

## VALIDACIÓN DE UNA CÁMARA DE TRANSMISIÓN A ESCALA PARA MEDIDAS DE ELEMENTOS LIGEROS

PACS: 43.50.

Jesús Alba<sup>1</sup>; Laura Bertó<sup>1</sup>, Romina Del Rey<sup>1</sup>

Centro de Tecnologías Físicas: Acústica, Materiales y Astrofísica.  
Escuela Politécnica Superior de Gandía; Universitat Politècnica de València.  
C/ Paraninfo nº1, Grau de Gandia 46730 (Valencia). España.  
E-mail: lauberca@upv.es, jesalba@fis.upv.es, roderey@doctor.upv.es

### ABSTRACT

The acoustic validation of new generation materials, in some cases, requires determinate their airborne sound insulation in a standardized transmission chamber and the size of the samples under test must be around 10m<sup>2</sup>. In the case of new materials, the manufacture of samples of this size supposes high costs. Therefore, a transmission chamber reduced in size has been built in order to test new materials with a small size. This work presents the calibration and start-up of this chamber taking as a base the Standard UNE-EN ISO 10140-5:2011. The obtained results have let us validate this chamber as an acoustic laboratory to test the airborne sound insulation of lightweight structures.

Keywords: Transmission chamber, new materials, airborne sound insulation, test on reduced size

### RESUMEN

La validación de materiales de nueva generación requiere, en algunos casos, determinar su aislamiento acústico a ruido aéreo en cámara de transmisión con muestras de alrededor de 10 m<sup>2</sup>. En el caso de nuevos materiales el coste de fabricación de probetas de este tamaño es elevado. Por ello se ha fabricado una cámara de transmisión a escala que permita su estudio con pequeño tamaño. Este trabajo presenta su calibración y puesta en marcha siguiendo UNE-EN ISO 10140-5:2011. Los resultados obtenidos de ensayos permiten validar la cámara de transmisión a escala como laboratorio de ensayo de ruido aéreo de estructuras ligeras.

Palabras clave: Cámara de Transmisión, nuevos materiales, aislamiento a ruido aéreo, ensayos a escala

### **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO**

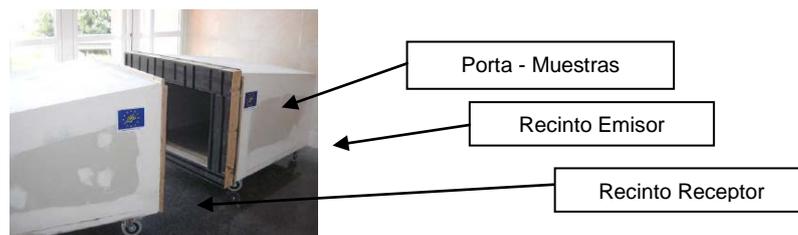
Una cámara de transmisión es un laboratorio formado por dos recintos (emisor y receptor) completamente desacoplados entre sí. Este tipo de laboratorios deben cumplir los requisitos establecidos en la norma UNE-UNE ISO 10140-5:2011. Su uso principal es la medición del aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos de construcción. Los resultados de ensayo se pueden utilizar para comparar las propiedades del aislamiento acústico de los elementos de construcción, para clasificar los elementos según sus capacidades de aislamiento acústico, para ayudar a diseñar productos de construcción que requieren determinadas propiedades acústicas y para estimar el rendimiento "in situ" en edificios completos. La muestra del elemento o solución constructiva a evaluar se coloca entre los dos recintos y se convierte en la principal vía de transmisión del ruido generado en el recinto emisor, debiendo resultar el resto de vías de transmisión (Flanco-flanco, Flanco-directo y Directo-flanco) prácticamente despreciables. Se debe tener en cuenta que la construcción de un laboratorio de estas características es costosa y cada ensayo es excesivo tanto en tiempo como en costes. Además, según normativa [1] se requieren muestras de alrededor de 10m<sup>2</sup> para su evaluación.

