

USO DE TÉCNICAS DE INTENSIDAD SONORA Y BEAMFORMING COMO HERRAMIENTAS DE DETECCIÓN DE DEBILITAMIENTOS ACÚSTICOS EN SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

REF PACS: 43.55.RG

Canella Fernández, Andrés¹; Frutos Vázquez, Borja¹; Olaya Adán, Manuel¹; Liaño Aguilar, José²

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC)¹

Calle Serrano Galvache nº4 28033 Madrid (España)

Tel: +34 91 3020440 Fax: +34 91 3020700

Email: andres.canella@ietcc.csic.es; borjafv@ietcc.csic.es; olaya@ietcc.csic.es

Álava Ingenieros²

Calle Albasanz (Edificio Antalia) nº16 28037 Madrid (España)

Tel²: +34 91 5679700 Fax²: +34 91 5702661

Email: jliano@alava-ing.es

RESUMEN:

El uso de técnicas avanzadas en vibroacústica puede ser válido para la detección de debilitamientos de soluciones constructivas en ensayos no destructivos. El análisis de patologías en soluciones construidas constituye una fuente de conocimiento para poder acometer una rehabilitación acústica con una optimización de recursos y en pos de una máxima efectividad.

El Laboratorio de Acústica del Instituto Eduardo Torroja ha contado con la colaboración de la empresa Álava Ingenieros con objeto de determinar el alcance de técnicas avanzadas como BeamForming e Intensidad sonora, propuestas para la pretensión citada. Se ofrecen los resultados preliminares de las experiencias llevadas a cabo.

ABSTRACT:

The use of advanced techniques in vibroacoustic may be valid for the detection of weakness in constructive solutions with not destructive test. Analysis of Pathologies in buiding is a source of knowledge to undertake a acoustic rehabilitation and resource optimization towards maximum effectiveness. Acoustics Laboratory IETcc has enjoyed the cooperation of the company Alava Ingenieros to determine the scope of advanced techniques such as beamforming and sound intensity, proposals for the claim above. Preliminary results are available from the experiments carried out.

1. INTRODUCCIÓN

El confort en un recinto cerrado viene establecido por una serie de parámetros o umbrales en base a las posibles molestias asociadas que puedan sufrir los usuarios en los diferentes ámbitos evaluables, entre los que encontramos aspectos de confort acústico. Para conseguir un espacio con unos niveles de calidad acústica se deben tener controlados los focos de ruido, los caminos de transmisión del mismo, y los elementos constructivos de atenuación acústica. La modificación de la normativa acústica de referencia, en el ámbito de la edificación, ha culminado con la edición del Documento Básico de Protección frente al Ruido del Código Técnico de la Edificación con fecha de aprobación el 19 de octubre de 2007 [1]. Dicho texto introduce unas nuevas exigencias de aislamiento acústico a los elementos constructivos que van enfocadas a mejorar la calidad acústica de los recintos. Por otro lado, en el mismo documento, se establecen una serie de criterios de diseño para minimizar las transmisiones por flanco que son causantes de debilitamientos acústicos.

Las mediciones que se han venido realizando a diferentes elementos constructivos, tras la entrada en vigor de dicho documento, han arrojado resultados con una mejora notable en los índices de aislamiento, que viene a demostrar la eficacia de las soluciones propuestas en el CTE y de los criterios de diseño descritos.

Sin embargo, en la campaña de medidas que realiza el Laboratorio de Acústica Arquitectónica del Instituto Eduardo Torroja, se han observado casos con graves desviaciones entre el resultado obtenido y el esperado. Se ha podido comprobar que dichas desviaciones tienen su origen en ciertas patologías asociadas a distintos fenómenos físicos que pueden aparecer en el estado vibracional de las soluciones constructivas y que, en la mayoría de los casos, se encuentran asociadas a faltas de estanqueidad o a uniones rígidas entre elementos sólidos no previstas en el diseño.

