

Uso de medidas directas de velocidad de partícula para la optimización de potencia acústica de electrodomésticos y maquinaria

Lola García Escribano¹, Andrea Grosso¹, Daniel Fernandez Comesaña¹

¹Microflown Technologies, The Netherlands
garcia@microflown.com

Resumen

Actualmente, siguiendo la normativa europea de diseño ecológico, es necesario el etiquetado y especificación de la potencia acústica en maquinaria y bienes de consumo. Haciendo uso del mapeado de intensidad sonora es posible estimar la energía radiada por un elemento. Además, el estudio de variaciones en los niveles de velocidad de partícula para diferentes etapas de desarrollo y configuraciones permite la fijación de objetivos de silencio y calidad. Debido a su cuasi-nula dependencia del entorno de medida, la velocidad de partícula resulta un indicador óptimo para la comparación de diferente maquinaria, incluso medida en todo tipo de escenarios. Esto hace posible su comparación directa y el enfoque de las soluciones sobre los componentes ruidosos detectados así como la clasificación del producto en una escala de competencia cualitativa.

Palabras clave: potencia acústica, velocidad de partícula, intensidad sonora, optimización maquinaria.

Abstract

The current European directive regarding Eco-design requires the description and labeling of the sound power of consumer goods and industrial machinery. The usage of intensity mapping not only allows describing the radiated energy but also the creation of color maps for noise source ranking. The goal is to minimize the noise radiation and establish silence and quality performance. Due to the small affection of the particle velocity by the measurement environment, the particle velocity sensor is an optimum tool to perform machinery comparison, even measured in different scenarios. The improvements are focused on the component noise target and competitor benchmarking.

Keywords: sound power, particle velocity, intensity, machinery optimization.

PACS no. 43.50.Jh, 43.50.Yw

1 Introducción

El ruido radiado por maquinaria es necesariamente medido en el entorno de trabajo de la misma, cuyas características son difíciles para los sistemas de medición por resultar un entorno muy ruidosos y generalmente muy reflectante.

En esta comunicación se presentan diferentes medidas, en las que se confrontan diferentes escenarios con los que los consultores y personal de mantenimiento se encuentran a diario. Por una parte se presentan medidas con el objetivo de la comparación de un mismo elemento, con el mismo régimen de funcionamiento pero en diferentes entornos acústicos. Por otra la caracterización de la misma maquinaria en diferentes regímenes de trabajo.

Para la primera casuística, una máquina limpiadora MP 75 es medida y comparada en dos entornos acústicos con más de 6 dBA de diferencia de nivel de ruido de fondo. Demostrando que la velocidad de partícula se ve muy poco afectada por esta variación, obteniendo similares mapas de localización de las fuentes sonoras en ambos casos.

En referencia a la segunda casuística una máquina cortadora laser Mazak HyperGear 2500 es medida en dos modos de operación, durante funcionamiento y durante el proceso de cargado de la máquina, pudiendo ver las fuentes de ruido de la misma. En este caso se muestra que para frecuencias bajas, por debajo de 500 Hz, la presión sonora no muestra ninguna información relevante a cerca de la localización de las fuentes sonoras. Mientras que la velocidad de partícula es capaz de mostrar estas fuentes claramente y los elementos que presentan fugas acústicas.

2 La sonda PU y sus características

2.1 Sensores de velocidad de partícula Microflow

Son muchas las aplicaciones en las que es necesaria la medición simultánea de presión y velocidad. En 1994 el primer sensor capaz de medir velocidad de partícula fue inventado, bautizado como el Microflow [1]. El principio de funcionamiento se basa en la medición de la diferencia de temperaturas entre dos hilos situados muy próximos. Los medibles cambios en resistencia causados por las variaciones de temperatura, son directamente proporcionales a la velocidad de partícula acústica.

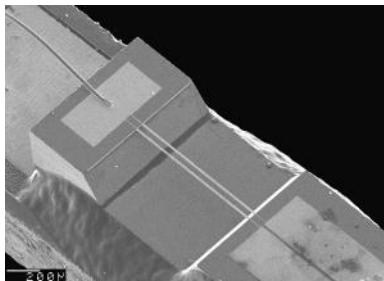


Figura 1. Imagen microscópica de un sensor Microflow.

