



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

APLICACIONES DE LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE RUIDO EN ACÚSTICA DE EDIFICIOS

PACS: 43.55.Rg

Alloza Frutos, Pablo¹; Böck, Magdalena²
gfai tech gmbh
Volmerstrasse 3
12489 Berlín
Alemania

¹Tel: +34 611495353, e-mail: alloza@gfai.tech

²Tel: +49 30814563756, e-mail: boeck@gfai.tech

Palabras Clave: Beamforming, localización sonora, puentes acústicos, reflexiones

ABSTRACT

Noise source location in room and building acoustics has a direct practical application. Thus offering a new point of view that provides novel solutions to several challenges from acoustic leakage detection, structural transmission analysis to 3D visualization of the sound reflections inside rooms. This publication presents the technology of noise sources localization through beamforming, it introduces the principle of operation and the different array typologies and concludes with three examples of applications in building acoustics: Acoustic leakage detection on doors and windows, visualization of the reflections inside complex rooms and visualization of structural transmissions between apartments.

RESUMEN

La localización de fuentes de ruido tiene una aplicación directa en la acústica de edificios y la acústica de salas ofreciendo un nuevo punto de vista que aporta soluciones novedosas a diferentes problemáticas. Desde identificación de puentes acústicos, verificación de transmisiones estructurales hasta visualización en 3D de las reflexiones en el interior de un recinto. En esta publicación se presenta la tecnología de localización de fuentes de ruido basada en beamforming, realizando una introducción a su principio de funcionamiento y las tipologías de arrays de micrófonos finalizando con tres ejemplos de aplicación en entornos de Acústica Arquitectónica: Localización de puentes acústicos en puertas y ventanas, visualización de las reflexiones en el interior de un recinto complejo y visualización de transmisiones estructurales entre viviendas.



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

INTRODUCCIÓN

La técnicas de localización de fuentes de ruido tienen un aplicación directa en el sector de la Acústica Arquitectónica; desde la localización de puentes acústicos en paramentos, elementos de fachada o juntas de estanqueidad a la visualización y análisis completo de las reflexiones de producidas en el interior de un recinto a partir de un evento impulsivo.

La utilización de este tipo de tecnología no es una sustitución de las mediciones de aislamiento acústico a ruido aéreo, la evaluación de niveles de ruido o la determinación de índices de inteligibilidad y Tiempo de Reverberación; nos ofrecerá una información adicional a los datos utilizados hasta ahora, pudiendo visualizar sobre fotografías, vídeos o modelos 3D los puentes acústicos, las zonas de mayor reflexión (y menor absorción), o la propagación estructural a través de paramentos; en resumen, visualizando el sonido y su comportamiento en cada casuística o escenario.

Existen diferentes técnicas de localización de fuentes de ruido, siendo las más utilizadas:

- BEAMFORMING: Localización basada en la evaluación de los retardos temporales y desfases que se producen entre las fuentes de ruido y los micrófonos receptores.
- INTENSIMETRÍA: Basada en pares de micrófonos que permiten calcular la intensidad mediante el producto de la velocidad de las partículas por la presión sonora. Principalmente para baja frecuencia en campo cercano.
- HOLOGRAFÍA: Mayor resolución espacial para aplicaciones en campo cercano y baja frecuencia.

En esta publicación nos centraremos en ejemplos de Beamforming, con aplicaciones en 2D y en 3D dentro del sector de la Acústica Arquitectónica y la Acústica de Salas.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El beamforming se basa en los retardos que producen los diferentes caminos que recorre el sonido desde la fuente de ruido a los receptores, un concepto que también utiliza nuestro oído humano, con sólo dos receptores. Los datos de los micrófonos se usan para calcular el nivel de presión sonora en una posición concreta a través de la siguiente fórmula: [1]

$$p(\mathbf{x}, t) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M p_i(t - \Delta_i)$$