El estudio, mediante técnicas no destructivas, de las posibles causas en la merma del aislamiento acústico, constituye un campo de trabajo de útil aplicación en el ámbito de la rehabilitación con fines de mejora acústica. Es posible incrementar las prestaciones de un elemento si se eliminan los debilitamientos acústicos del mismo evitando así la necesidad de sustituirlo por otro o suplementar con otras capas.

En esta línea, el Laboratorio de Acústica del Instituto, contando con la colaboración de la empresa Álava Ingenieros, está poniendo en marcha técnicas avanzadas de análisis acústico enfocadas a la detección de dichos debilitamientos. En concreto, técnicas de mapeado acústico mediante ensayos de intensidad, con herramientas como un array acústico y también con una sonda acústica para llevar a cabo estudios de intensimetría y localización de fuentes sonoras, están siendo probadas y analizadas con el fin de acotar sus posibilidades en el ámbito de la investigación dentro del sector de la construcción.

En este artículo se describen las técnicas desde su concepción teórica, los ámbitos de aplicación actual, y finalmente el análisis de su aplicabilidad en las tareas aquí descritas. Se ofrecen resultados concretos en la detección de patologías en diferentes elementos ensayados estudiados con las distintas técnicas.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LAS TÉCNICAS AVANZADAS DE LOCALIZACIÓN ESPACIAL DE FUENTES SONORAS.

Desde hace décadas la ingeniería acústica se ha ocupado de desarrollar técnicas y métodos para la localización espacial de fuentes sonoras y focos de mayor sonoridad. Los métodos en uso hoy en día son los siguientes:

- Intensimetría acústica
- Beamforming
- Holografía acústica en campo cercano (NAH). No se desarrolla en este artículo.
- Holografía irregular (iNAH). No se desarrolla en este artículo.

La elección de la técnica más adecuada en cada caso depende de un número de factores:

1. Resolución espacial. Es la mínima distancia entre dos fuentes de manera que aparezcan separadas y no como una sola fuente.
2. Distancia hasta la fuente desde los micrófonos o sondas. Las diferentes técnicas requieren la colocación de los sensores en campo cercano o lejano, esto ofrece limitaciones en cuanto a la distancia a la que nos podemos situar de la fuente.
3. Campo sonoro. La mayoría de las formulaciones matemáticas que emplean los algoritmos de localización asumen condiciones de campo libre. De no ser así, es necesario la elección de otras técnicas y sistemas o tener un alto control de las reflexiones producidas por el entorno.
4. Rango de frecuencias. En la práctica, todos los métodos de localización de fuentes sonoras están limitados en frecuencia, por motivos teóricos, inherentes a la tecnología, tiempo de ensayo o costes.
5. Régimen estacionario o transitorio. Los métodos de localización que requieren un barrido de la sonda no son válidos para régimen transitorio, siendo necesaria la utilización de un matriz de sensores y un sistema de adquisición multicanal.

A continuación expondremos los fundamentos teóricos de las dos técnicas objeto de este artículo (intensimetría acústica y beamforming) así como sus limitaciones.

2.1 Intensimetría

La intensidad sonora es la energía por unidad de tiempo (1 s) que fluye a través de un área unitaria (1 m²). La intensidad sonora es un vector (magnitud y dirección).

Se puede medir con dos tipos de sondas:

- sondas P-P (fig.1 izda.): dos micrófonos separados por un espaciador de longitud conocida. Es la más utilizada.
- sondas P-v (fig.1 derecha): un micrófono y una sonda que mide directamente la velocidad.

El tipo de sonda más utilizado es sin duda la P-P [2] por lo que a partir de ahora nos referiremos a las mediciones realizadas con este tipo de sonda únicamente.



Fig. 1 Izda. Sonda P-P; Dcha: sonda P-v

El procedimiento para localización de fuentes mediante intensimetría consiste en medir la intensidad mediante la sonda y un analizador de dos canales en diferentes puntos de una cuadrícula hasta obtener una representación gráfica de la intensidad acústica (ver fig.2). Para

la correcta realización del mapa de intensidad es necesario por tanto un proceso manual (costoso en tiempo) o con un robot (costoso en dinero).