Buscando algunas analogías, la presión sonora puede ser interpretada como voltaje eléctrico o, en términos energéticos, como energía potencial; siguiendo el mismo símil la velocidad de partícula estaría representada por intensidad eléctrica o energía cinética.

Debido a la versatilidad del sensor, distintas implementaciones del mismo han sido desarrolladas para obtener los mejores resultados en cada entorno de medida y necesidad. Los tres ejemplos principales son presentados en la figura 2.

Empezando por la derecha, la sonda de escaneo, está formada por un único sensor de velocidad de partícula y es comúnmente utilizada para la medición de vibraciones en campo cercano.

Para la medición de intensidad, energía o impedancia acústica, un transductor adicional de presión es necesario. Por ello se utilizan las sondas PU (Presión-Velocidad).

Las sondas USP consisten en 3 sensores de velocidad de partícula colocados ortogonalmente y un micrófono de presión, haciendo posible la medición directa del vector de intensidad tanto en campo cercano como lejano.



Figura 2. Izquierda: sonda de escaneo (1D velocidad). Centro: sonda PU (presión y velocidad 1D). Derecha: sonda USP (presión y velocidad 3D).

Un gran número de sectores están haciendo uso de sonda PU como por ejemplo el sector del automóvil, aeroespacial o militar. Un amplio abanico de aplicaciones es cubierto actualmente, desde la medición de intensidad sonora, vibraciones o impedancia hasta localización de fuentes sonoras en campo cercano y lejano.

Las características más importantes de las sondas PU son:

- El pequeño tamaño de la sonda y su configuración totalmente independiente del rango de frecuencia de interés [2],[3].
- Alto rango dinámico de velocidad en campo cercano y su baja influencia a ruido de fondo o reflexiones [3]
- La capacidad de medición de intensidad sonora con un alto índice de presión- intensidad [2]. Sondas de intensidad tradicionales basadas en medición de gradientes de presión tienen un alto grado de error en estas condiciones (ejemplo: interior de automóviles).
- En campo cercano, la velocidad de partícula es dominante frente a la presión sonora, haciendo la velocidad de partícula por sí misma muy eficaz para la detección de Fuentes sonoras.
- La velocidad de partícula, por su modo de comportamiento, es muy sensible hacia la captación de movimiento radiado por la fuente pero no por reflexiones en el entorno ya que estas no producen vibración en el elemento aunque sí contribuyen en el nivel de presión sonora.
- El patrón de directividad del sensor de velocidad de partícula tiene forma de 8, haciéndolo idóneo para la localización de fuentes sonoras reduciendo aún más su afección por ruido de fondo o reflexiones.

2.2 Scan and Paint, localización de fuentes sonoras mediante técnicas de escaneo

Scan & Paint es una técnica de medida basada en la combinación de la información acústica, adquirida por la sonda PU, con la información posicional de la misma, obtenida de una video cámara. En el momento del post procesado, se analiza cada toma de video de forma automática, obteniendo la localización de cada punto de medida. Esta información es combinada con la ventana temporal de señal acústica de la sonda. De este modo la presión sonora y la velocidad de partícula son asignadas a cada una de las posiciones pudiendo así generar mapas de color de alta resolución de estas magnitudes y otras como la intensidad sonora o la impedancia acústica.

3 Mediciones y objetivo

Las medidas fueron realizadas en la empresa Audacious localizada en Zevenaar, Holanda. El objetivo es la utilización del método de medida y la comprobación de su versatilidad en entornos de medida con muy alto nivel de ruido de fondo y la generación de mapas sonoros de alta resolución en dichas condiciones.

3.1 Equipamiento

Para la obtención de los resultados presentados en esta comunicación, se utilizó una sonda PU regular con acondicionador de señal de 2 canales con número, pareado durante la calibración junto con la sonda para la perfecta ecualización de la respuesta del sensor. Para la adquisición de la señal se utilizó un frontend Scout 422 de 24 bits y frecuencia de adquisición 48.000 Hz. Por último la cámara se trata de una webcam Logitech serie 50, todo ello con conexión vía puerto USB a un PC portátil.

