

Aplicación de técnicas de medida por escaneo en el análisis del nivel sonoro envolvente, localización de las fuentes contributivas y niveles de inmisión en recintos protegidos

García Escribano, Dolores¹ y Fernández Comesaña, Daniel^{1,2}

¹ Microflown Technologies

Tivolilaan 205

6824 BV

Arnhem

Holanda

E-Mail: garcia@microflown.com

² Institute of Sound and Vibration (ISVR)

University Road, Highfield

S017 1BJ

Southampton

Reino Unido

ABSTRACT

The publication of the CTE lead to big changes with respect to the previous noise Spanish law, the NBE-CA-88. Not only the global levels and parameters were modified but also, most importantly, the general scope of the norm. CTE establish targets without imposing the use of any specific measurement procedure or technique to achieve the imposed goals. Consequently, this new regulation indirectly suggest the development of new measurement methods. In this paper the scan-based measurement procedure Scan & Paint is applied to evaluate the noise impact in façade, the localization of the noise contributing noise sources and the characterization of the noise levels received inside a room.

RESUMEN

La publicación del CTE supuso un cambio considerable respecto a la anterior normativa de ruidos española NBE-CA-88. No sólo los niveles globales e índices con los que medirlos fueron modificados sino también y más importante, el enfoque de la norma. El CTE establece objetivos pero sin obligar al uso de procedimientos o técnicas de medida específicas para alcanzarlos, dando lugar al desarrollo y aplicación de nuevas técnicas de medida. En esta comunicación se presenta el uso del sistema conocido como Scan & Paint para la evaluación del ruido en fachada, la localización de las fuentes contributivas y de los niveles de inmisión en un recinto habitable en una unidad de viviendas.

1. Introducción

El crecimiento económico y desarrollo del país y de la Unión Europea han llevado a sus habitantes a demandar una mejora en la calidad de vida. Esto ha llevado a la exigencia de mayores niveles de calidad y de protección del usuario, todo ello enmarcado en un desarrollo sostenible y sostenido. Incluyendo en estos requerimientos la consecución de unos niveles de ruido aceptables, saludables y confortables tanto en el entorno laboral como privado.

Por este motivo en los últimos años se ha desarrollado una gran cantidad de normativa a nivel comunitario, nacional y local para garantizar la consecución de estos objetivos cualitativos. En lo que respecta a la edificación se desarrolló el código técnico del 2006, más conocido como CTE. Éste vino a suceder y derogar la antigua norma de ruidos española, NBE-CA-88, introduciendo una gran cantidad de novedades.

El CTE no sólo restringe o mejora los niveles de calidad sino también los parámetros con los que éstos son valorados. Introduce además nuevas consideraciones a tener en cuenta a la hora de planificar un edificio, debiendo planificar su orientación y elementos en función de la localización del mismo, las infraestructuras circundantes y otras instalaciones que puedan influir en los niveles de ruido finales en los que se verá inmerso.

Pero la parte más novedosa de la norma es el enfoque y modo de aplicación propuesto. El CTE estipula niveles u objetivos que alcanzar y sugiere pautas de seguimiento pero no impone ningún procedimiento para conseguirlos. Esto lleva a la propuesta y desarrollo de nuevos métodos de medida, promoviendo la investigación y desarrollo de técnicas y procedimientos innovadores y efectivos.

En esta comunicación y siguiendo la filosofía propuesta por el CTE se propone la aplicación de técnicas de medida basadas en escaneo con sondas de intensidad PU para lograr un doble objetivo:

- 1) La caracterización vibro-acústica de elementos constructivos.
- 2) La localización de las fuentes externas inductoras de los niveles de inmisión en un recinto habitable.

Un tercer estudio que no ha sido abordado en esta comunicación debido a su extensión pero que también sería posible mediante la misma técnica de medida, es la caracterización de las propiedades aislantes de cada uno de los elementos.

Con toda la información adquirida es posible abordar la mayoría de los problemas de ruido en edificación, pudiendo desarrollar soluciones acordes y adaptadas para cada caso, de forma rápida y efectiva.

Otra consideración a tener en cuenta en una etapa más avanzada del desarrollo es el coste final del sistema. La técnica de medida que se ha utilizado en esta comunicación es por definición un sistema eficaz y poco costoso lo cual permite su aplicación directa en casos reales de uso. El sistema se basa en la técnica de medida conocida como Scan & Paint y su extensión a la localización de fuentes sonoras en el campo lejano, Virtual Phased Arrays, que se introducen más adelante en esta comunicación.