Donde p corresponde al nivel de presión sonora para un tiempo t determinado en una posición x del plano de referencia y M es el número de micrófonos del array. Para describir el funcionamiento del algoritmo Delay and Sum, uno de los algoritmos más utilizado en beamforming, en el dominio temporal de una forma sencilla, dividimos el procesado de la señal en 4 pasos. En el siguiente ejemplo, el diagrama de bloques ilustra el caso de dos fuentes puntuales situadas frente a un array de micrófonos:

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

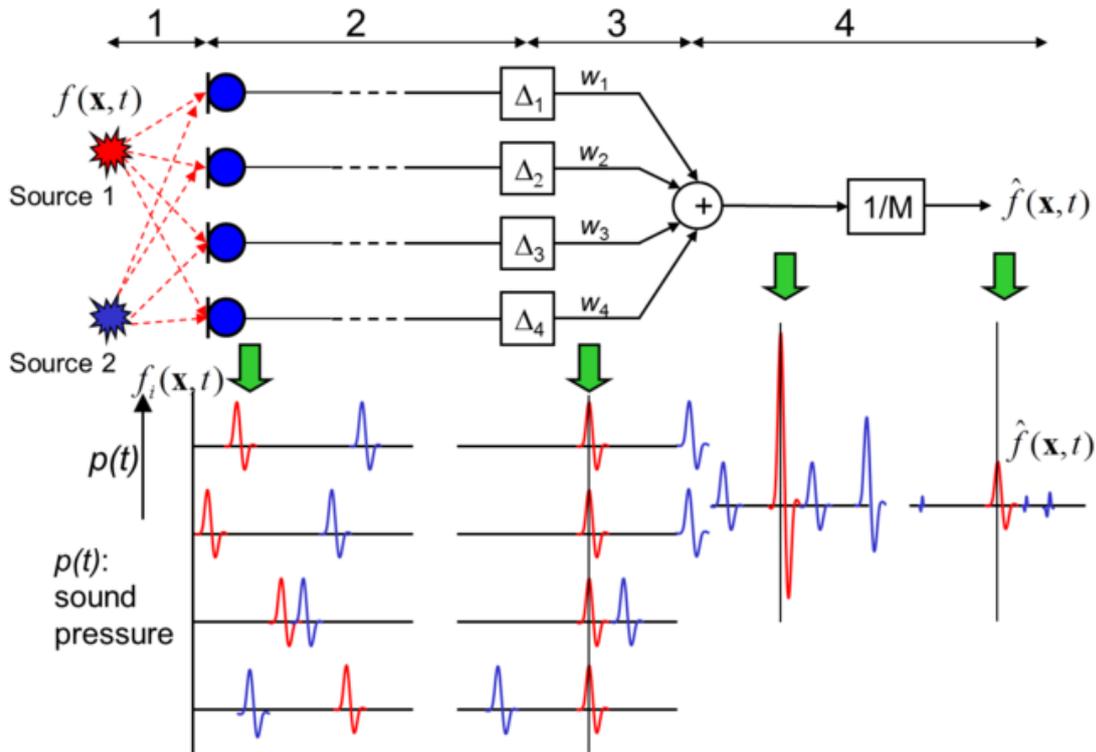


Figura 1.- Delay and Sum, dominio temporal

1- El sonido de cada fuente llega a cada uno de los micrófonos a través de un camino diferente.

2- Las señales recogidas por los micrófonos son similares en cuanto a la forma de onda, pero con diferentes retardos y fases, siendo ambos proporcionales a las distancias de los caminos recorridos. Los retardos pueden ser determinados a través de la velocidad de propagación del sonido y la distancia entre los micrófonos y las fuentes sonoras. En la Figura 1, el algoritmo de Beamforming localiza el punto donde se ubica la fuente 1.

3- La señal de cada micrófono es desplazada en función de sus diferentes retardos y la distancia focal. Como resultado, todas las componentes de la señal de la fuente 1 (en rojo) de todos los canales están en fase, mientras que las componentes de la señal de la fuente 2 están desfasadas.