3.2 Comparación de maquinaria en diferentes modos de funcionamiento

Los objetivos de esta medida son dos. La comprobación de la capacidad del sistema y el método de medida para localizar fuentes sonoras y fugas acústicas en las mamparas de la maquinaria. Y el análisis de la capacidad de discernir de las fuentes sonoras y su participación en diferentes modos de operación. De este modo se pretende conocer la exposición real a ruido del operario en los diferentes modos de funcionamiento a los que se encuentra sometido.

3.2.1 Descripción de la maquinaria

La maquina es una Mazak HypeGear 2500, cortadora a laser de piezas metálicas.

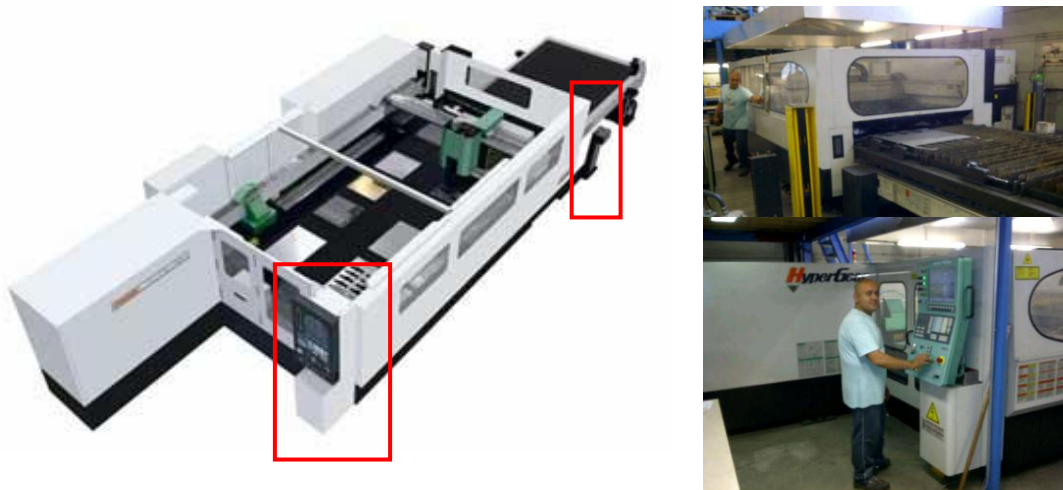


Figura 3. Maquinaria y puestos de operario

El trabajo del operario consiste en 2 tareas principales:

- Programación del proceso de cortado, realizado desde la consola de la imagen inferior
- Carga de material y alimentación de la maquina con el mismo. Realizado desde el puesto que se muestra en la imagen superior derecha.

Durante estas dos tareas principales, la maquinaria se encuentra en dos estados, medidos durante el estudio:

- Stand by: la máquina se encuentra en funcionamiento, con los sistemas de ventilación e hidráulicos encendidos pero sin realizar cortes. Esta situación se da mientras no está en uso y cuando ha de ser cargada con una nueva pieza de metal a cortar.
- Cortando: mientras el laser y el sistema de posicionamiento se encuentran en funcionamiento.

3.2.2 Comparación de los modos de funcionamiento

En la figura inferior, se presentan los espectrogramas de los paneles frontal y lateral de la máquina en ambos regímenes de funcionamiento.

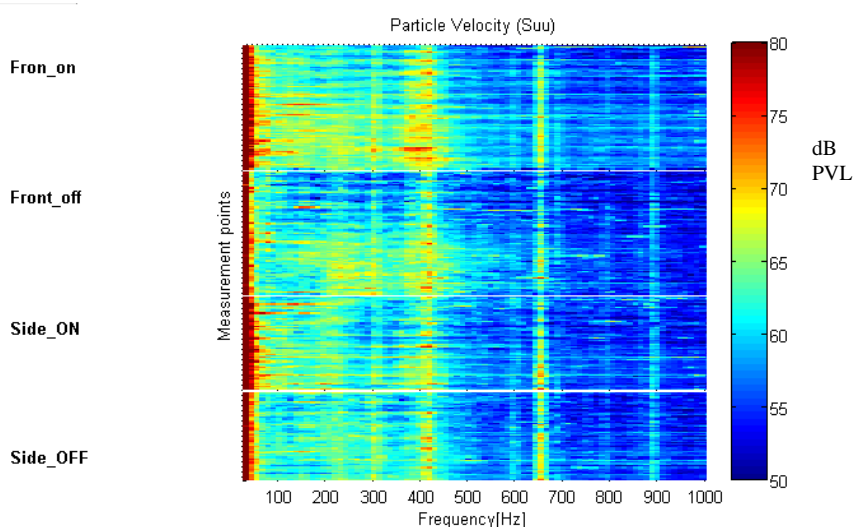


Figura 4. Comparación de 2 modos de funcionamiento

En ambas superficies se aprecia una mayor aportación en las bajas frecuencias cuando la cortadora está funcionando que cuando esta en stand-by.