2. Scan & Paint

La técnica de visualización sonora utilizada en este artículo es el método “Scan & Paint” [1]. Ésta es una técnica de medida desarrollada para mapear campos sonoros estacionarios de una manera rápida y sencilla. Las señales acústicas son adquiridas mediante escaneos manuales usando una sonda de intensidad P-U, a la vez que se filma el evento con una cámara de video. Una vez terminada la medida, la posición del sensor es extraída automáticamente analizando cada una de las imágenes del video. Combinando la información posicional con las señales adquiridas, es posible evaluar el comportamiento local del campo acústico en las zonas cubiertas durante el escaneo. Esto da lugar a la creación de mapas sonoros que permiten, de una manera directa e intuitiva, estudiar el comportamiento vibro-acústico de las fuentes sonoras evaluadas en términos de presión, velocidad de partícula o intensidad acústica para todo el espectro audible (20 Hz a 20 kHz).

3. Virtual Phased Arrays (VPA)

La técnica de escaneo Scan & Paint [1] ha sido adaptada para poder aplicar algoritmos de localización de fuentes con el objetivo de agilizar la adquisición de datos y maximizar la eficacia del sistema manteniendo un coste reducido. Aunque la adquisición está basada en escaneos manuales que se llevan a cabo de forma continua, es necesario discretizar la medida en una serie de eventos cortos que posteriormente pasarán a representar una serie de transductores virtuales. Para ello es necesario definir una rejilla espacial con la que fragmentar el plano de medida inicial en pequeñas sub-áreas. Este primer paso es crucial, ya que determinará el rendimiento y limitaciones de cualquier algoritmo de localización que vaya a ser aplicado en una etapa posterior. Consecuentemente, VPA debe ser configurado de acuerdo a los requisitos del usuario teniendo en cuenta el rango espectral y la tolerancia a errores deseada.

El área de medida es por tanto cubierta con una rejilla virtual compuesta por pequeños bloques, los cuales determinan el área asociada a cada uno de los transductores virtuales. Para realizar un estudio del rendimiento de los ajustes elegidos es necesario seguir la rutina que se presenta en la Figura 1.



Figura 1. Procedimiento de creación de un VPA

Primeramente, la rejilla inicial seleccionada es aplicada a los datos de posicionamiento del sensor. De este modo, es posible seleccionar las celdas o sub-áreas que tienen un segmento de información temporal asociados, descartando aquellas posiciones que no han sido cubiertas durante la medida. El solapamiento entre las distintas celdas no es considerado para nuestro análisis. Cada uno de los transductores virtuales se crean haciendo uso de fragmentos de la señal de medida, teniendo en cuenta los tiempos de entrada y salida en el área asignada a cada uno de estos sensores. Este proceso conlleva el uso de fragmentos de señal con distintas

longitudes, pudiendo introducir errores si las señales son demasiado cortas. Para anticipar este problema se incorpora un umbral de longitud mínima el cual descarta los datos que no cumplen los requisitos establecidos. En resumen, solamente celdas que contienen una señal temporal representativa son consideradas para las siguientes etapas del análisis. VPAs, por definición, logran establecer una relación entre las distintas señales de la rejilla mediante el uso de una referencia estática común. Para ello, es necesario calcular la relación espectral entre el sensor fijo en el espacio y el móvil, esto es, el espectro cruzado

$$S_{n,ref}(\omega) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{E\{P_{ref}^* P_n\}}{T} \quad (1)$$

dónde P_{ref}^* denota el espectro conjugado de en un punto de referencia fijo; y P_n el espectro de un sensor móvil cuando se encuentra pasando por un área n . El uso de esta operación, así como la adquisición asíncrona de las señales temporales en las distintas posiciones, limita el uso de algoritmos de localización a aquellos que trabajan en el dominio frecuencial.

Una práctica común para determinar la calidad de un espectro cruzado, o una función de transferencia, es el cálculo de la coherencia entre las señales. Esto se define como

$$\gamma_{n,ref}(\omega) = \frac{S_{n,ref}(\omega)}{\sqrt{S_{n,n}(\omega)}\sqrt{S_{ref,ref}(\omega)}} \quad (2)$$

