

## TÉCNICAS DE MEDIDA DE INTENSIDAD SONORA: ESTUDIO PREVIO DE ADECUACIÓN DE LA CÁMARA DE TRANSMISIÓN (\*)

PACS 43.55.Rg

Belén Casla Herguedas<sup>(1)</sup>, Amelia Romero Fernández<sup>(2)</sup>, M<sup>a</sup> Teresa Carrascal García<sup>(3)</sup>, Jose Trujillo Gallego<sup>(4)</sup>

<sup>(1), (2), (3)</sup> Unidad de Calidad en la Construcción. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja IETcc – CSIC

Serrano Galvache 4. 28033 Madrid

<sup>(4)</sup> LABENAC, Laboratorio de Ensayos Acústicos.

Instituto Leonardo Torres Quevedo – C/ Serrano 144. 28006 Madrid

<sup>(1)</sup> [belench@ietcc.csic.es](mailto:belench@ietcc.csic.es), <sup>(2)</sup> [aromero@ietcc.csic.es](mailto:aromero@ietcc.csic.es), <sup>(3)</sup> [tcarrascal@ietcc.csic.es](mailto:tcarrascal@ietcc.csic.es),

<sup>(4)</sup> [jtrujillo@i2a2.upm.es](mailto:jtrujillo@i2a2.upm.es)

### ABSTRACT

The following paper resumes the adaptation procedure followed in a semi-reverberating receiving chamber in order to face sound intensity measurements that require measuring source noise in direct field conditions. A study previous to the execution of the measurements was needed for the acoustical adaptation of the receiving chamber, decreasing reverberation time considerably and creating an appropriate acoustical field for sound intensity measurements.

**Keywords** sound intensity, reverberation, reverberation time.

### RESUMEN

La siguiente comunicación resume el procedimiento de adecuación seguido en una cámara semi-reverberante de recepción para poder afrontar unas medidas de intensidad sonora, que requieren la medición del ruido de la fuente en campo directo. Fue necesario un estudio previo, anterior a la realización de las medidas, para acondicionar acústicamente la sala receptora, disminuyendo considerablemente el tiempo de reverberación y creando un campo acústico apto para las medidas de intensimetría.

**Palabras clave:** intensidad sonora, reverberación, tiempo de reverberación.

(\*) 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 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

Debido a que los ensayos de intensidad requieren la medición del ruido de la fuente en campo directo y las cámaras donde se iban a llevar a cabo dichos ensayos son cámaras de transmisión, fue necesario realizar un estudio previo para acondicionar acústicamente la sala receptora, disminuyendo considerablemente el tiempo de reverberación y creando un campo acústico apto para las medidas de intensimetría.

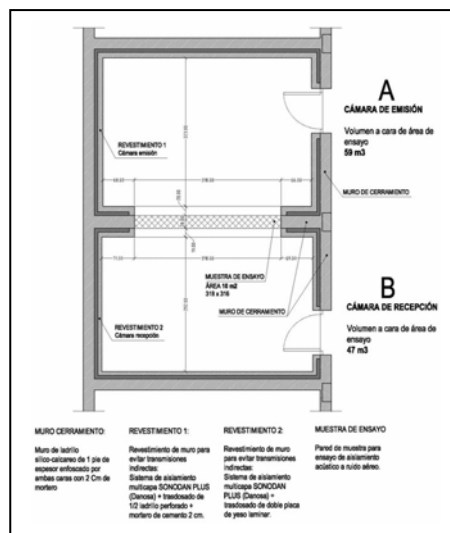
El estudio de intensimetría realizado se basa en la medida y caracterización de tres situaciones distintas para las cuales ha sido necesaria la construcción de un paramento sobre el que se han llevado a cabo los ensayos. Dicho paramento se ha construido en las cámaras de transmisión horizontal sitas en las instalaciones del CSIC en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, en Madrid.

## DESCRIPCIÓN DE LAS CÁMARAS

Las cámaras de transmisión están concebidas para la correcta realización de ensayos de aislamiento a ruido aéreo de paramentos verticales, bajo condiciones de entorno controladas.