Al encontrarse los sistemas de ventilación y refrigeración siempre en funcionamiento, las aportaciones principales aparecen para ambos modos de operación.

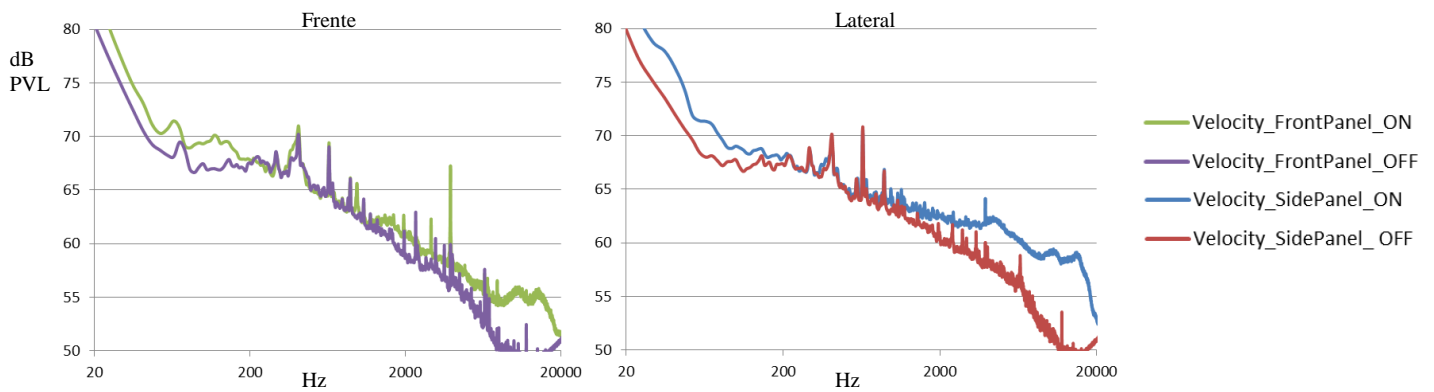


Figura 5. Espectrogramas de velocidad de partícula para los dos paneles analizados en ambos modos de operación.

Para ambos modos de funcionamiento, las principales fuentes de ruido se encuentran en los tercios de octava de: 400 Hz y 680 Hz. Por este motivo se muestran los mapas de color de estos rangos frecuenciales a continuación:

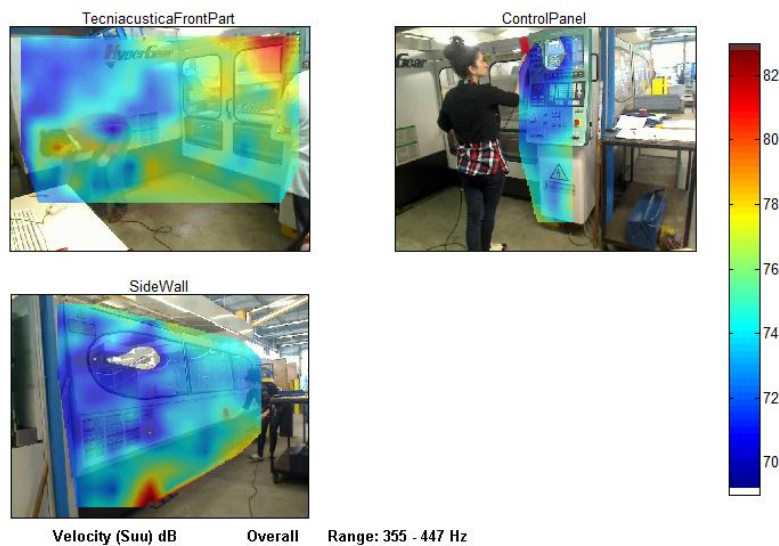


Figura 6. Localización de las fuentes radiantes en 355-447 Hz

Se aprecia claramente que para la aportación de más baja frecuencia existen puntos de fuga acústica tanto en la parte inferior de la junta del cristal protector con el resto de la estructura, en el panel lateral y en la junta superior en el frontal.