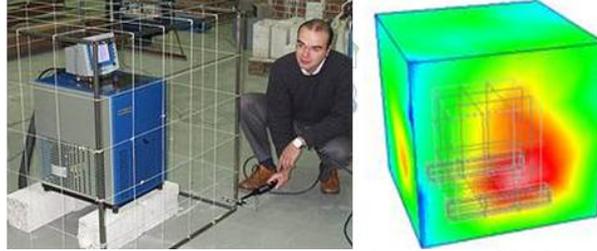


Fig. 2 Medición de intensidad acústica (Fuente: OROS)

La intensidad acústica se obtiene como el producto de la presión por el vector velocidad (ec. 1).

$$\vec{I} = P \times \vec{v} \quad (\text{ec. 1})$$

El método consiste en calcular por aproximación tanto la presión como la velocidad de partícula en el punto medio entre los dos micrófonos. Para ello se posicionan entre ambos, unos espaciadores de distintas longitudes.

Dicha longitud condicionará la frecuencia máxima para la cual se puede utilizar el sistema, mientras que la frecuencia mínima viene determinada por el error de fase de la cadena de medida.

Para una misma sonda con micrófonos de 1/2", cambiando el espaciador, se puede cubrir un amplio rango de frecuencias desde 30 Hz a 10 kHz. Por ejemplo, con un espaciador de 100mm se puede alcanzar desde los 30 hasta los 1000 Hz aproximadamente, de este modo se cubre el estudio para bajas, mientras que con un espaciador de 6 mm se evaluarían medias-altas frecuencias, es decir en el rango de 500 a 20 kHz.

2.2 Beamforming

La técnica Beamforming [3] no sólo se utiliza para la localización espacial de fuentes sonoras, sino en otros campos tales como: radiofrecuencia (antenas directivas), acústica submarina (sónares) y micrófonos de alta directividad.

Consiste en la utilización de un matriz (array) de micrófonos y un sistema de adquisición multicanal que graba simultáneamente la señal de todos los micrófonos. Con un procesamiento, que se puede realizar en el dominio del tiempo o de la frecuencia, se obtiene un mapa sonoro de la fuente. Los arrays incluyen una cámara de vídeo lo que permite representar el mapa sonoro sobre la imagen real.

El uso combinado de beamforming en campo lejano y en campo cercano permite, con el mismo array, hacer primer análisis general y, una vez localizadas las zonas de interés, acercarnos para localizar las fuentes con precisión. Según nos acerquemos a la fuente la resolución espacial mejorara, ampliando de este modo el rango de trabajo a frecuencias bajas.

Si representamos este límite de frecuencias en un diagrama, como el de la fig. 3, podemos observar cómo la resolución de la técnica beamforming empeora con la disminución de la frecuencia. Por tanto, para una resolución típica de entre 15 cm y 25 cm la técnica beamforming puede emplearse con garantías para frecuencias por encima de 500 Hz o 1 kHz, en función del tamaño del array.

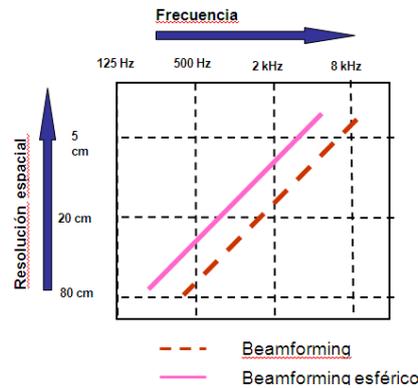


Fig. 3 Limitación a baja frecuencia de la técnica beamforming

3. ENFOQUE DE LAS TÉCNICAS EN EL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN.

En la actualidad los procedimientos habituales para la evaluación del aislamiento acústico de distintos tipos de soluciones constructivas vienen recogidos en el grupo de normas UNE EN ISO 10140 para laboratorio y UNE EN ISO 140 para mediciones in situ. Dichas normas establecen el rango frecuencial evaluable, para un elemento bajo estudio, desde los 50Hz hasta los 5000 Hz. Para esto se excita mediante ruido rosa la sala emisora y se registran los niveles tanto en dicha sala como en la receptora. El valor de aislamiento acústico se calcula mediante la diferencia de estos niveles corregidos por el ruido de fondo y el tiempo de reverberación de la sala receptora.