4- Las señales de todos los canales se suman y finalmente, la suma de señales se normaliza en función del número de canales. El resultado de este proceso se ilustra en el bloque final del diagrama. La amplitud de la señal resultante de la fuente 1 (en rojo), es tan alta como la amplitud de la fuente 1 y las señales resultantes de la fuente 2 (en azul) son de mucha menor amplitud. El valor RMS o valor Máximo pueden ser calculados a partir de la señal resultante y visualizados en el mapa acústico.

El principio de funcionamiento en el dominio frecuencial es similar, traduciendo los retardos temporales en desplazamientos de fase.

MAPAS ACÚSTICOS EN 2 DIMENSIONES

Dentro de la localización de fuentes de ruido en 2 dimensiones, se establece un plano virtual paralelo al array de micrófonos en el que se calculan los resultados, evaluando pixel por pixel (en función de la resolución configurada) y obteniendo así una fotografía acústica, basada en un mapa de niveles con una escala cromática sobre una fotografía del entorno frente al array de micrófonos. Es muy importante tener siempre presente que el plano virtual donde se calculan los resultados es siempre paralelo al array de micrófonos, por esta razón la ubicación y orientación del mismo es crucial.

El usuario debe introducir la distancia entre el array de micrófonos y el objeto o zona bajo estudio. Utilizando los diferentes tiempo de llegada a cada micrófono, la señal registrada puede ser desplazada, sumada y normalizada.

La principal limitación de este tipo de arrays de micrófonos son los escenarios en los que las fuentes de ruido se disponen en varias posiciones, definiendo un entorno tridimensional.

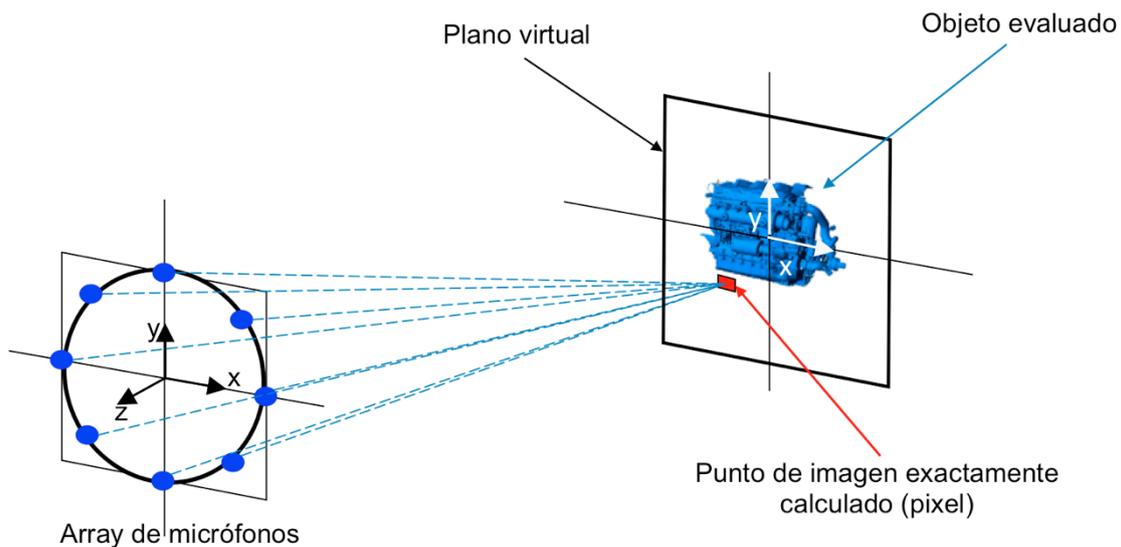


Figura 2.- Principio de funcionamiento en 2D [2]

MAPAS ACÚSTICOS EN 3 DIMENSIONES

El funcionamiento en 3 dimensiones es igual que en 2 dimensiones, sustituyendo el plano de imagen virtual por un modelo 3D, una nube de puntos o malla de triángulos. El resultado se calcula sobre cada uno de los puntos del modelo o sobre cada uno de los triángulos de la malla del modelo, siendo importante la dependencia entre la resolución real del modelo 3D y la obtenida en el resultado acústico.