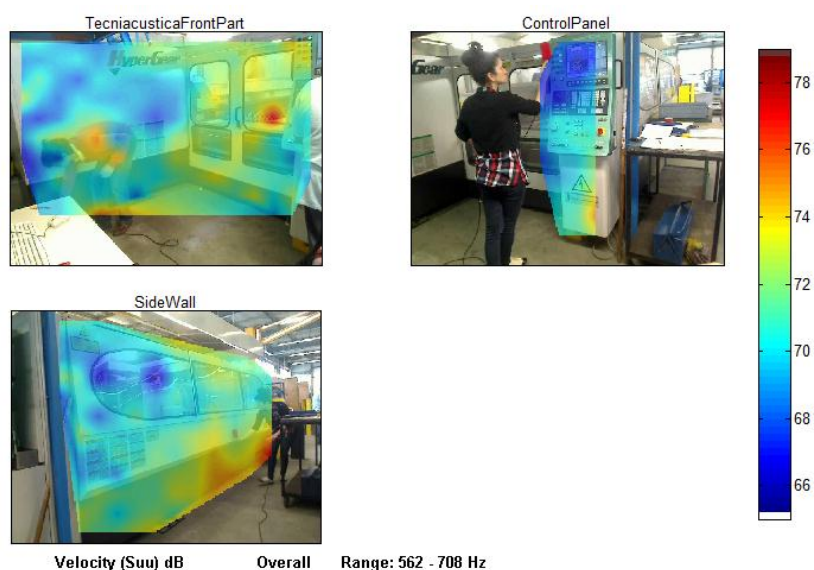


Figura 7. Localización de las fuentes radiantes 562-708 Hz

Para el tercio de octava superior, se aprecia una fuente de radiación en el cristal frontal y pérdidas en la parte trasera de la maquinaria.

3.3 Comparación de funcionamiento en diferentes entornos ruidosos

El objetivo de esta medida es la comprobación de la estabilidad frente a ruido de fondo del sistema y el método de medida. Para ello se utilizó una máquina portátil, emplazándola en dos ambientes sonoros: dentro de la zona de producción y fuera de zona de producción.

3.3.1 Descripción de la maquinaria y los dos ambientes sonoros

La maquina se encuentra representada en la figura 8.



Figura 8. Limpiadora MP 75 usada en los test.

Los dos ambientes de medida se encuentran descritos en la figura a continuación:

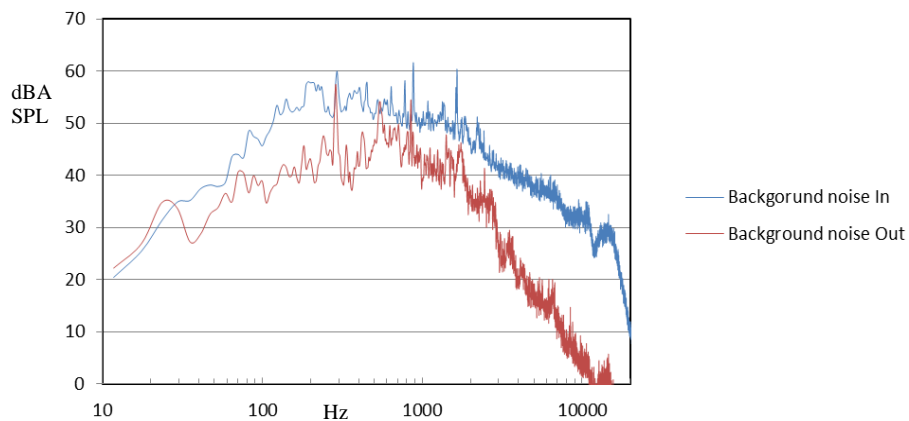


Figura 8. Ruido de fondo medido en dos ambientes ruidosos diferentes (dBA).