Se trata de dos cámaras reverberantes, separadas por un portamuestras (donde se monta el paramento a ensayar). Ambas cámaras están desolidarizadas entre sí, para evitar las transmisiones indirectas de ruido. Los altos tiempos de reverberación de ambas salas aseguran una buena difusión del sonido en el interior de las mismas y, por tanto, un campo reverberante uniforme, fundamental para los ensayos de aislamiento, pero no válido para los ensayos de intensidad.

Se adjunta, en las figuras 1 y 2 la planta de las cámaras, así como sus detalles constructivos y dimensiones.



**Figura 1. Planta acotada de las cámaras de ensayo**

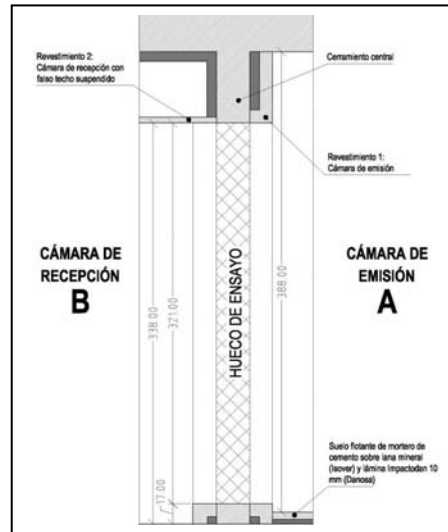


Figura 2. Sección transversal de la cámara de ensayo

### ESTUDIO PREVIO. ACONDICIONAMIENTO DE LA SALA RECEPTORA

El campo sonoro existente en la cámara de recepción (B) es un campo semi-reverberante, en el que el sonido es reflejado tantas veces que se propaga en todas las direcciones con la misma magnitud y probabilidad.

Este tipo de campo acústico, si bien es muy adecuado para el ensayo de aislamiento, no lo es para el ensayo de intensidad acústica, ya que en esta situación la intensidad acústica neta teórica es cero, dado que en un punto dado se contrarresta la intensidad positiva con la negativa, ya que la presión sonora llega desde todas las direcciones y con magnitudes similares debido al predominio de las reflexiones (campo reverberante) frente al campo directo (figura 3).

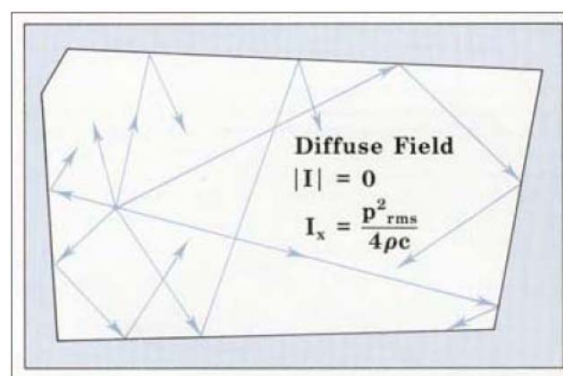
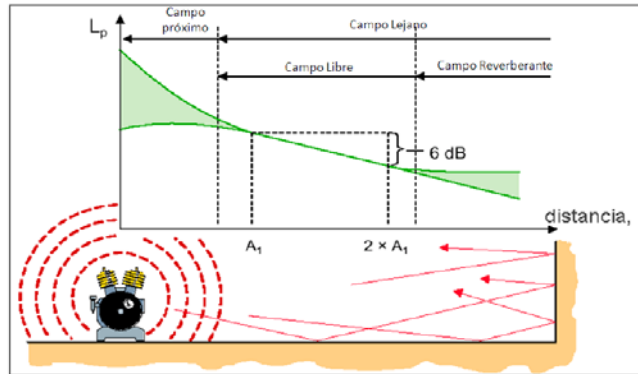


Figura 3. Intensidad acústica nula en un campo difuso (cámara reverberante).

Por lo tanto, no es posible la medida directa de la intensidad sonora bajo estas condiciones acústicas, siendo necesario modificar el campo sonoro, reduciendo las reflexiones en la mayor medida posible, para a aumentar al máximo la distancia del campo reverberante, y aumentando el valor de la distancia crítica (distancia en la cual la energía debida al campo directo es igual

a la energía debida al campo reverberante), de cara a que los ensayos de intensidad se puedan realizar dentro de la zona del campo directo de la sala.