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

Para ubicar la posición del array de micrófonos respecto al modelo 3D y así poder determinar la distancia de cada micrófono a cada punto de evaluación, se triangula a partir de la fotografía adquirida durante la medición por la cámara de fotos y video integrada en el array. Para esta acción se utiliza un algoritmo patentado por *gfai tech* disponible en el software Noiselmage.

Este tipo de mapas acústicos en tres dimensiones permiten ubicar los focos de ruido en todo el entorno a la vez. Sus principales aplicaciones son cabinas de vehículos, aeronaves o trenes e interiores de salas, auditorios o recintos de instalaciones. [3]

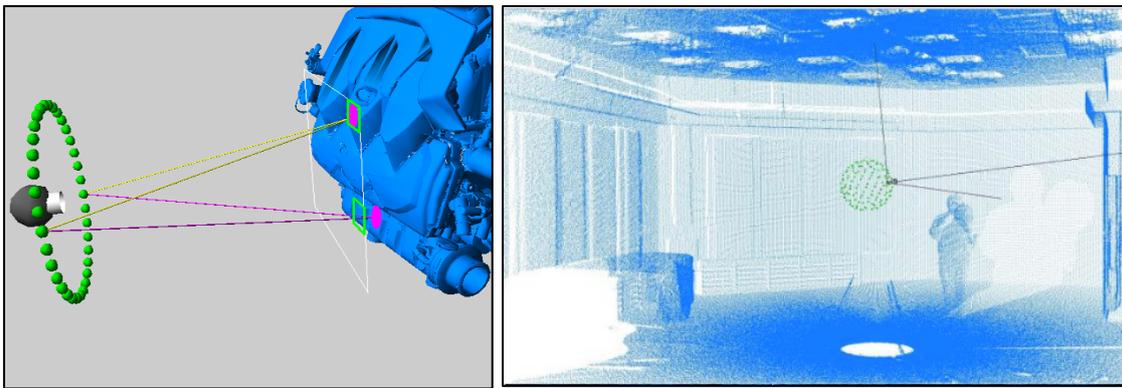


Figura 3.- Principio de funcionamiento en 3D

ARRAYS DE MICRÓFONOS

En la localización de fuentes sonoras, cada aplicación requiere un tipo de array de micrófonos específico. Teniendo en cuenta la distancia a las fuentes de ruido, el rango de frecuencias de interés y la disposición de la fuente o fuentes de ruido, se seleccionarán arrays de mayor o menor tamaño, con mayor o menor número de micrófonos y su disposición y por supuesto, arrays de dos dimensiones o tres dimensiones (esféricos).

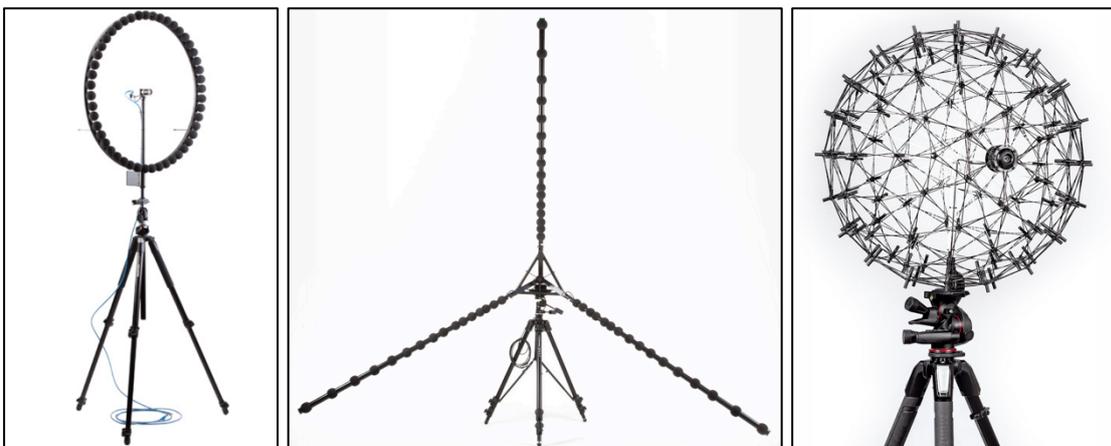


Figura 4.- De izquierda a derecha, arrays de micrófonos circular, en estrella y esférico