A nivel de investigación y desarrollo de nuevos materiales, la mayoría de veces es complicado contar con grandes cantidades de material para poder evaluarlo acústicamente bajo norma. Así pues, en 2010, y como prototipo particular del proyecto europeo LIFE (LIFE09 ENV/ES/461) NOISEFREETEX [2], se decide construir una cámara de transmisión a escala (relación 1:5) con la finalidad de poder evaluar el aislamiento acústico de nuevos materiales y prototipos en proceso de desarrollo, empleando para ello muestras pequeñas (0.5m<sup>2</sup>). Esto supondrá un ahorro importante en cuanto a costes de fabricación y transporte y una optimización del tiempo de ensayo. Una vez diseñado y construido, será necesaria la adaptación y puesta en marcha de este pequeño laboratorio, verificando su validez como laboratorio de ensayos. En este trabajo se presenta esta última fase de desarrollo. Se ha realizado una caracterización del estado actual de la cámara de transmisión a escala: se han evaluado diferentes aspectos tales como la difusividad del campo sonoro, el tiempo de reverberación o el efecto de las transmisiones laterales y se ha diseñado y ejecutado un sistema automatizado para la realización de las medidas.

Como objetivo de este trabajo cabe destacar la validación y puesta en marcha la cámara de transmisión a escala como laboratorio para ensayos de aislamiento acústico a ruido aéreo de elementos ligeros. El alcance de dicho objetivo permitirá evaluar nuevos materiales y dispositivos en fase de investigación y desarrollo empleando para ello una muestra de alrededor de 0.5m<sup>2</sup> frente a los 10m<sup>2</sup> necesarios en una cámara de transmisión de tamaño estandarizada. Esto dinamizará la evaluación de estos nuevos materiales en fase de investigación previa selección del producto más óptimo para su comercialización.

### **ESTADO INICIAL DE LA CÁMARA DE TRANSMISIÓN A ESCALA Y MEJORAS**

Las condiciones de trabajo en un laboratorio deben ser controladas, y desarrollarse en un espacio cómodo. También es aconsejable utilizar un sistema automatizado que facilite el trabajo y minimice los errores humanos que se pueden producir durante los procesos de test. Por esta razón, se considera necesario realizar un análisis de viabilidad de uso de la cámara, es decir, detectar aquellas deficiencias que puedan entorpecer el desarrollo fluido de un ensayo y darles solución. En la figura 1 se puede ver un detalle de la cámara de transmisión tras su construcción.



**Figura. 1. Cámara de transmisión a escala**

**Actuación Sobre El Porta-muestras.**

Como podemos observar, el porta-muestras queda sujeto a la cámara receptora. Esto supone varios inconvenientes: Dificulta la instalación de la muestra imposibilitando la instalación de elementos dobles. Por ello se decide independizar el porta-muestras de la cámara de transmisión. Para ello se fabrica un soporte móvil sobre el que se colocará el porta-muestras de forma que sea totalmente independiente de las cámaras y se pueda mover con facilidad. El resultado se puede ver en la Figura 2.



**Figura. 2a. Preparación del sistema de ruedas que soportará el porta-muestras**



**Figura. 2b. Porta-muestras independizado de la cámara receptora**

**Automatización De Movimiento De Micrófono Durante El Proceso De Ensayo.**

La norma UNE-EN ISO 10140-4:2011 [1], establece los procedimientos de medición básicos para el aislamiento acústico a ruido aéreo en instalaciones de ensayo de laboratorio. Entre ellos especifica que para cada posición de altavoz fija se deben utilizar un mínimo de cinco posiciones de micrófono en cada recinto. El único punto de acceso al interior de las cámaras es la unión entre recinto emisor y receptor, esto supone que cada vez que se tenga que cambiar la posición de micrófono, se deberán separar ambos recintos, con la consecuente pérdida de tiempo además del error humano que se puede producir cada vez que se sellan ambos recintos. Por esta razón, se decide diseñar un sistema de bajo coste con el que se pueda desplazar el micrófono a sus posiciones de medida sin necesidad de acceder al interior de la cámara. Para ello se emplean dos webcam Aprox modelo IP01WV4 controlada por IP, con motor rotatorio incorporado, atornillada al suelo de cada recinto. A ella se le acopla un tubo de PVC de 1cm de diámetro que portará en su extremo el micrófono de medida. Conectándonos on-line a la IP de cada webcam, podemos observar y controlar la posición del micrófono. En las figuras 3a y 3b se puede ver un detalle de las cámaras web empleadas y la colocación de las mismas en los recintos emisor y receptor de la cámara de transmisión a escala.



