



FIA 2018

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

## VISUALIZACIÓN SONORA EN 3D

PACS: 46.60.Jn

Alloza Frutos, Pablo<sup>1</sup>; Vonrhein, Benjamin<sup>2</sup>  
gfaitech gmbh  
Volmerstrasse 3  
12489 Berlín  
Alemania

<sup>1</sup>Tel: +34 611495353, e-mail: [alloza@gfaitech.de](mailto:alloza@gfaitech.de)

<sup>2</sup>Tel: +49 30814563756, e-mail: [vonrhein@gfaitech.de](mailto:vonrhein@gfaitech.de)

Palabras Clave: Beamforming, localización de ruido, visualización sonora, modelos 3D

### ABSTRACT

Noise source visualization in 3D offers one more point of view to the noise analysis inside vehicles and other means of transport with precise results on 3D models acquired by scan or generated via software. Noise problems become visible, making it easier to locate, analyse and design solutions. This publication presents the localization of noise sources on three-dimensional models, it introduces the principle of operation and the microphone arrays used and concludes with examples of applications about engines, vehicles from the inside and outside and train carriages.

### RESUMEN

La visualización de fuentes de ruido en 3D aporta un punto de vista alternativo al análisis de las fuentes de ruido en el interior de vehículos y unidades de transporte, proporcionando resultados precisos sobre los modelos 3D adquiridos o generados. Los problemas de ruido se vuelven visibles, facilitando su localización, análisis y diseño de soluciones. Esta publicación introduce la tecnología de localización de fuentes de ruido sobre modelos tridimensionales, realizando una introducción al principio de funcionamiento y los arrays de micrófonos utilizados y finalizando con ejemplos de aplicación sobre motores, vehículos desde el interior y el exterior y vagones de trenes.

## INTRODUCCIÓN

El sector del transporte ha sido un demandante y usuario de técnicas de localización de fuentes de ruido desde hace mucho tiempo. En los últimos años, la llegada del vehículo eléctrico y el aumento de exigencias de confort acústico en vehículos destinados a pasajeros han requerido la aplicación de la localización de fuentes de ruido en diferentes escenarios, como el ruido en el interior de aeronaves, la emisión acústica de trenes de alta velocidad, caracterización del ruido de motores o la evaluación del ruido de rodadura.

Términos como la aeroacústica se han hecho comunes en las necesidades de evaluación de las emisiones de ruido en vehículos. [1] El análisis en túneles de viento permite someter al vehículo a diferentes escenarios de funcionamiento para poder evaluar las diferentes huellas acústicas que se producen en función de las diferentes variables, velocidad, dirección, ...

Los usuarios demandan un confort acústico al que es necesario prestar atención y evaluar parámetros psicoacústicos para poder tener un baremo común al que enfrentar los resultados.

Existen diferentes técnicas de localización de fuentes de ruido, como el Beamforming, la Intensimetría o la Holografía. En esta publicación nos centraremos en ejemplos de Beamforming tridimensional en el sector del transporte.

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

La idea básica del beamforming es similar a la utilizada por nuestro oído humano: se evalúan los retardos temporales que se producen desde las fuentes sonoras a los receptores, al recorrer caminos y distancias diferentes. En la siguiente figura se ilustra un sencillo ejemplo con dos receptores.