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

APLICACIONES: LOCALIZACIÓN DE PUENTES ACÚSTICOS

La localización de un puente acústico permite la propuesta de soluciones precisas, ya que se conoce el nivel y la frecuencia específica, o rango frecuencial, de ese punto concreto. También nos ofrece la posibilidad de comprobar las soluciones definidas una vez ejecutadas, validando de este modo su grado de efectividad.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la evaluación de una puerta acústica instalada en unas cámaras de ensayo comprobando la diferencia en cuanto a su aislamiento acústico con diferentes juntas de estanqueidad y bisagras.

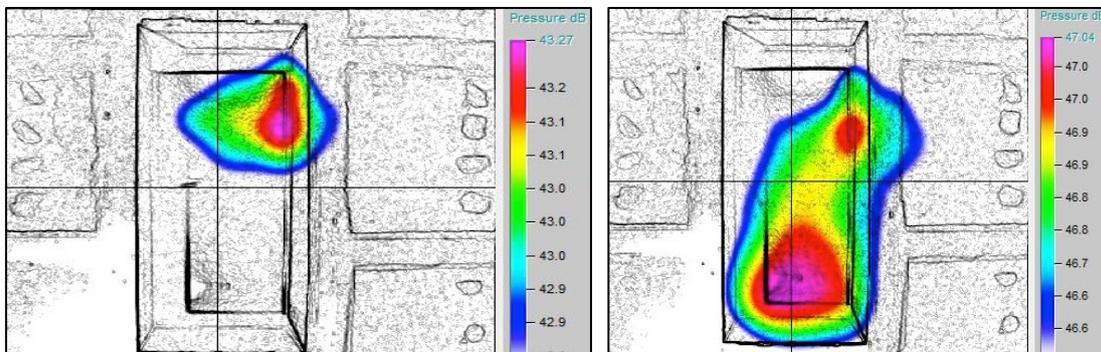


Figura 5.- Localización de fugas acústicas en puertas

También se pueden evaluar puertas y ventanas ya instaladas en inmuebles utilizando una fuente de excitación auxiliar o el propio ruido del exterior. En los siguientes ejemplos se muestran los resultados en puerta y ventanas utilizando una fuente dodecaedrica emitiendo ruido de banda ancha a alto nivel en el exterior de la terraza (izquierda) y en un ventanal utilizando el propio ruido de tráfico (derecha). En ambos casos, con una adquisición de pocos segundos, los puntos débiles de estos elementos de fachada quedan identificados en nivel y rango frecuencial, para proponer las medidas de actuación necesarias.