Se aprecia una diferencia de nivel de ruido de fondo de 6 dBA entre un entorno de medida y otro siendo el ruido total de 58.3 dBA en el ambiente más silencioso y 64.3 dBA en el interior de la zona de producción.

La intensidad sonora radiada por la maquinaria medida en ambos ambientes sonoros, con la diferencia de 6dBA de ruido de fondo, no presenta desviaciones en el resultado debido a la diferencia ambiente sonoro en que se encuentra la máquina inmersa:

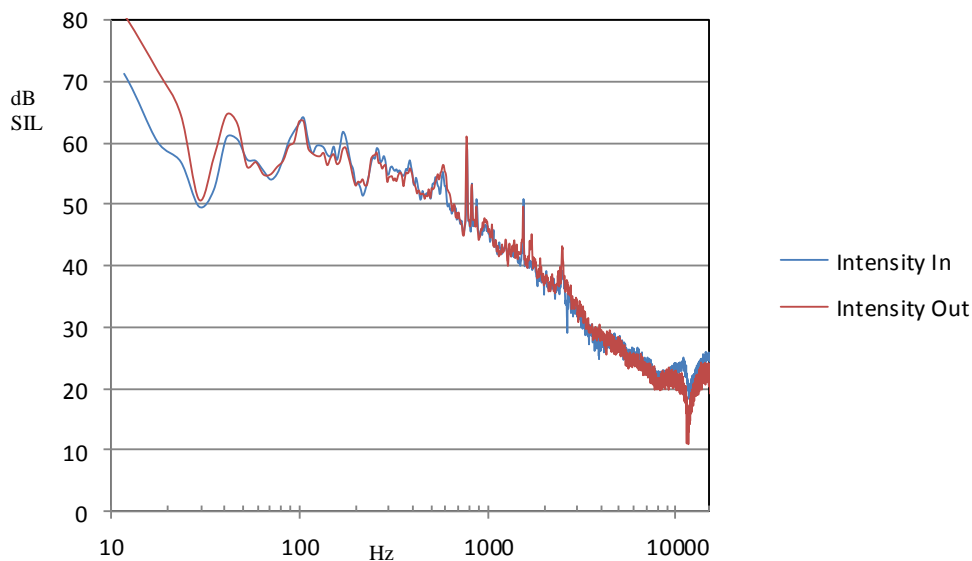


Figura 9. Comparación de resultados obtenidos dentro y fuera del área de producción.

La distribución de la velocidad de partícula a lo largo de la superficie de medida no depende del entorno ruidoso donde se encuentra la máquina inmersa, mientras que la presión sonora se encuentra más expuesta a distorsión de los resultados debido al ruido de fondo y reflexiones.

La medida directa de la velocidad de partícula presenta 2 ventajas principales aplicada a la localización de fuentes sonoras: al realizarse la medida directa de todas las magnitudes, no se presentan limitaciones de rango dinámico, en comparación con otras técnicas como la holografía o el beamforming. Además permite la medición de la intensidad y la potencia acústica en ambientes donde el índice p/I es muy elevado para técnicas como las sondas PP, como se verá a continuación.

3.3.2 Medida y errores de la intensidad sonora

En general, los actuales equipos de medida de intensidad basados en sondas PP presentan problemas para ambientes en los que el índice de presión-intensidad es superior a 10 dBs en casi todo el rango frecuencial. Incluso por debajo de 200 Hz, un índice p/I de 5dB resulta ya crítico.

Estos valores elevados de índice p/I se presentan si el ruido de fondo es elevado comparado con el ruido emitido por la maquinaria en cuestión, particularmente si las medidas se realizan en ambientes reverberantes [4] como es el caso, generalmente, de una planta de producción.

En las medidas tomadas durante este estudio, en las muestras tomadas dentro de la zona de producción, el índice p/I está alrededor de los 10 dBs. En estas condiciones, cualquier sistema de medición de intensidad basado en presión sonora (como es el caso de las sondas PP) se encuentra fuera de sus límites de actuación. La sonda PU no es susceptible a valores altos de P/I, ofreciendo una alternativa muy valiosa para la medición de entornos industriales.