**Figura 4. Evolución con la distancia del nivel de ruido de una fuente en interior**

Para definir qué tipo de actuación se debía hacer sobre la cámara de recepción fue necesario estimar las condiciones iniciales, calculando el tiempo de reverberación que tendría el recinto tras la construcción del paramento y el elemento de ensayo. Para ello se utilizó la fórmula de Sabine, adecuada para obtener un resultado de TR preciso en ambientes reverberantes.

Fórmula de Sabine:

$$TR = \frac{0,162V}{\sum S_i \alpha_i}$$

- Siendo  $V$  el volumen de la sala.
- $S_i$  cada una de las superficies que forman la sala.
- $\alpha_i$  el coeficiente de absorción de cada superficie que forma la sala.

Para el cálculo de la absorción se ha tenido en cuenta, igualmente, la absorción del aire, de acuerdo al método de cálculo siguiente:

Absorción del aire:

$$\alpha_{aire} = 4mV$$

- Siendo  $V$  el volumen de la sala.
- $m$  el coeficiente de absorción por metro, calculado mediante la fórmula:

$$m = 8,94 * 10^4 \frac{f^2}{\rho c^3}$$

- Siendo  $f$  la frecuencia.
- $C$  la velocidad de propagación del sonido en el aire.
- $\rho$  la densidad del aire para una temperatura dada.

Las condiciones ambientales utilizadas son:  $T= 25$  °C; la velocidad del sonido a esa temperatura  $c=346,1$  m/s; y la densidad del aire  $\rho=1,184$  kg/m<sup>3</sup>.

El estudio se ha realizado en bandas de octava, en el rango de frecuencias desde la banda de octava de 125 Hz a la de 4000 Hz.

Los datos de los coeficientes de absorción de las distintas superficies de la cámara se han obtenido de bases de datos de materiales, y de acabados similares o parecidos a los que dispone la cámara, por lo que de los resultados de esta simulación se espera obtener, únicamente, un orden de magnitud de los tiempos de reverberación en la situación actual, que nos permita dimensionar el tratamiento específico necesario.

Se adjunta la tabla con los valores de coeficiente de absorción estimados de las distintas superficies que forman el recinto, así como el área asociada a cada una de las superficies definidas en las condiciones iniciales.

<b>COEFICIENTES DE ABSORCIÓN (<math>\alpha</math>) EN SITUACIÓN INICIAL</b>								
<b>MATERIAL</b>	<b>CARA</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>						<b>ÁREA m<sup>2</sup></b>
		<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>	
<b>LADRILLO + ENLUCIDO DE YESO</b>	MUESTRA	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	8.1
<b>VIDRIO</b>	VENTANA	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	1.9
<b>PLACA DE YESO</b>	LAT-IZQ	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	10.2
<b>PLACA DE YESO</b>	LAT-DER	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	8.9
<b>PLACA DE YESO</b>	POSTERIOR	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	16
<b>PLACA DE YESO</b>	FRONTAL	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	6.2
	PUERTA	0.25	0.34	0.18	0.10	0.10	0.10	1.3
<b>PLANCHA ESCAYOLA</b>	TECHO	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	13.4
<b>HORMIGÓN PINTADO</b>	SUELO	0.1	0.09	0.08	0.09	0.1	0.1	13.4
<b>AIRE</b>		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	

Una vez aplicadas las fórmulas correspondientes se obtienen los siguientes tiempos de reverberación.

<b>TIEMPO DE REVERBERACIÓN SABINE POR FRECUENCIAS (SEGUNDOS)</b>					
<b>125 Hz</b>	<b>250 Hz</b>	<b>500 Hz</b>	<b>1000 Hz</b>	<b>2000 Hz</b>	<b>4000 Hz</b>
2.6	2.4	2.2	1.9	1.8	1.9

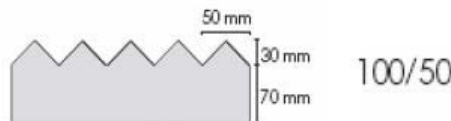
Para poder obtener un campo adecuado para la correcta medida de intensidad del paramento bajo estudio, es necesario reducir los tiempos de reverberación de la sala hasta unos valores inferiores a los 0,5 segundos en todo el rango de frecuencias de interés (desde la banda de octava de 125 Hz a 4000 Hz).

Tras un estudio de diversos materiales absorbentes, se decidió utilizar planchas con estructura piramidal de la firma *Porosonic*, modelo *Pinta pirámide* utilizado en recintos donde se precisan unos tiempos de reverberación muy bajos.