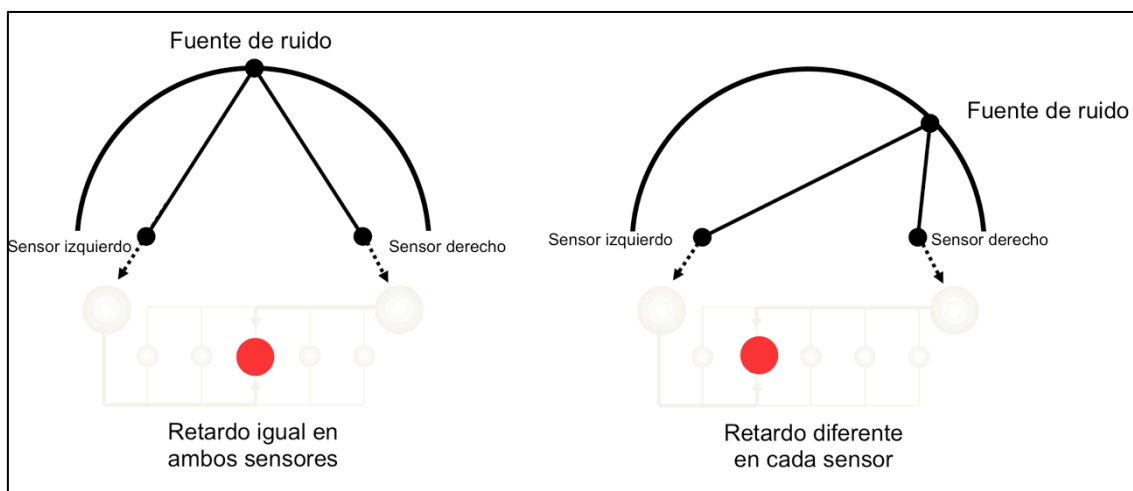


Figura 1.- Principio de funcionamiento del beamforming

El funcionamiento del algoritmo Delay and Sum en el dominio frecuencial se basa en un principio similar al del dominio temporal. Para verlo de una 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:

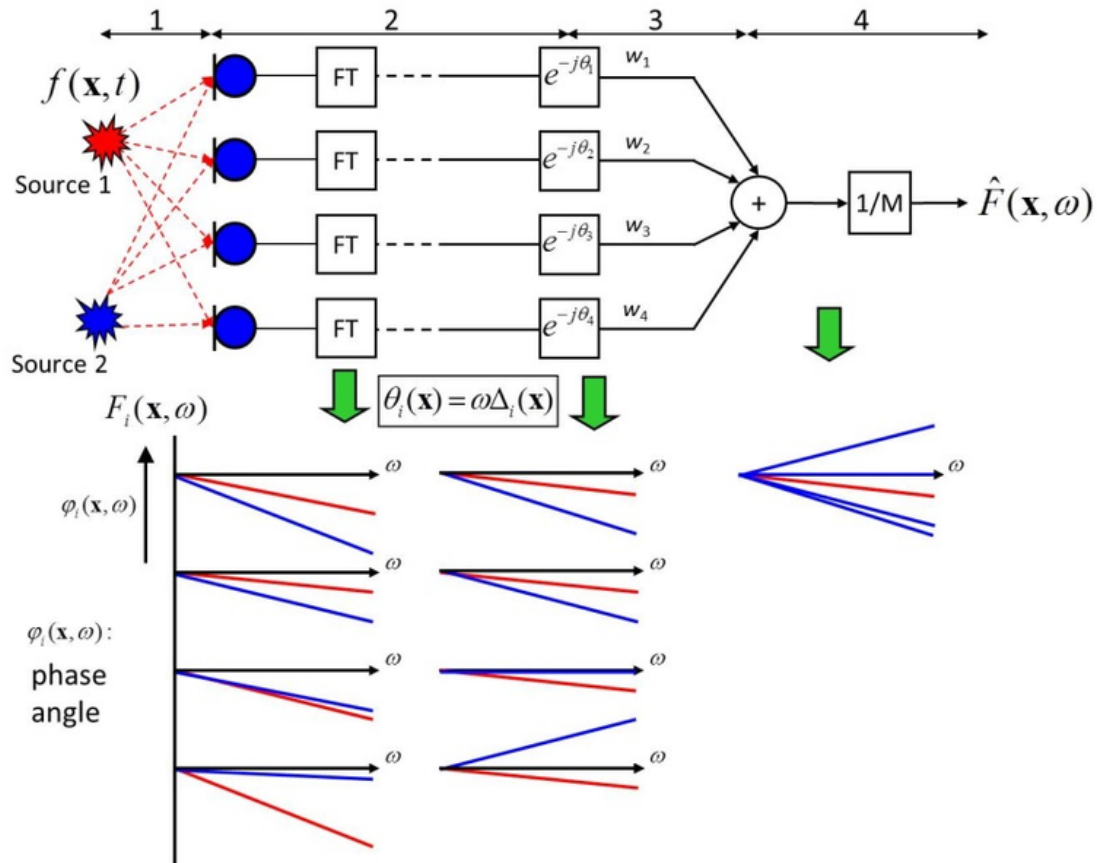


Figura 2.- Delay and Sum Beamforming, dominio frecuencial

1- El sonido de cada fuente llega a cada uno de los micrófonos a través de caminos diferentes, produciendo retardos y desfases en las señales adquiridas que son proporcionales a las distancias recorridas. Los retardos pueden ser determinados a través de la velocidad de propagación del sonido y la distancia entre los micrófonos y las fuentes sonoras.