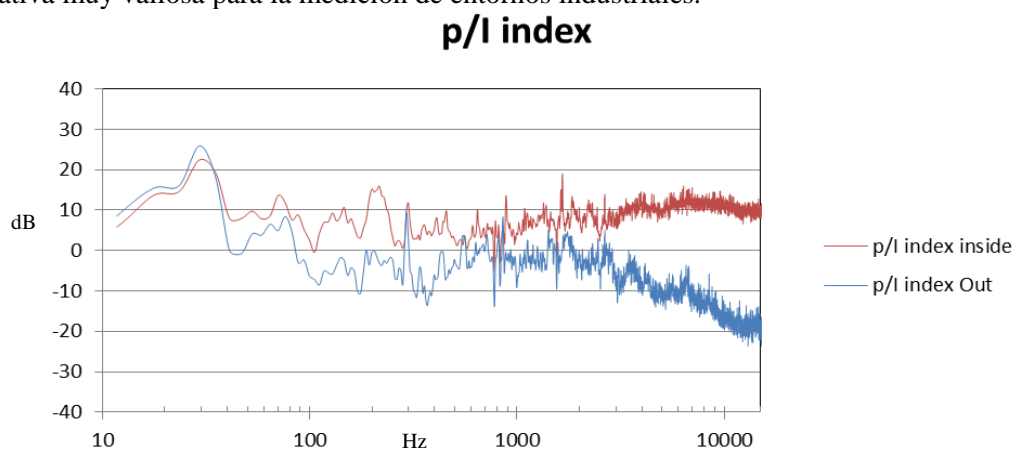


Figura 10. Índice p/I en ambos entornos de medida (dentro y fuera del área de producción).

El método de medida basado en sondas PP es muy sensible a errores en el pareado de la fase de los micrófonos. En el caso de la sonda PU la importancia de errores de fase depende del índice de reactividad presente a la hora de realizar la medida.

El gráfico mostrado debajo, ilustra el índice de reactividad medido dentro del área de producción. Se aprecia que solo por debajo de 50 Hz el índice J/I presenta valores mayores de 5dB, produciendo un error en la estimación de la intensidad por debajo de esta frecuencia, como se podía apreciar en la figura 9.

J/I index

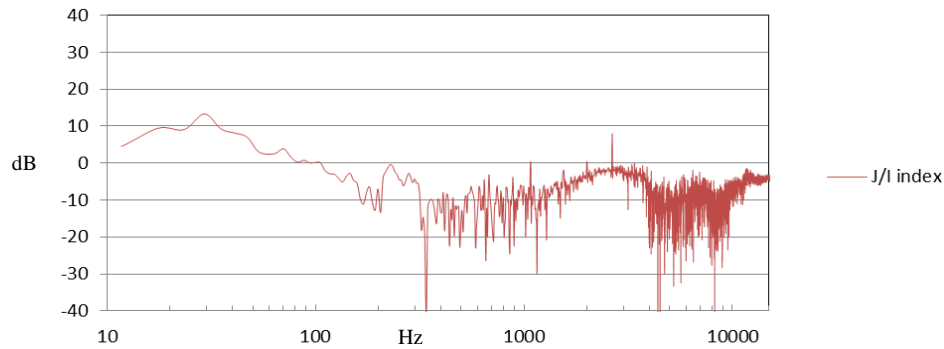


Figura 11. Índice J/I en el área de producción.