El espectro audible de una persona normal se encuentra entre 20-20000Hz, por lo que existe la posibilidad de que la evaluación de acuerdo a las normas UNE citadas no recoja alguna afección acústica que pueda mermar la calidad del confort en un recinto.

Las técnicas de localización de fuentes sonoras, aplicadas con el fin de buscar patologías acústicas como debilitamientos o puentes acústicos, son trabajos complementarios al estudio del comportamiento de un cerramiento. Estas técnicas tienen su mayor grado de aplicabilidad en procesos de mejoras o rehabilitaciones en edificación.

Para la realización de este tipo de ensayos en la búsqueda de mermas acústicas en elementos constructivos, el procedimiento de trabajo se lleva a cabo disponiendo una fuente sonora, generando ruido rosa en la cámara emisora, mientras que en la sala receptora se disponen los dispositivos de evaluación.

En el caso del Beamforming mediante array acústico, el sistema de adquisición de datos ofrece una simplificación de manejo y celeridad a la hora de poder visualizar las posibles patologías en un elemento constructivo.

Este mapa se genera mediante cálculos gracias a las diferencias de presión que los micrófonos registran y la distancia entre ellos mismos y el elemento. Con estos datos el procesador representa sobre la imagen captada por la cámara el mapa de afección acústica, entendiendo ésta como los puntos donde el sistema localiza zonas de mayores niveles de presión correspondientes a priori con debilidades acústicas del cerramiento.

Para este trabajo el dispositivo solo precisa una posición de array enfocando el elemento o zona que se desea evaluar, tratando que para ésta existan las mínimas reflexiones posibles y que el nivel de ruido de fondo sea despreciable.

La técnica de localización de fuentes sonoras mediante sonda de intensidad acústica exige un procedimiento más exhaustivo y con un mayor tiempo de toma y postprocesado de datos [4],

puesto que es necesario un muestreo en diversos puntos del paramento bajo ensayo para poder localizar los debilitamientos o puentes.

Para ello se marca como protocolo para la realización del estudio, una rejilla rectangular mediante la cual se determinan los distintos puntos donde realizar los registros. Será necesario un calibrado previo del sistema para comprobar el correcto funcionamiento de los dos micrófonos implicados en la evaluación de la intensidad acústica.

4. APLICACIÓN EN CASOS PRÁCTICOS

En el Laboratorio de Acústica Arquitectónica del Instituto Eduardo Torroja se está llevando a cabo la aplicación de dichas técnicas de análisis avanzado para la evaluación del comportamiento singular de diferentes elementos constructivos.

Los ensayos se están realizando en las cámaras acústicas, fig. 4, las cuáles se componen de una emisora de 59 m³ y una receptora de 51,6m³, la muestra sobre las que se realizan las diferentes pruebas tiene una superficie de 10 m².

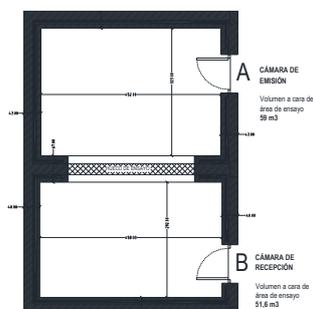


Fig. 4 Cámaras de ensayos del Laboratorio de Acústica.

Con el fin de solventar efectos indeseados debidos a las reflexiones se procede a disponer paneles de material absorbente en el perímetro de la sala donde se disponen los equipos de evaluación, teniendo finalmente un valor de área de absorción acústica de 16,5m².

El primer ensayo realizado se llevo a cabo sobre un cerramiento modular de vidrio multicapa diseñado como solución para fachadas, tipo muro cortina, fig 5.

En esta parte práctica, se trató de localizar puntos de debilitamiento acústico que pudieran aparecer debido al anclaje de las diferentes partes de las que se compone el sistema constructivo.