**Figura. 3a. Cámaras de vigilancia controladas por IP**



**Figura. 3b. Colocación de una de las cámaras IP en el interior del recinto receptor.**

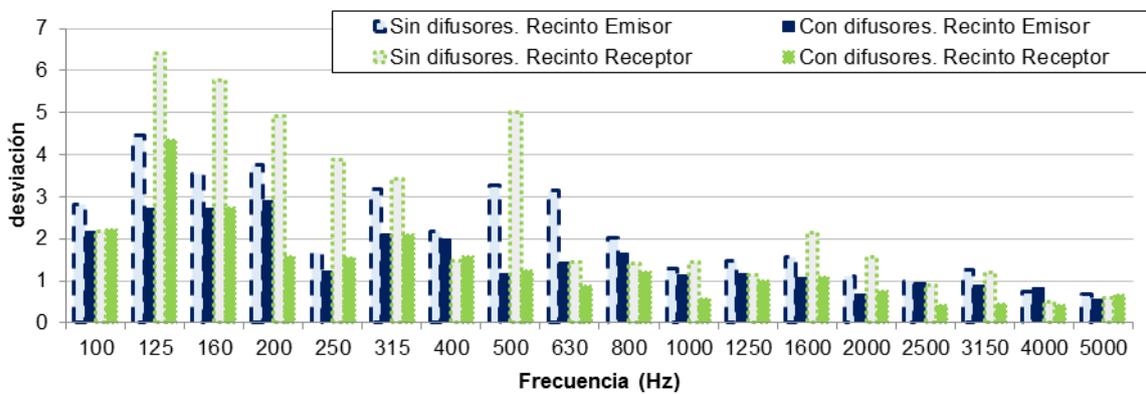
**EVALUACIÓN ACÚSTICA DE LA CÁMARA DE TRANSMISIÓN A ESCALA**

Un laboratorio de ensayo debe cumplir una serie de condiciones para que los valores medidos reflejen las propiedades del producto sin verse influenciados por las características del propio laboratorio. Como se ha comentado anteriormente, una cámara de transmisión debe cumplir las especificaciones definidas en [1]. La cámara de transmisión a escala seguirá, bajo ciertas limitaciones, las especificaciones de dicha normativa. En el caso de ensayos de aislamiento, el elemento a evaluar debe ser la principal vía de transmisión de ruido entre el recinto emisor y el receptor. Además, se debe garantizar que el campo sonoro sea difuso para que las medidas sean repetibles y comparables. Así pues, se deben satisfacer, principalmente, dos premisas: Difusividad del campo sonoro y Transmisiones laterales.

**Difusividad Del Campo Sonoro**

Durante el diseño de la cámara de transmisión a escala se estudió la difusividad del campo sonoro [3]. No obstante, una vez construida se debe proceder a su ajuste. Mediante el uso de paneles difusores conseguiremos optimizar el campo sonoro en los recintos emisor y receptor. Así pues, se colocan, de manera aleatoria, un total de 4 paneles de madera contrachapada de 5mm de espesor en el recinto emisor y 5 paneles en el recinto receptor (ver figura 5). Las dimensiones de estos paneles van desde los 10x15cm<sup>2</sup> hasta los 25x20cm<sup>2</sup>.

Para comprobar la mejora de la difusividad, se selecciona una placa de yeso laminado de 13mm de espesor como muestra (ver figura 4). Se realizan ensayos de nivel de presión sonora, tanto en emisor como en receptor, en diez posiciones de micrófono, antes y después de la colocación de los difusores. Se valora el efecto de los mismos mediante comparación de los resultados obtenidos. En el gráfico 1 se compara la desviación entre posiciones de medida con y sin difusores. Se observa que la colocación de difusores mejora la difusividad del campo sonoro.