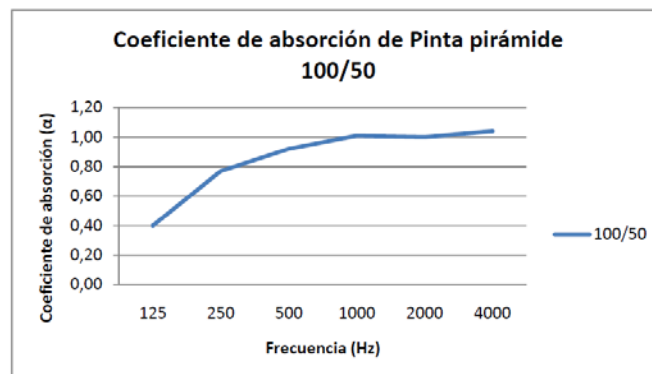
**Figura 5. Panel absorbente Pinta pirámide de la marca Porosonic.**

El producto está formado por planchas de base rectangular de 1,2 x 0,6 m y un espesor total de 0,1 m con acabado piramidal de base cuadrada de 0.05 m y 0.03 m de profundidad, de acuerdo al esquema de la figura 10. El material que forma el producto es espuma blanda en base de resina de melanina, color gris perla de densidad  $11 \pm 2$  kg/m<sup>3</sup>.



**Figura 6. Dimensiones del acabado de las planchas Pinta pirámide de Porosonic.**

En la figura 7 se muestra el coeficiente de absorción del material empleado en función de la frecuencia (según datos del fabricante).



**Figura 7. Coeficiente de absorción de Pinta pirámide 100/50 en bandas de octava.**

Otras características del material *Pinta pirámide* son:

- El comportamiento al fuego corresponde a la Clase B1 (difícilmente inflamable) según norma UNE 23727.
- Alta resistencia a la temperatura 60°C hasta +150°C, para periodos cortos hasta +25°C.
- Bajo peso.
- Gran absorción en un amplio espectro de frecuencias.
- En caso de incendio no gotea (auto extingible).
- Buenas propiedades de aislamiento térmico.
- Es posible la combinación con otros materiales.
- Libre de fibras minerales, que pueden producir fibrosis pulmonar.

Los motivos por los que se utilizaron las planchas de la firma *Porosonic* son los siguientes:

- Su coeficiente de absorción es alto en toda la gama de frecuencias de interés.
- El material se puede colocar y retirar sin necesidad de obra o instalación, y con baja probabilidad de sufrir deterioros importantes en las tareas de recogida y colocación.
- Está compuesto de un material limpio (no suelta partículas) por lo que se hace manejable.
- La sencillez de colocación hace que sea más sencillo instalarlo de forma "repetitiva", haciendo que las condiciones de ensayo sean lo más parecidas posible en las tres sesiones de medida.
- El tamaño y forma de las planchas hace que se puedan optimizar los huecos, y cubrir la mayor parte de la superficie de la cámara.

En el estudio teórico se evaluó, en función de los tamaños de las planchas cual podría ser la colocación dentro de la cámara y, por tanto, que cantidad de área se podría cubrir.

Se estimó el uso de 40 planchas de 1,2 x 0,6 m colocadas cubriendo la mayor superficie de suelo, y las paredes laterales y trasera de la sala receptora.

Tras aplicar la fórmula de Sabine se obtienen los resultados dados a continuación.