Fig. 5 Evaluación de puentes acústicos en un muro cortina

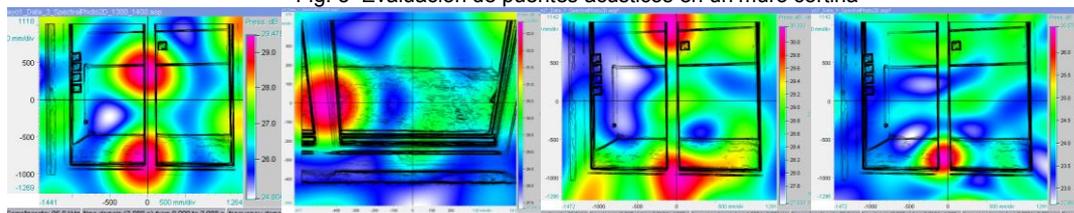


Fig. 6 Mapa acústico de patologías mediante Beamforming.

En las imágenes del mapa acústico, fig.6, obtenido tras la evaluación, se pueden observar las diferencias de nivel de presión, siendo coincidentes las zonas de mayor valor con la parte central del cerramiento, desde éstas a las de menor se encuentran unas diferencias de 3 a 5 dB, para frecuencia desde 1000 a 2500 Hz.

Los puntos de mayor incidencia son coincidentes con la zona de unión de las dos hojas que componen la solución constructiva. Esta afección indica que, posiblemente debido al machihembrado de éstas se ha podido crear un debilitamiento acústico al no estar perfectamente ejecutado, o bien debido al propio diseño de la unión.

Para bajas frecuencias (<1000Hz) y altas frecuencias (>3000Hz), no se han podido obtener resultados concluyentes como se puede observar en las siguientes imágenes, fig 7.

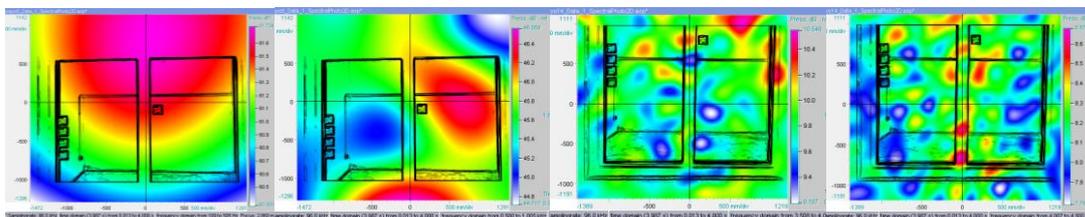


Fig. 7 Limitaciones acústicas de la técnica de mapeado acústico mediante array..

La imposibilidad de interpretación de los mapas de intensidad acústica en baja frecuencia se deben en parte por limitaciones presentadas por las técnicas utilizadas (ver apartado 2) para realizar el estudio.

En altas frecuencias se pueden visualizar zonas de mayor presión sonora que se corresponden con la unión del sistema, a su vez se observan en puntos donde debido a las características del sistema y su montaje es conocido que no pueden existir puntos de afección. Estas desviaciones se pueden deber a reflexiones dado que nos encontramos evaluando un elemento compuesto por multicapas de vidrio, favoreciendo altamente la aparición de éstas.

Alava Ingenieros ha llevado a cabo diferentes pruebas sobre un cerramiento compuesto por una hoja de vidrio simple con una puerta del mismo material, con el fin de localizar los posibles puentes o fugas acústicas debidas al anclaje del cerramiento con la parte móvil así como las holguras debido a la distancia suelo-puerta.