2- Después de realizar la transformada de Fourier de cada una de las señales de los micrófonos, el espectro está definido en amplitud y fase. Ahora, la fase de cada señal de micrófono de forma individual se puede corregir con respecto a su retardo particular. En la Figura 1, se ve como las partes de la señal de la fuente 2 están desfasadas. Es importante tener en cuenta que un retardo de tiempo constante da como resultado un término de corrección de fase dependiente de la frecuencia.

## FIA 2018

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

3- Se suman los espectros resultantes. En este proceso, las partes de la señal de la fuente 1 (en rojo) se suman de forma constructiva y las partes de señal de la fuente 2 (en azul) disminuyen.

4- Finalmente las señales de todos los canales de micrófonos se suman y se normaliza en función del número de canales. A partir del espectro resultante el valor RMS o valor Máximo pueden ser calculados y visualizados en el mapa acústico.

### MAPAS ACÚSTICOS TRIDIMENSIONALES

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, siendo importante la dependencia entre la resolución real del modelo 3D y la obtenida en el resultado acústico.

El posicionamiento del array de micrófonos en relación al modelo 3D para poder determinar la distancia de cada micrófono a cada punto de evaluación, se triangula a partir de los puntos comunes de la fotografía adquirida durante la medición por la cámara de fotos y video integrada en el array de micrófonos y el modelo 3D. Para esta acción se utiliza un algoritmo de ajuste del software NoiselImage patentado por *gfai tech*.

Este tipo de mapas acústicos en tres dimensiones permiten ubicar los focos de ruido en todo el entorno al mismo tiempo, independientemente de la ubicación de las fuentes sonoras.

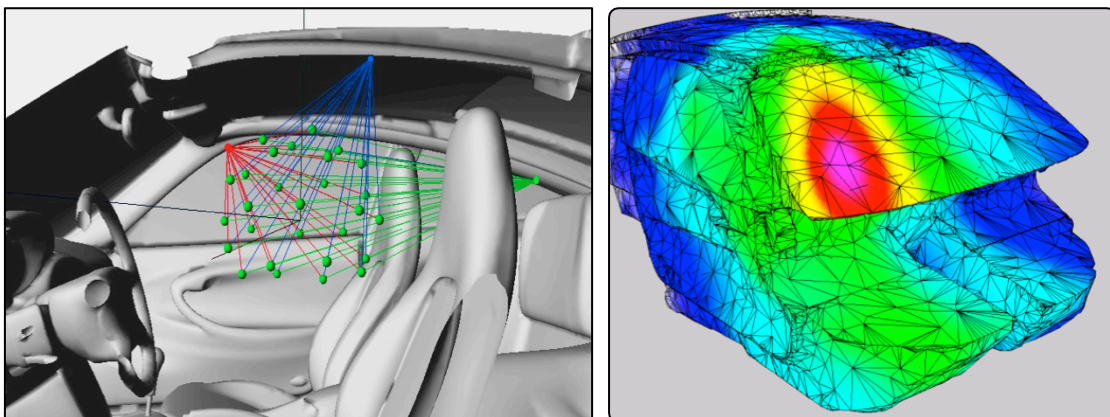


Figura 3.- Principio de funcionamiento en 3D

## FIA 2018

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

### ARRAYS DE MICRÓFONOS

Para cada tipo de aplicación de localización sonora dentro del sector del transporte, es necesario utilizar un array de micrófonos adecuado. En función de la ubicación de las fuentes de ruido y el punto de evaluación definido, se seleccionarán arrays esféricos (3D) para interiores y arrays planos (2D) para exteriores. Teniendo en cuenta el rango de frecuencias de interés, se utilizarán arrays de beamforming, o intensimetría y holografía para evaluar bajas frecuencias. También se puede utilizar un sistema portátil si es necesario un análisis rápido sin posiciones fijas.