**Gráfico 1. Desviación en los niveles de presión sonora antes y después de la colocación de paneles difusores, tanto en el recinto emisor como en el recinto receptor.**



**Figura. 4. Elemento de separación instalado en porta-muestras**



**Figura. 5. Paneles difusores colocados en recinto emisor y receptor.**

**Transmisiones Laterales.**

Otra de las premisas a tratar son las transmisiones laterales que, en un laboratorio, deben ser despreciables frente a la transmisión directa. En este trabajo se estudia únicamente la influencia de las transmisiones Flanco-flanco sobre el aislamiento acústico del elemento a ensayo ya que la finalidad de la cámara es evaluar elementos ligeros cuya vía lateral es principalmente Flanco-flanco siendo despreciables las transmisiones Flanco-directo y Directo-flanco [4]. Para ello se obtiene el índice de reducción vibracional,  $K_{ij}$ , definido en [5] como una magnitud relacionada con la transmisión de potencia vibratoria a través de una unión entre elementos estructurales y se determina a partir de la siguiente ecuación 1

$$K_{ij} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \log \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i \cdot a_j}} \text{ dB} \quad [\text{ec. 1}]$$

Donde  $D_{vij}$  y  $D_{vji}$  son las diferencias de nivel de velocidad a ambos lados de cada unión;  $l_{ij}$  es la longitud común de la unión con el elemento a ensayo y  $a_i$  y  $a_j$  son las longitudes de absorción equivalente de los elementos  $i$  y  $j$  y están en función del tiempo de reverberación estructural de cada uno de ellos (ecuación 2)

$$a_i = 2,2\pi^2 S_i / T_{s,i} c_0 \sqrt{\frac{f}{f_{ref}}} \quad [\text{ec. 2}]$$

Donde,  $f_{ref}$  es la frecuencia de referencia = 1000 Hz;  $c_0$  es la velocidad del sonido en el aire, en metros por segundo;  $S_i$  es el área del elemento  $i$ , en metros cuadrados;  $T_{s,i}$ , es el tiempo de reverberación estructural medido in situ del elemento  $i$ .

Así pues, para tener valores in situ de los diferentes  $K_{ij}$ , se realizan medidas de velocidad a ambos lados de la unión y medidas del tiempo de reverberación estructural de cada elemento, utilizando para ello un shaker como excitador y acelerómetros como transductores. Una vez registrados los valores de amplitud de aceleración, mediante integración, se obtienen los niveles de velocidad buscados. Para la obtención de diferencia de niveles de velocidad, se distribuyen 3 posiciones de excitación a ambos lados de cada unión y 3 posiciones de acelerómetro para cada una de ellas. Para determinar el  $T_r$  estructural se excita cada elemento con un golpe seco de martillo y se obtiene el tiempo que tarda en caer el sonido 60dB, en este caso la excitación del paramento se repite hasta 5 veces para cada posición de medida.

La influencia de las transmisiones laterales sobre el elemento a ensayo se evaluará a partir de la ecuación 3.

$$R_{Dd,w} = -10 \log \left[ 10^{-R_{d,w}/10} - \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Ff,w}/10} \right] \text{ dB} \quad [\text{ec. 3}]$$

Donde  $R_{Dd,w}$  es el índice ponderado de reducción acústica para la transmisión directa a través del elemento a ensayo en dB;  $R_{Ff,w}$  es el índice ponderado de reducción acústica por flancos para cada camino de transmisión  $Ff$ , en dB (ecuación 4) y  $n$  es el número de elementos de flanco en el recinto, normalmente  $n=4$ .

$$R_{Ff,w} = \frac{R_{F,w} + R_{f,w}}{2} + K_{Ff} + 10 \log \frac{S_s}{l_0 \cdot l_f} \quad [\text{ec. 4}]$$

Donde  $R_{F,w}$  y  $R_{f,w}$  son los índices de reducción acústica del elemento de flanco en el recinto emisor y receptor;  $K_{Ff}$  es el índice de reducción vibracional;  $S_s$  es el área del elemento separador ( $m^2$ );  $l_f$  es la longitud común de la unión entre el elemento separador y los elementos de flanco (m);  $l_0$  es la longitud de acoplo de referencia = 1m. En la Tabla 1 se muestran los valores de  $K_{Ff}$  y los índices ponderados de reducción acústica,  $R_{Ff}$ , para cada flanco.