dónde $S_{ref,ref}(\omega)$ y $S_{n,n}(\omega)$ representan el auto-espectro del sensor de referencia y el móvil, respectivamente. La coherencia establece una forma de medir el grado de relación lineal entre dos señales, produciendo valores cercanos a la unidad cuando ambas señales están linealmente relacionadas. Este parámetro es muy útil a la hora de descartar espectros cruzados con bajos niveles de coherencia entre señales, por lo que estableceremos un umbral de mínima coherencia en nuestro análisis γ_{min} . Con el fin de implementar este control de calidad espectral en un VPA, la rejilla de datos obtenida en el proceso anterior es filtrada usando un algoritmo de discriminación posicional. Este proceso está basado en descartar las celdas que no pasen el umbral mínimo γ_{min} . Dado que la coherencia cambia a través del espectro, la rejilla de datos activos pasará a ser dependiente de la frecuencia que se quiera analizar. De acuerdo con [2], la coherencia a través del espacio cambia dependiendo del entorno acústico pero siempre proporcionalmente con la longitud de onda evaluada. De este modo, la aplicación del algoritmo de discriminación posicional en función a un umbral de mínima coherencia dará lugar a grandes tamaños de VPA para bajas frecuencias, mientras que el número de transductores virtuales se verá reducido para altas frecuencias.

Una vez que las posiciones activas del VPA han sido determinadas, es posible evaluar el rendimiento teórico de la geometría utilizada. La resolución espacial, dispersión energética, problemas de aliasing y posibles fuentes "fantasmas" pueden ser analizadas mediante el estudio de los patrones de directividad y la Point Spread Function (PSF). Estos son obtenidos cuando la geometría del array es evaluada en presencia de una fuente puntual en condiciones de campo libre.

En resumen, después de acoplar los datos de posición de la sonda con la rejilla de discretización espacial y los algoritmos de discriminación posicional, el rendimiento del VPA puede ser evaluado desde un punto de vista teórico. Repitiendo el proceso iterativamente ha sido posible encontrar un buen compromiso entre límites frecuenciales, rendimiento del

beamforming y resolución espacial del array virtual para evaluar el caso práctica que se presenta a continuación.

4. Instrumentación y metodología

Una sonda de intensidad P-U estándar con acondicionador de señal y conversor A/D Scout 422 de Microflow Technologies fueron utilizados para llevar a cabo las medidas presentadas en este artículo. Además, un micrófono presión de referencia G.R.A.S. tipo 26CA fue utilizado en las medidas de campo lejano. Para la evaluación de campo cercano se usó el software Scan & Paint 2.0, mientras que los cálculos para la localización de las fuentes sonoras en campo lejano fueron realizados con el programa Scan & Paint VPA beta.

Los experimentos realizados pueden separarse en dos partes bien diferenciadas, una medida en campo cercano y otra en campo lejano. La medida de campo cercano se efectuó escaneando en la proximidad del elemento constructivo (entre 0.03 y 0.05 m) desde dentro del recinto habitable excitando el campo sonoro con una fuente en la parte exterior de la vivienda. El objetivo este primer test fue la determinación de los niveles totales de inmisión en el recinto y la identificación de los elementos más débiles en términos de aislamiento acústico. Esta información puede ser utilizada para tratar aquellos elementos constructivos que presenten más problemas y con ello conseguir reducir el nivel sonoro en el interior de la vivienda. En la parte izquierda de la Figura 2 se puede apreciar el área total evaluada así los puntos caracterizados durante la medida de campo cercano.

Además, la parte derecha de la figura 3 presenta la medida de campo lejano así como el seguimiento de la sonda durante el proceso de adquisición. Las celdas verdes indican las áreas cubiertas durante la medida mientras que las rojas muestran las áreas que no contienen datos asociados o que no han pasado los umbrales de coherencia o tiempo mínimo necesarios.

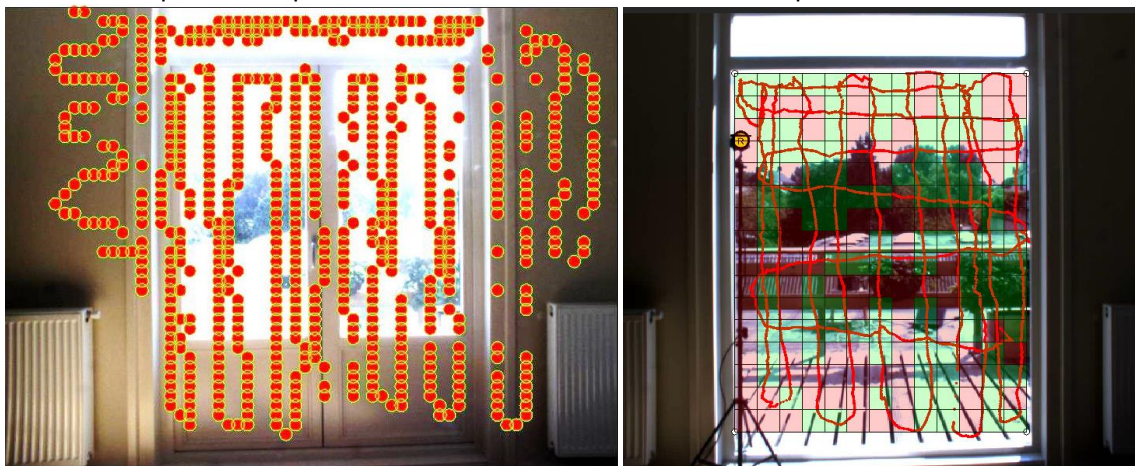


Figura 2. Zona medida y puntos localizados durante la medida de campo cercano (izquierda); superficie medida y puntos localizados para el análisis durante medida de campo lejano (derecha).