Figura 4.- De izquierda a derecha, arrays de micrófonos esférico para beamforming, array de micrófonos plano para holografía y sistema portátil

### APLICACIONES: LOCALIZACIÓN DE FUENTES DE RUIDO EN 2D

La localización de fuentes de ruido en dos dimensiones nos permite resolver el resultado sobre un plano paralelo al array de micrófonos. Seleccionando una correcta ubicación del punto de medida y un adecuada orientación del array, se pueden localizar fuentes de ruido de varias áreas de un vehículo, por ejemplo su motor, sus laterales, una zona en detalle del techo solar o del sistema de frenado, ...

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de la evaluación de un motor gasolina mientras está al ralentí (izquierda) y a 2.500 revoluciones por minuto después de una aceleración (derecha).

FIA 2018

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

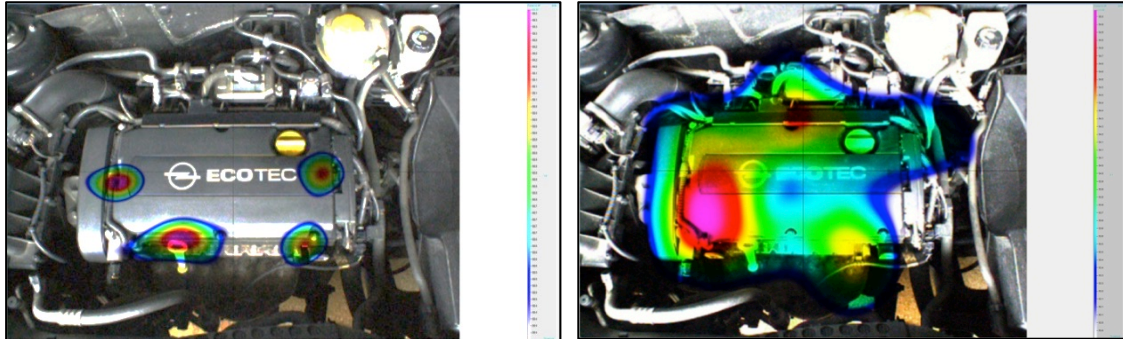


Figura 5.- Localización de fuentes de ruido en motor

Otra de las posibilidades es comprobar la emisión de ruido que provocan diferentes piezas del un automóvil bajo diferentes condiciones de funcionamiento. De esta forma es fácil caracterizar la emisión acústica que producen diferentes prototipos de retrovisores, por ejemplo, o diferentes tipos de neumáticos en un banco de rodadura.

En la siguiente figura se ven los resultados obtenidos evaluando la emisión acústica que producen los retrovisores y el alerón de un vehículo a una determinada velocidad dentro de las instalaciones de un túnel de viento. Para su adquisición se han utilizado tres arrays de micrófonos paralelos a los laterales y al techo del vehículo. Como en cualquier post procesado, se puede identificar la huella frecuencial concreta de cada parte. [2]



Figura 6.- Localización de fuentes de ruido en túnel de viento [2]

## 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 FUENTES DE RUIDO EN 3D

Generalmente los problemas de ruido en automóviles, trenes o aeronaves son complejos, ya sea por ser espacios reducidos, las transmisiones estructurales de los chasis, el gran número de fuentes sonoras simultáneas o la variabilidad de modos de funcionamiento de las mismas.

Un array esférico con micrófonos en todas las direcciones permite localizar las fuentes de ruido independientemente de su ubicación, representando los resultados sobre el modelo 3D (generado por software o adquirido con un sistema de láser-scanner) del vehículo bajo estudio, o de una parte del mismo.

En la siguiente figura se puede observar el análisis de una parte del espectrograma adquirido y el resultado a partir de dicha selección representado en el modelo 3D de un motor, a la izquierda. A la derecha, visualización de la emisión sonora producida por el altavoz de la puerta trasera de un coche representado sobre un modelo 3D generado por software.