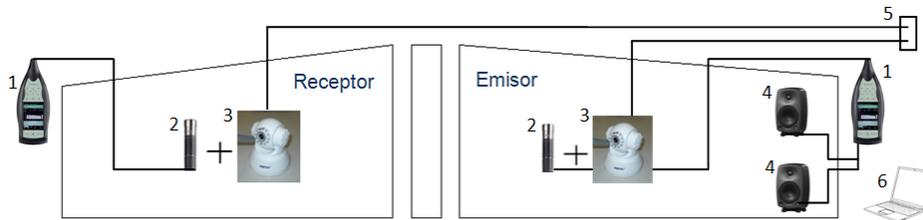
	Transmisiones Flanco-flanco			
	Flanco 1	Flanco 2	Flanco 3	Flanco 4
<b><math>K_{Ff}</math> (dB)</b>	27,7	35,6	27,8	32,0
<b><math>R_{Ff,w}</math> (dB)</b>	68,7	76,1	68,2	66,9

Tabla 1. Índice de reducción vibracional Flanco-flanco para cada unión con el elemento a estudio

#### PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.

Se ha evaluado el aislamiento acústico a ruido aéreo de determinadas configuraciones. Los resultados obtenidos se compararán con resultados teóricos obtenidos mediante simulación con el software de predicción Aisla 3.01 o con resultados obtenidos en un laboratorio

estandarizado. La similitud de esta comparativa nos ofrecerá la validación de la cámara de transmisión como laboratorio de ensayos de tamaño reducido. El procedimiento de ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo sigue las especificaciones de la normativa UNE-EN ISO 10140-2:2011 [6]. En la figura 6 se puede ver un esquema sencillo del conexionado y equipo empleado durante las mediciones.



**Figura. 6. Sonómetro 2250; 2-micrófono 4189; 3-cámara ACQPX; 4-Altavoces Genelec; 5-tomas de red; 6-portátil para control mediante IP de cámaras ACQPX.**

En cada ensayo de aislamiento acústico se mide el tiempo de reverberación en el recinto receptor mediante el método de ruido interrumpido. Para ello se utiliza uno de los altavoces Genelec como fuente de ruido. Además en cada ensayo se comprueba que el ruido de fondo en el recinto receptor sea 15dB inferior al ruido recibido durante el ensayo.