El segundo experimento aborda la caracterización del nivel sonoro y localización de las fuentes sonoras contribuyentes a la vivienda. Para esto, la misma técnica de medida es aplicada, pero en este caso el escaneo se realiza en un plano que se encuentra en la zona de la puerta del balcón cuando ambas puertas están abiertas. Los resultados obtenidos son pues, el nivel de

ruido recibido en fachada, y la localización de las fuentes sonoras existentes aplicando algoritmos de beamforming.

5. Resultados

5.2 Detección de fugas acústicas o putos débiles para la mejora del aislamiento global

El primer objetivo de la medición era la caracterización vibro-acústica de los elementos constructivos. En nuestro caso se han identificado tres áreas con diferentes propiedades de aislamiento: los cristales de la puerta del balcón, la zona inferior de madera de las mismas puertas y el tabique de la sala. La figura 3 muestra el espectro de velocidad de partícula de cada uno de estos elementos.

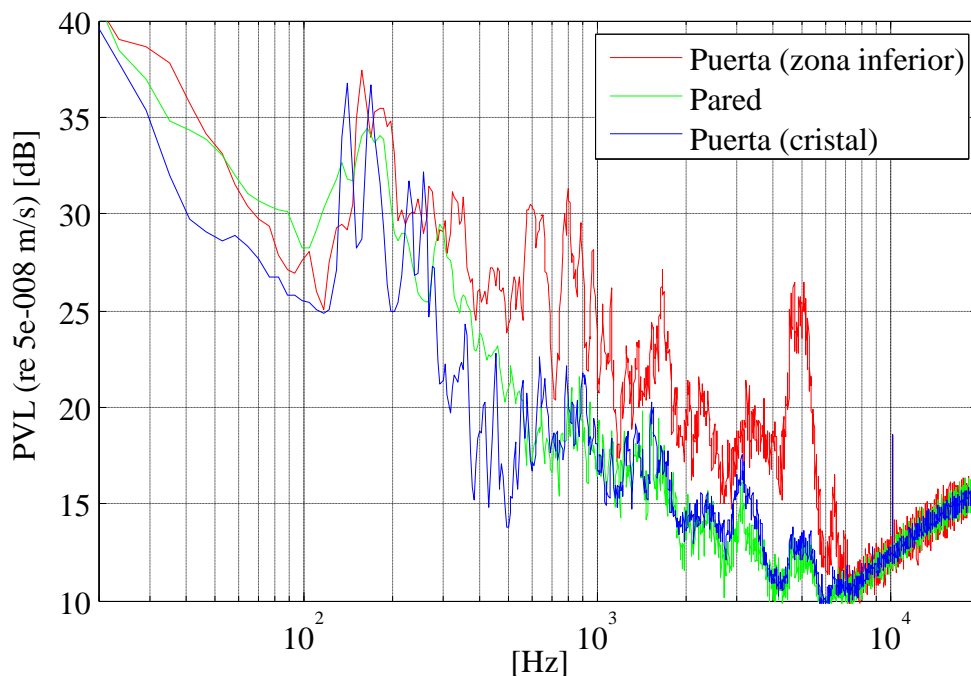


Figura 3. Niveles de excitación sonora de los distintos elementos constructivos.

Analizando los espectros presentados en la figura 3 puede verse que en bajas frecuencias el mayor nivel de excitación proviene de la parte inferior de la puerta. Entre 100 y 1000 Hz los espectros tanto del cristal como la madera de la puerta presentan diversas resonancias, dando lugar a una serie de frecuencias críticas que podrían suponer un problema para el aislamiento del recinto. Para observar más en detalle el comportamiento de la zona de medida en las distintas frecuencias críticas, se han producido una serie de mapas de color que se presentan las figuras 4 a 7. Como puede verse en estas figuras, es claro el comportamiento simétrico de ambas puertas así como los nítidos patrones que estos presentan.

