5) dB	58 (0, -5) dB	58,2 dBA	≥ 50 dBA

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES NORMATIVOS
PARÁMETRO DE RUIDO DE IMPACTOS	CTE
$L'_{nTw} (Ci)^5$ dB	$L'_{nTw}^6$ dB Protegido - Protegido
60 (-4)	≤ 65 dB

Cuadro resumen grupo de ensayos 3:

RESULTADOS OBTENIDOS			LÍMITES NORMATIVOS
PARÁMETRO DE AISLAMIENTO			CTE
$D_{nTw} (C, C_{tr})^3$ dB	$D_{nTw} (C_{100-5000}, C_{tr100-5000})^4$ dB	$D_{nTA}^5$ dBA	$D_{nTA}^6$ dBA Protegido - Protegido
55 (-1, -6) dB	55 (0, -6) dB	54,7 dBA	≥ 50 dBA

RESULTADOS OBTENIDOS	LÍMITES NORMATIVOS
PARÁMETRO DE RUIDO DE IMPACTOS	CTE
$L'_{nTw} (Ci)^7$ dB	$L'_{nTw}^8$ dB Protegido - Protegido
58 (-3)	≤ 65 dB

Cuadro resumen ensayos:

Recintos ensayados		División directa	Resumen de resultados			
Recinto emisor	Recinto receptor	Separador	Tipo de ensayo	Resultado DnT,A	Tipo de ensayo	Resultado L'nT,w
AT11-08	P6-11	Sh Forjado madera 23 cm	Ruido Aéreo	54,7 dBA	Ruido de Impactos	58 dB
AT11-04	P6-07	Sh Forjado madera 23 cm	Ruido Aéreo	58,2 dBA	Ruido de Impactos	60 dB
AT11-09	AT12-07	Sv Tabique entramado madera 10,5 cm	Ruido Aéreo	43,6 dBA	Ruido de Impactos	60 dB

## 6 CONCLUSIONES

Desde el punto de vista acústico, el comportamiento y aislamiento acústico de estructuras, sistemas y soluciones constructivas en edificación existente donde la madera es uno de los materiales o estrategia constructiva principal que lo componen se ha constatado en este caso particular, pero cuya solución es tradicional y común a la época de construcción como muy eficaz con las limitaciones propias de las técnicas constructivas de un periodo determinado.

Profundizar en el conocimiento del comportamiento y aislamiento acústico en edificios existentes, particularizado en este caso para edificios cuyos sistema constructivo es principalmente madera y fábrica, se está demostrando como una vía muy eficaz de obtener datos que son válidos para generar criterios de intervención y rehabilitación desde el punto de vista acústico y que pueden impulsar la recuperación en vez de la sustitución de elementos de los que ahora se desconoce su capacidad y comportamiento en edificación existente. En el caso de los elementos constructivos es necesario saber si los elementos constructivos son homogéneos, si su comportamiento puede asimilarse a éstos, el número de hojas que lo componen o si son de entramado. También es necesario conocer cómo son las uniones entre elementos, ya que la transmisión a través de la unión es diferente según si la unión es rígida o si existe algún elemento amortiguador de vibraciones. Por otra parte, debido a que el aislamiento acústico que proporciona un elemento constructivo en la edificación depende no sólo del elemento constructivo que separa dos recintos, sino que depende de todos los elementos que forman el recinto, es necesario conocer qué tipo de particiones, qué tipo de fachada y qué estructura horizontal suelen aparecer en los edificios existentes de forma conjunta.

En las soluciones constructivas estudiadas hemos comprobado que aún no habiendo métodos de medición o cálculo en la época que fueron ejecutadas, sí que existía conocimiento y se tenía en consideración el comportamiento acústico. Encontramos ejemplos como, cuajados de forjado con arenas y cenizas, introducción de elementos de distinta densidad, eliminar espacios que puedan resonar o generar soluciones multicapa que dan excelentes resultados.