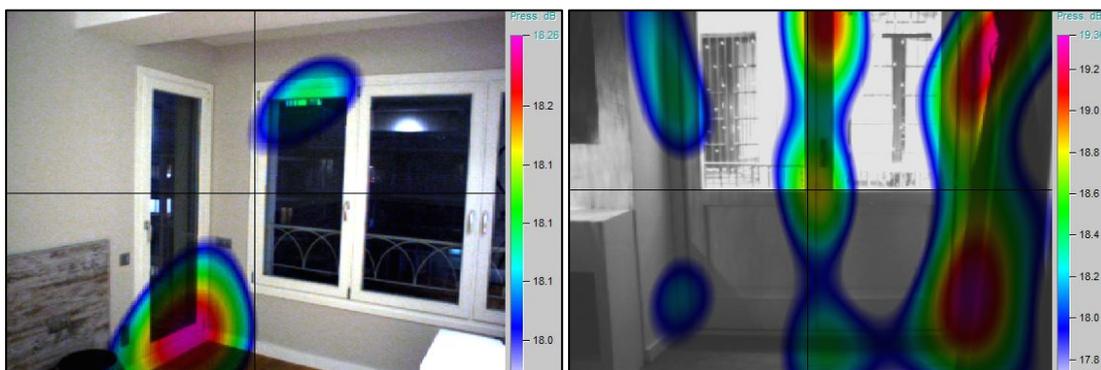


Figura 6.- Localización de puentes acústicos en ventanas

APLICACIONES: VISUALIZACIÓN DE LAS REFLEXIONES EN LOS PARAMENTOS DE UN RECINTO

A la hora de enfrentarse a un problema de un recinto con un tiempo de reverberación muy alto y unos índices de inteligibilidad de la palabra mediocres, la solución a grandes rasgos es sencilla: Instalar material absorbente. Si nos preguntamos dónde es más efectivo instalar ese material absorbente, la respuesta también está clara: En las áreas donde se produzca la primera reflexión. ¿Y dónde se produce la primera reflexión? La respuesta a esta pregunta no es tan sencilla, sobre todo en recintos singulares. Un sistema de localización de fuentes de ruido con un array de micrófonos esférico puede proporcionarnos la respuesta, ya que nos permitirá visualizar cada una de las reflexiones, desde la primera hasta la generación del campo difuso, sobre un modelo 3D del recinto bajo estudio. De esta forma podremos ver y analizar directamente sobre los paramentos como se comporta el sonido a partir de un evento impulsivo como un disparo de pistola de fogeo, o la señal del propio sistema electroacústico del recinto.

Para el análisis de reflexiones dentro de un recinto es necesario un sistema de adquisición con una gran frecuencia de muestreo y una alta resolución temporal, ya que será necesario ver en detalle la señal registrada en el dominio del tiempo para identificar las primeras reflexiones.

En la siguiente figura se muestran las primeras reflexiones en el interior de un recinto multiuso a partir del disparo de una pistola de fogeo en las posiciones de emisión de un posible sistema de altavoces.