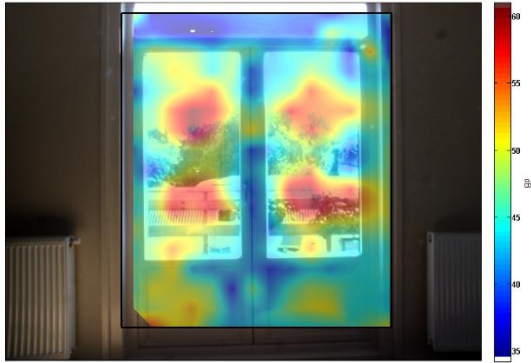


Figura 4. Mapa de distribución de la velocidad de partícula 140 Hz



Figura 5. Mapa de distribución de la velocidad de partícula 165 Hz

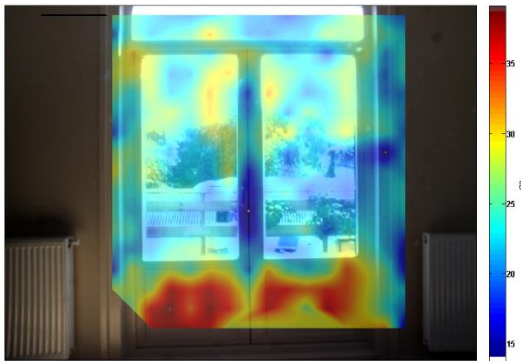


Figura 6. Mapa de distribución de la velocidad de partícula 630 Hz

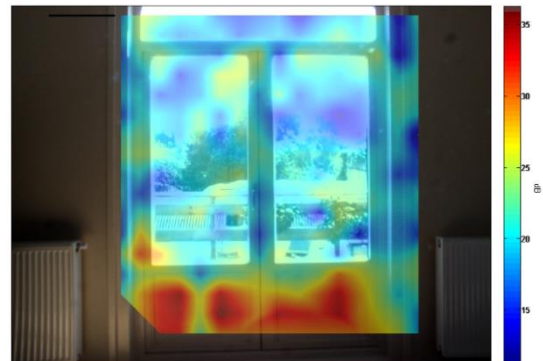


Figura 7. Mapa de distribución de la velocidad de partícula 800 Hz

5.3 Localización de las fuentes externas inductoras de los niveles de inmisión en un recinto habitable.

Tras realizar el escaneo de un plano virtual cerca de la fachada y aplicar los algoritmos de beamforming, hemos podido realizar la localización de la fuente sonora que excitaba el recinto medido. En nuestro caso el altavoz se situó en la ventana de una vivienda cercana, como claramente puede verse en la figura 8, probando así el éxito del experimento.

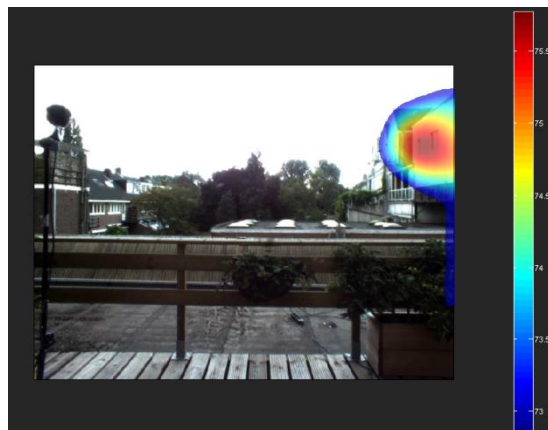


Figura. 8 Localización de la fuente sonora principal en uno de los edificios colindantes

7. Conclusiones

El sistema de medida para campos estacionarios "Scan & Paint" permite la caracterización vibro-acústica de los elementos constructivos. Además, en conjunto con el uso de algoritmos de conformación o beamforming, Scan & Paint VPA puede ser utilizado como una herramienta para la localización de las fuentes externas que contribuyen al nivel sonoro en fachada, así como el análisis completo de la edificación y su casuística concreta. Ambas medidas realizadas, campo cercano y campo lejano, se realizan con el mismo sistema, solo añadiendo un micrófono de referencia a la cadena de medida. Permitiendo una valoración global del ambiente ruidoso, sólo requiriendo un sistema de medida con diferentes algoritmos de procesado.

8. Referencias

- [1] D. Fernández Comesaña, S. Steltenpool, G. Carrillo Pousa, H.-E. de Bree, and K. R. Holland, "Scan and Paint: Theory and Practice of a Sound Field Visualization Method," ISRN Mechanical Engineering, vol. 2013, Article ID 241958, 11 pages, 2013.
- [2] Bendat, J. S., and Piersol, A. G., "Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis," 1st ed., Wiley, New York, 1980.