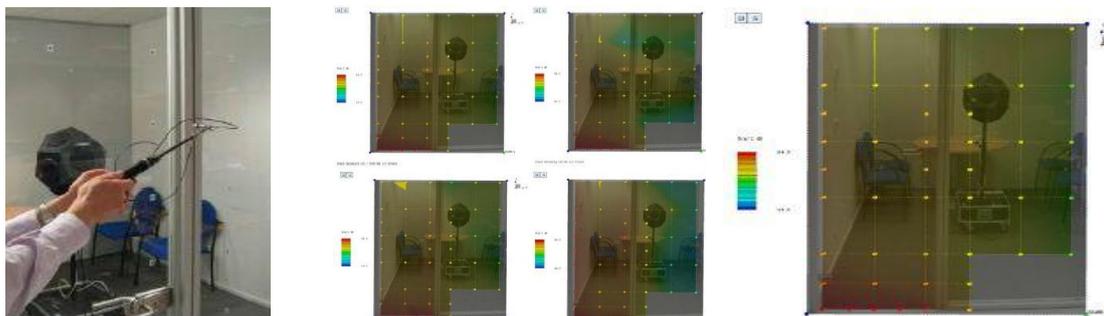


Fig. 8 Evaluación de debilitamientos acústicos mediante sonda de intensidad acústica.

En el ensayo llevado a cabo, fig. 8, se puede visualizar cómo la mayor incidencia acústica se encuentra en la parte inferior del sistema, ya que es la parte donde el sistema constructivo tiene su mayor debilitamiento.

Dado que la rejilla utilizada es demasiado amplia para el estudio del comportamiento acústico del sistema constructivo, no se logran localizar otros puntos de afección acústica que a priori deberían poder localizarse cómo son las juntas de la parte móvil tanto en sus laterales cómo en la parte superior.

5. CONCLUSIONES

Se han mostrado los resultados de unos estudios de detección de debilitamientos acústicos mediante análisis con técnicas no destructivas.

Con los ensayos llevados a cabo hasta la actualidad, se puede determinar que la técnica de localización de puentes/debilitamientos acústicos mediante Beamforming, ofrece buenos resultados para medias y altas frecuencias, localizando con mucha precisión las debilidades acústicas del elemento constructivo bajo estudio.

Sería necesario profundizar en el estudio de la aplicabilidad del método para ampliar el rango de frecuencias efectivo. En algunas bandas, debido al alto aislamiento de la muestra, y a las reflexiones internas, no ha sido posible obtener un resultado concluyente.

Para eliminar las desviaciones debidas a reflexiones en el caso del ensayo mediante el array acústico se puede disponer de un micrófono adicional donde aparece el posible error, de este modo el sistema corrige el mapa acústico de manera automática.

Debido al espacio disponible en las cámaras acústicas del Laboratorio no ha sido posible realizar el estudio del paramento bajo ensayo de manera integral mediante la técnica de Beamforming, dado que el dispositivo de captación de imagen no consigue capturar el cerramiento en su totalidad, por lo que se ha realizado el estudio de la solución constructiva por partes.

La técnica de sonda de intensidad acústica permite realizar el ensayo de evaluación de manera integral dado que se lleva a cabo sobre una rejilla en toda la superficie y el mapa acústico se superpone sobre una imagen tomada mediante otro dispositivo.

Los ensayos de localización de debilitamientos acústicos mediante sonda acústica exigen un mayor número de toma de registros así como un protocolo estricto en cuanto a la toma de puntos, varias repeticiones para controlar la incertidumbre y el intercambio de los espaciadores entre los micrófonos, por lo cual hace que la evaluación de las soluciones constructivas sean de mayor duración, más tediosas y con mayor complejidad en el postprocesado de los datos.

La complejidad de procesado de estas técnicas obliga a profundizar en su estudio con el fin de acotar su aplicabilidad. La interpretación de los resultados obtenidos debe realizarse tras la experimentación sistemática de muestras con debilitamientos simulados.

REFERENCIAS

- [1] REAL DECRETO 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico «DB-HR Protección frente al ruido» del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.
- [2] Egea, E. Latorre, C. Sánchez, C. Rodrigues. "Comparison of two sound intensity in situ measurement techniques to calculate the sound power level of a noise source". Internoise 2010 Lisbon.
- [3] C. Schulze, E. Sarradj, A. Zeibig, "Characteristics of microphone arrays", Internoise 2004, Prague.
- [4] Machimbarrena M., Jonasson H.G., González J. y Sánchez, J.I. Some problems associated with sound intensity measurements of sound insulation Proceedings of Internoise 98, Christchurch, New Zealand