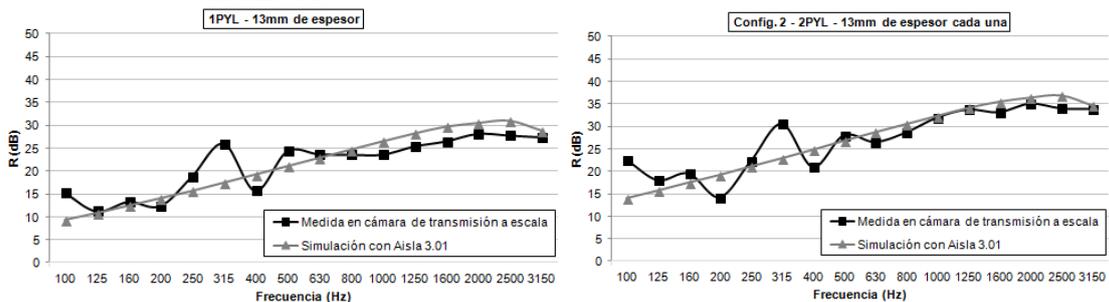
## RESULTADOS

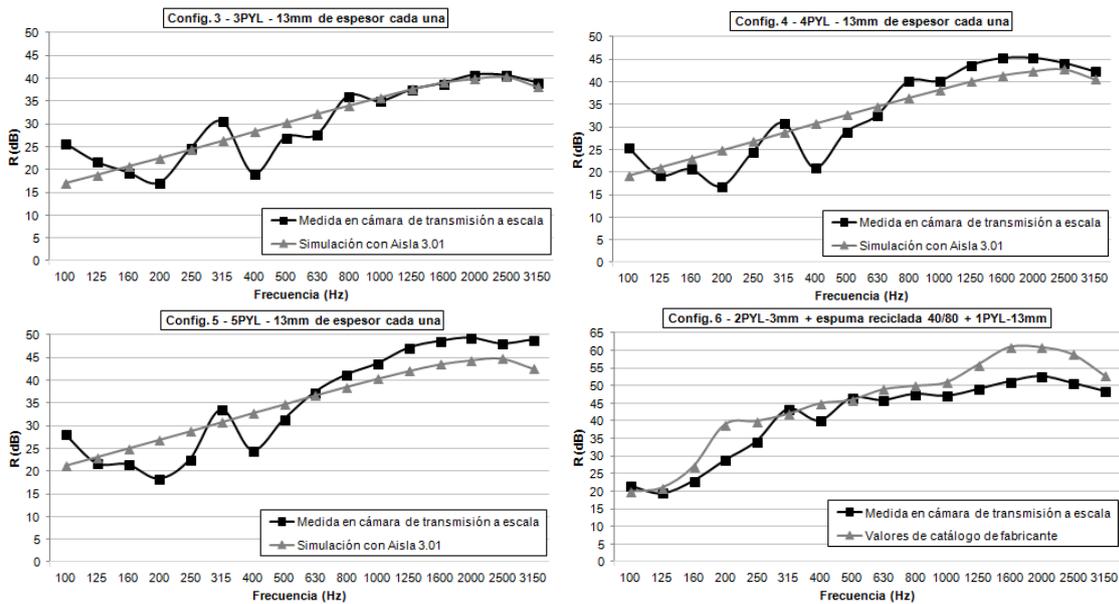
Los materiales a ensayar son materiales ampliamente extendidos en el mercado y de los que conozcamos bien su comportamiento acústico. La finalidad de estos primeros ensayos de calibración, además de buscar la validación de la cámara, es buscar el máximo aislamiento medible en nuestro pequeño laboratorio [7] siempre teniendo en cuenta ciertas limitaciones como, por ejemplo, el espesor del porta-muestras, que nos limita a configuraciones de 80mm de espesor máximo.

Se realizan 5 ensayos para configuración simple (Config. 1 a 5) y un ensayo para configuración doble (Config. 6), entendiéndose por configuraciones dobles aquellas que cuentan con una cámara de aire entre elementos, de al menos 40mm, rellena con material absorbente. Las configuraciones a estudio fueron:

- Configuración 1: Una Placa de Yeso Laminado de 13mm/placa, (1 PYL-13mm)
- Configuración 2: Dos Placa de Yeso Laminado de 13mm/placa, (2 PYL-13mm)
- Configuración 3: Tres Placa de Yeso Laminado de 13mm/placa, (3PYL-13mm)
- Configuración 4: Cuatro Placa de Yeso Laminado de 13mm/placa, (4 PYL-13mm)
- Configuración 5: Cinco Placa de Yeso Laminado de 13mm/placa, (5 PYL-13mm)
- Configuración 6: 2 PYL-13mm + perfilaría de 48mm de espesor rellena de espuma de material reciclado de 40mm de espesor + 1 PYL-13mm

A continuación se muestran los resultados de aislamiento acústico a ruido aéreo para cada una de las configuraciones estudiadas así como su comparativa con valores de simulación obtenidos mediante el software de predicción Aisla 3.01. o con valores obtenidos en cámara de transmisión estandarizada.





**Gráfico 2 a 7. Comparativa entre el índice de reducción acústica medido en cámara de transmisión a escala y valores teóricos o valores de fabricante para cada configuración a ensayo.**

		Configuración a ensayo					
		Config 1	Config 2	Config 3	Config 4	Config 5	Config 6
$R'_w$ (dB)	Simulación	25	31	34	37	39	47
	Cámara a escala	24	30	32	34	36	44
$R_{Dd,w}$ (dB)	Aplicando ec. 3	24	30	32	34	36	44

**Tabla 2. Valores ponderados del índice de reducción sonora para cada configuración a estudio. Simulación, medido "in situ" ( $R'_w$ ) y calculando la influencia de las transmisiones laterales ( $R_{Dd,w}$ )**

En los gráficos anteriores, podemos ver cómo, a pesar de las desviaciones de entre 1 y 3dB en los valores ponderados del índice de reducción sonora, las curvas de aislamiento acústico

obtenidas en la cámara de transmisión a escala mantienen el mismo comportamiento que las predichas mediante el software de simulación Aisla 3.01. Por otra parte, podemos comprobar en la Tabla 2 que las transmisiones laterales Flanco-flanco no influyen en los resultados ponderados del índice de reducción sonora obtenidos en la cámara de transmisión.