El análisis comparativo con el DB HR, CTE desde el punto de vista acústico, demuestra que en muchos casos, las soluciones estudiadas han dado resultados muy satisfactorios, incluso en algunos casos quedando muy cerca o alcanzando los límites de aislamiento y niveles máximos de ruido permitidos por la normativa actual, constatando que sistemas tradicionales son

perfectamente válidos, o fácilmente adaptables, con resultados que puedan ayudar a los proyectistas a recuperar el patrimonio existente proyectando y ejecutando rehabilitaciones donde se reutilicen de forma sostenible estructuras y arquitectura existentes.

El objetivo es suscitar un cambio de actitud por medio del conocimiento, donde cada obra de rehabilitación sea una oportunidad y no un impedimento para mejorar las condiciones necesarias que debe cumplir la edificación actual, incluida la que afecta al comportamiento acústico de los edificios fomentando la reutilización de sistemas y soluciones existentes.

## 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<sup>1,2,3,4 y 5</sup> UNE-EN ISO 717-1:1997/A1. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

Modificación 1: Normas de redondeo asociadas con los índices expresados por un único número y con las magnitudes expresadas por un único número.

<sup>1,2,3,4 y 5</sup> UNE-EN ISO 717-1:1997. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

Parte 1: Aislamiento a ruido aéreo.

<sup>5 y 7</sup> UNE-EN ISO 717-2:1997. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos.

<sup>5 y 7</sup> UNE-EN ISO 717-2:1997/A1:2007. Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

Parte 2: Aislamiento a ruido de impactos. Modificación 1

Modificación 1: Normas de redondeo asociadas con los índices expresados por un único número y con las magnitudes expresadas por un único número.

<sup>4,6 y 8</sup> Código Técnico de la Edificación CTE. Documento Básico HR. Protección frente al ruido. Septiembre 2009.

<sup>4,6 y 8</sup> Código Técnico de la Edificación CTE. Documento Básico HR. Protección frente al ruido, con comentarios del Ministerio de Fomento. Junio 2011.

<sup>4,6 y 8</sup> Código Técnico de la Edificación CTE. Guía de aplicación del Documento Básico HR. Protección frente al ruido. Agosto 2009.

<sup>4,6 y 8</sup> Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Marzo 2010. Herramienta de cálculo del Documento Básico de protección frente al ruido del Ministerio de Vivienda.

<sup>9</sup> UNE-EN ISO 140-4:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte: 4 Medición "in situ" del aislamiento al ruido aéreo entre locales.

<sup>10</sup> UNE-EN ISO 140-7:1999. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Parte: 7 Medición "in situ" del aislamiento acústico de suelos al ruido de impactos.

<sup>11</sup> UNE-EN ISO 140-14:2005. Acústica. Medición del aislamiento acústico de los edificios y de los elementos de construcción. Directrices para situaciones especiales in situ.

<sup>12</sup> UNE-EN ISO 140-14:2005/AC:2009. Acústica. Medición del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción.

<sup>13</sup> UNE-EN 12354-1: 2000 Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos. Parte 1: Aislamiento acústico del ruido aéreo entre recintos. (EN 12354-1:2000).

<sup>14</sup> UNE-EN 12354-2: 2001. 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. (EN 12354-2:2000).

<sup>15</sup> UNE-EN 12354-3: 2001. 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. (EN 12354-3:2000).

<sup>16</sup> Noise Control in Buildings. A practical Guide for Architects and Engineers, Cyril M. Harris. Mcgraw-Hill.

<sup>17</sup> Ger y Lóbez, Florencio. Tratado de Construcción Civil por Florencio Ger y Lóbez. Atlas y Texto. Badajoz. 1898.

<sup>18</sup> F. CHUECA y C. DE MIGUEL, La vida y las obras del arquitecto Juan de Villanueva, Madrid 1949.

<sup>19</sup> Arte de albañilería o instrucciones para los jóvenes que se dedique a él. Juan de Villanueva. 1827.