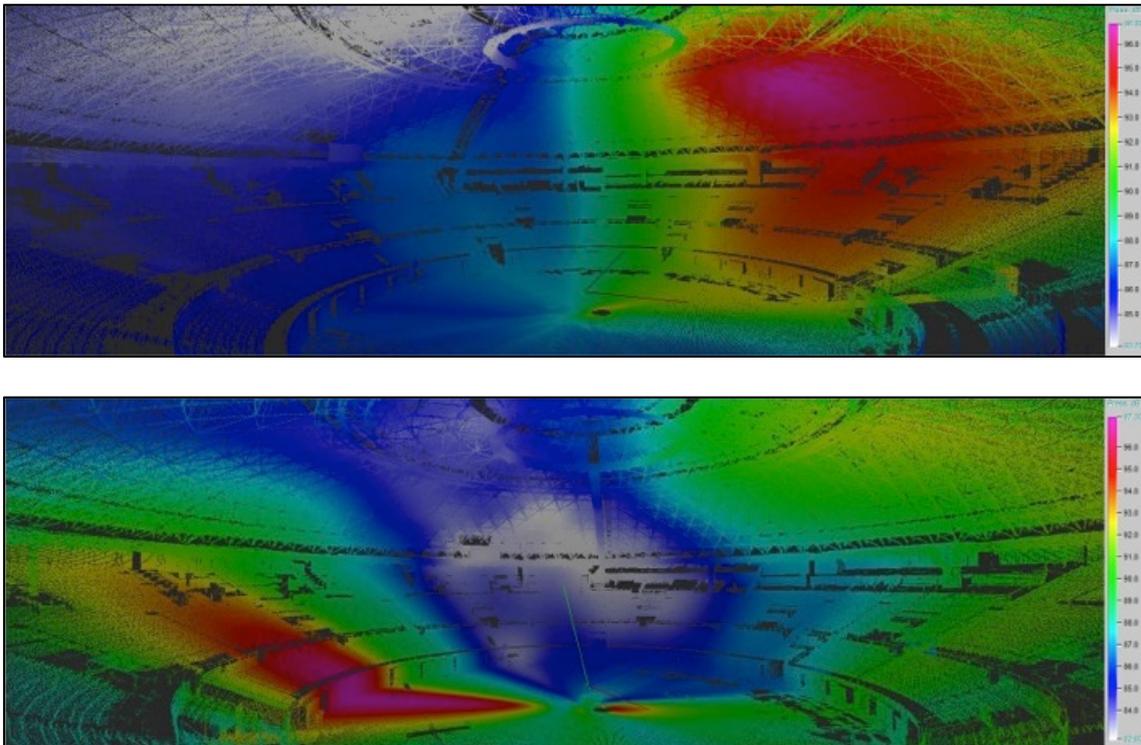


Figura 7.- Visualización de reflexiones en modelo 3D de un recinto

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-
24 al 26 de octubre

APLICACIONES: VISUALIZACIÓN DE LA TRANSMISIÓN ESTRUCTURAL ENTRE VIVIENDAS

La transmisión estructural en edificios es uno de los principales problemas de confort acústico; acotar esta problemática para poder definir un tratamiento es complejo. Visualizando las zonas de mayor emisión acústica de cada paramento frente a una excitación mecánica, como una máquina de impactos, se pueden identificar con facilidad los puntos de mayor transmisión.

Para ello hay que generar mediante software o adquirir in situ mediante un láser-scanner, el modelo 3D del recinto bajo estudio. Un array de micrófono esférico se encargará de recoger todas las emisiones acústicas a partir del impacto efectuado en el recinto colindante, dando como resultado un mapa de colores con los puntos o áreas de mayor nivel; también es posible determinar las componentes frecuenciales más importantes en los puntos identificados como problemáticos.

En la siguiente figura se puede observar el resultado de la identificación de los principales puntos de transmisión estructural en un apartamento, frente a un impacto generado en el apartamento colindante superior.

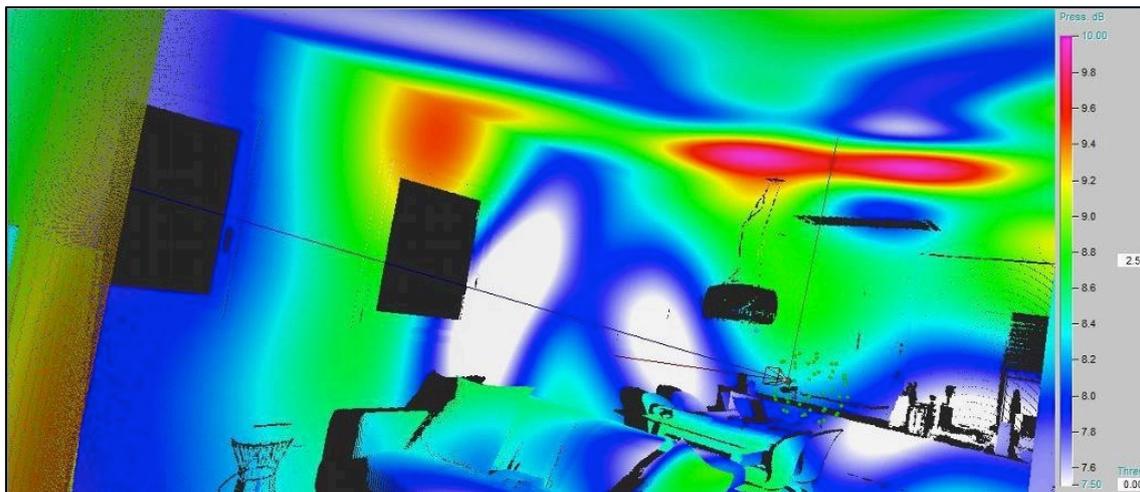


Figura 8.- Visualización de transmisiones estructurales en una vivienda

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Michael Kerscher, Benjamin Vonrhein, Gunnar Heilmann, Sébastien Barré and Peter Weigel. 2016. Measurement and Visualization of Room Impulse Responses with Spherical Microphone Arrays.
- [2] Andy Meyer, Dirk Döbler, Jan Hambrecht and Manuel Matern. 2011. Acoustic Mapping on three-dimensional models
- [3] Magdalena Boeck, Dirk Doeblen, Gunnar Heilmann, Andy Meyer and Hugo Waibel. 2011. Fields of application for three-dimensional microphone arrays for room acoustic purposes.