COEFICIENTES DE ABSORCIÓN ( $\alpha$ ) CON LA SALA TRATADA								
MATERIAL	CARA	Frecuencia (Hz)						ÁREA m <sup>2</sup>
		125	250	500	1000	2000	4000	
LADRILLO + ENLUCIDO DE YESO	MUESTRA	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.01	8.1
VIDRIO	VENTANA	0.035	0.04	0.027	0.03	0.02	0.02	1.9
PLACA DE YESO	LAT-IZQ	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	4.2
POROSONIC-PIRAMID 100/50 (1.2*0.6)	LAT-IZQ	0.4	0.77	0.92	1.01	1	1.04	6.0
PLACA DE YESO	LAT-DER	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	6.4
POROSONIC-PIRAMID 100/50 (1.2*0.6)	LAT-DER	0.4	0.77	0.92	1.01	1	1.04	2.5
PLACA DE YESO	POSTERIOR	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	5.3
POROSONIC-PIRAMID 100/50 (1.2*0.6)	POSTERIOR	0.4	0.77	0.92	1.01	1	1.04	10.8
HORMIGÓN PINTADO	SUELO	0.1	0.09	0.08	0.09	0.1	0.1	3.3
POROSONIC-PIRAMID 100/50 (1.2*0.6)	SUELO	0.4	0.77	0.92	1.01	1	1.04	10.1
TECHO PLANCHA ESCAYOLA	TECHO	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05	0.06	13.4
PLACA DE YESO	FRONTAL	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	6.2
MADERA CONTRACHAPADA	PUERTA	0.25	0.34	0.18	0.1	0.1	0.1	0.5
POROSONIC-PIRAMID 100/50 (1.2*0.6)	PUERTA	0.4	0.77	0.92	1.01	1	1.04	0.7
AIRE		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	

Obteniéndose a partir de estos datos los siguientes tiempos de reverberación:

TIEMPO DE REVERBERACIÓN SABINE POR FRECUENCIAS (SEGUNDOS)					
125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0.6	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2

Por lo tanto, se puede concluir que, a nivel teórico, la instalación de estas planchas debería reducir sustancialmente los tiempos de reverberación del recinto receptor, dejando un campo adecuado para la medida de la intensidad sonora.

### **ACONDICIONAMIENTO DE LA SALA**

Para asegurar que el campo sonoro en la sala receptora fuera el adecuado para la medición de intensidad, en cada sesión se montaron los paneles Pinta pirámide, de tal manera que se aprovechara su máxima superficie de absorción por el suelo y las paredes y de tal forma que su colocación/sustitución fuera sencilla y fácilmente reproducible, tal y como se puede observar en la figura 8.



*Figura 8. Disposición de los paneles absorbentes en la cámara de recepción*

Tanto para poder posicionar los trípodes de cara a realizar las medidas de intensidad acústica como para evitar superficies muy absorbentes cerca de la fuente radiante, se dejó un pasillo de acceso al porta-muestras sin recubrir con los paneles absorbentes, como se muestra en la figura 9.



*Figura 9. Detalle del corredor libre de paneles absorbentes delante del porta-muestras en la cámara de recepción*

De cara a valorar la idoneidad del campo sonoro se realizaron mediciones de tiempo de reverberación con la sala tratada, comprobando así los tiempos de reverberación reales, y pudiendo ser comparados con los valores estimados. Para cada escenario se midió el tiempo



de reverberación en tres posiciones de micrófono, con dos repeticiones en cada posición, mediante el método de fuente impulsiva (total seis medidas).

## **CONCLUSIONES**

Tras el análisis del estudio teórico realizado para conocer las condiciones iniciales del ambiente acústico de la sala receptora, y, por tanto, para dimensionar el acondicionamiento necesario para la medida de intensidad se observa lo siguiente:

- Los resultados de las medidas de Tiempo de reverberación reales, medidos en condiciones de cámara vacía (sin tratamiento acústico) son del mismo orden que los estimados.
- Las diferencias son debidas a que el estudio teórico ha usado bases de datos de absorción de materiales, que no son exactamente los que componen la cámara, sino aproximaciones.
- Una vez tratada la cámara los resultados medidos y los teóricos se aproximan mucho más, puesto que predomina el efecto del material de tratamiento acústico Porosonic, del que sí se tiene una curva real de su absorción, por lo que los errores de estimación disminuyen.
- Por tanto, se ha cumplido el objetivo marcado en la simulación, y el material instalado da los resultados esperados de adecuación de campo acústico para el ensayo de intensidad.

En cuanto a la adecuación del campo acústico, cabe señalar que tras el tratamiento acústico del local receptor con el material absorbente la medida del Tiempo de reverberación refleja unos resultados siempre inferiores a 0,7 segundos y por debajo del medio segundo desde los 200 Hz., lo que hace que el campo sea adecuado para los ensayos de intensidad.

## **REFERENCIAS**

- [1] Documento Básico HR Protección frente al ruido. Abril 2009.
- [2] UNE EN ISO 3382 para tiempo de reverberación.
- [3] UNE EN ISO 354: 2004 Acústica. Medición de la absorción acústica en una cámara reverberante. (ISO 354: 2003)