## CONCLUSIONES

- Se mejoran aspectos físicos de la cámara de transmisión a escala que mejoran las condiciones de trabajo y minimizan errores que se puedan producir durante el procedimiento de medida, además de suponer un ahorro en tiempo de ensayo y, por tanto, en costes.
- Se evalúa la difusividad del campo sonoro tanto en recinto emisor como receptor y se mejora mediante la introducción de paneles difusores.
- Se estudian las transmisiones laterales F-f y se comprueba que no influyen en los valores ponderados del índice de reducción sonora obtenidos para cada configuración
- Se ensayan un total de 6 configuraciones, a base de placa de yeso laminado de 13mm de espesor, en configuración simple y doble.
- Los resultados obtenidos exponen la validación de la cámara de transmisión a escala como laboratorio de ensayo, de pequeñas dimensiones, para elementos ligeros. Así pues se podrá utilizar para evaluar el aislamiento acústico de nuevos materiales y prototipos en

proceso de desarrollo. Se podrán comparar unos materiales con otros e incluso cuantificar la mejora que puede aportar un determinado producto. Todo esto empleando muestras de alrededor de 0.5m<sup>2</sup> frente a los 10m<sup>2</sup> que necesitaríamos en una cámara de transmisión de tamaño normalizado. Esto supone una disminución de costes importante y, por tanto, una motivación a los fabricantes para desarrollar nuevos productos.

#### **FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO**

Al tratarse de un primer prototipo y validación del mismo, debe estar en constante mejora. Como futura línea de trabajo inmediata, destacar el cambio del porta-muestras por uno de mayor masa y espesor que pueda albergar mayor combinación de elementos o materiales. Por otra parte, estudiar con más detalle la disminución en el índice de aislamiento que se produce, para cada uno de los casos estudiados, a la frecuencia de 400Hz y solventarlo. Se deberían estudiar las transmisiones laterales Flanco-directo y Directo-flanco, corroborando así que no tienen influencia sobre los elementos a estudio y no sólo aplicar el efecto de estas transmisiones laterales al valor ponderado del índice de reducción sonora, sino a todo el espectro de frecuencias de interés. Con cada revisión y mejora, la cámara de transmisión a escala se convertirá en un laboratorio de pequeñas dimensiones cada vez más robusto y fiable para evaluar el aislamiento acústico a ruido aéreo de nuevos materiales o las mejoras que pueden producir al combinarlos con materiales ya existentes y asentados en el mercado.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo ha sido financiado por el instrumento LIFE de la Unión Europea. Project LIFE09 ENV/ES/461: NOISEFREETEX-“DEMONSTRATIVE SOLUTIONS TO REDUCE NOISE POLLUTION IN INDUSTRIAL AREAS, USING FINISHING TECHNOLOGIES IN TEXTILE MATERIALS” y por el proyecto interno de investigación I+D de la UPV titulado “Nuevos Composites con refuerzo de fibras naturales para soluciones acústicas”.



#### **REFERENCIAS**

- [1] UNE-EN ISO 10140-1:2011. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 1: Reglas de aplicación para productos específicos
- [2] <http://noisefreetex.aitex.net/>
- [3] Jesús Alba, Romina Del Rey, Jeniffer Victoria Torres, Laura Bertó, Carlos Hervás. Cámara de transmisión a escala para el estudio de pantallas acústicas. VIII Congreso Ibero-Americano de acústica. Acústica 2012 – 1 a 3 de octubre – Portugal.
- [4] UNE-EN ISO 10140-4:2011. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 4: Procedimiento y requisitos de medición.
- [5] UNE-EN ISO 12354-1:2000: 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.
- [6] UNE-EN ISO 10140-2:2011. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 2: Medición del aislamiento acústico al ruido aéreo.
- [7] UNE-EN ISO 10140-5:2011. Medición en laboratorio del aislamiento acústico de los elementos de construcción. Parte 5: Requisitos para instalaciones y equipos de ensayo.