3.3.3 Localización de fuentes sonoras en ambos ambientes sonoros

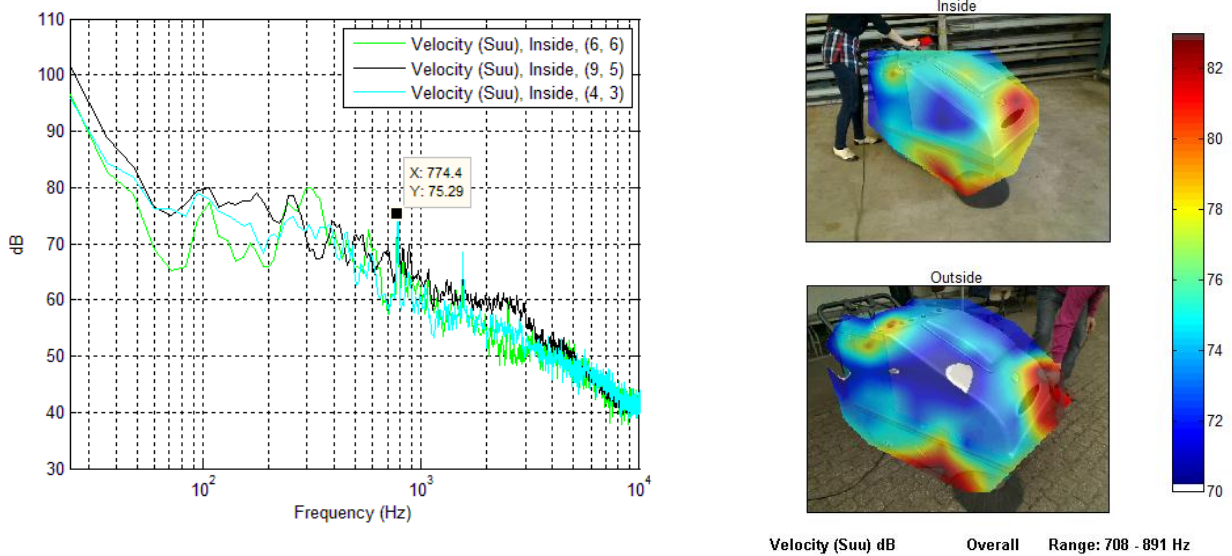


Figura 12. Izquierda: Espectrogramas medidos en las 3 zonas de interés. Verde: área frontal; Negro: área lateral; Azul: panel de control; Derecha: Principales Fuentes sonoras localizadas en la máquina. Aparecen dos áreas frecuenciales principales: 200 y 800 Hz, siendo las mismas fuentes las causantes como se puede apreciar en las figuras siguientes.

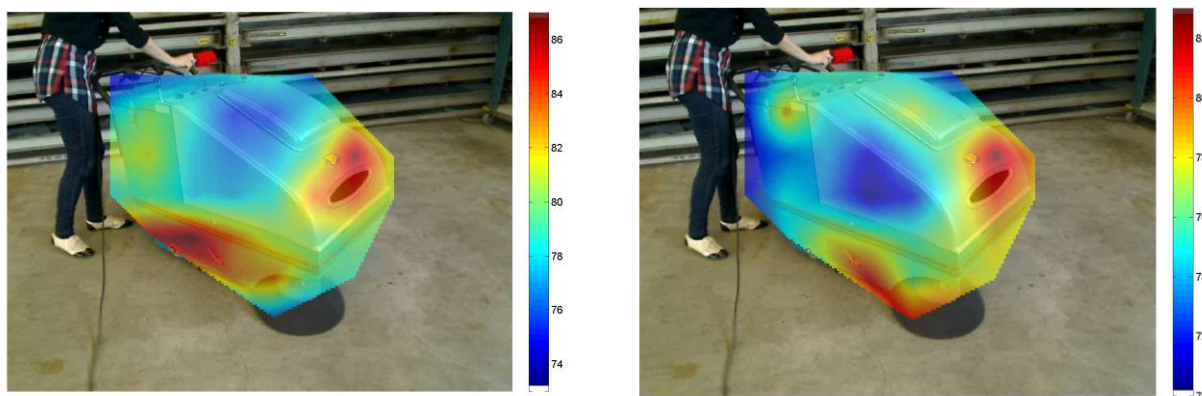


Figura 13. Izquierda: Fuentes dominantes 250-300Hz; Derecha: Fuentes dominantes 800 Hz

4 Conclusiones

Gracias a este estudio queda demostrada la utilidad de la medición directa de la velocidad de partícula y su uso para el cálculo de la intensidad sonora incluso para entornos en los que el índice presión intensidad presenta valores muy elevados pudiendo también utilizarse en entornos reactivos para la mayor parte del rango frecuencial.

Agradecimientos

Nuestros agradecimientos al equipo de Audacious por prestarnos su apoyo y ayuda durante las medidas.

Referencias

- [1] Hans- Elias de Bree; Sound intensity probes based on Microflown Technology.
- [2] F. Jacobsen, H-Ede Bree; A comparison of two different sound intensity measurement principles, JASA, 2005.
- [3] H-E de Bree, W. Druyvesteyn; A particle velocity sensor to measure the sound from a structure in the presence of background noise, Forum Acusticum, 2005
- [4] Hans Elias De Bree, E-book, chapter 5.