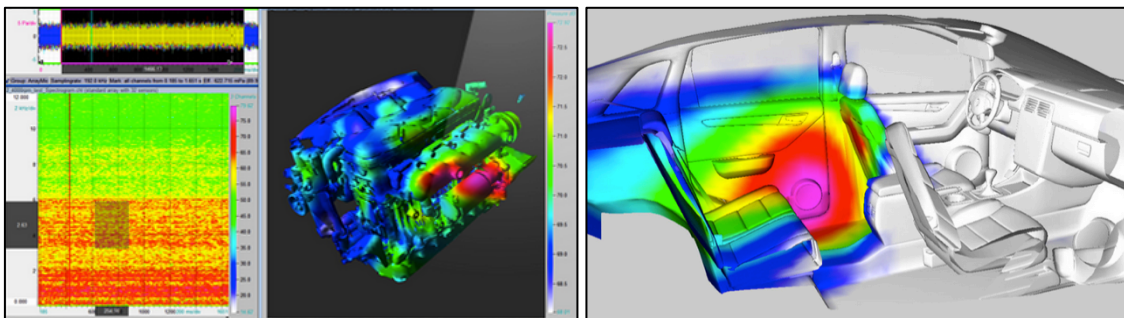


Figura 7.- Visualización de reflexiones en modelo 3D de un recinto

Dentro de un habitáculo, además de localizar fuentes de ruido, también se pueden realizar evaluaciones de Tiempo de Reverberación e índices de inteligibilidad de la palabra, muy relacionados con el confort acústico subjetivo de cada ocupante o viajero. Se pueden visualizar el nivel y la frecuencia de las reflexiones que se producen en el interior de los habitáculos para evaluar efectividad de la utilización de materiales y tejidos absorbentes que disminuyan dichas reflexiones en el interior.

También es posible evaluar las emisiones sonoras en dinámico, mientras la unidad bajo estudio está en movimiento; evaluando las principales fuentes de ruido y también las secundarias o de menor nivel.

FIA 2018

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

En la siguiente figura se muestra el resultado de una adquisición con array esférico de micrófonos sobre un modelo 3D de un vagón de tren durante un evento transitorio en funcionamiento.

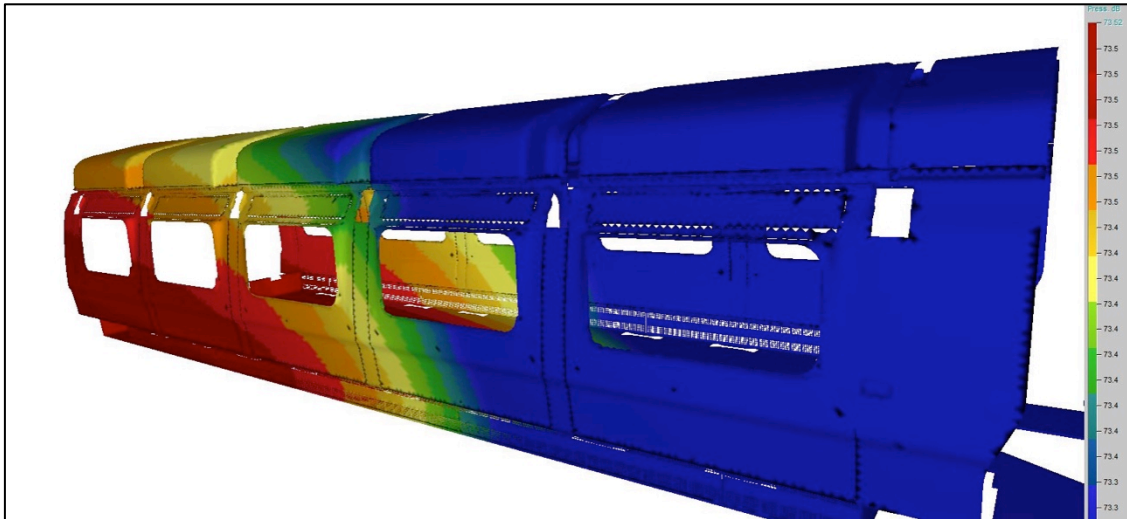


Figura 7.- Visualización de fuentes de ruido en modelo 3D

## BIBLIOGRAFÍA

[1] Lukas Kleine Wächter, Jörg Ocker, Dirk Döbler, Christof Puhle and Gert Herold. BeBeC 2018. INVESTIGATIONS ON BEAMFORMING IN THE WIND TUNNEL USING MULTIPLE MICROPHONE ARRAY MEASUREMENTS.

[2] Dirk Döbler, Jörg Ocker and Dr. Christof Puhle. BeBeC 2016. ON 3D-BEAMFORMING IN THE WIND TUNNEL.