

CARACTERIZACIÓN DE ABSORBENTES ACÚSTICOS IN-SITU MEDIANTE SONDA PU

PACS : 43.55 EU

Tijs, Emiel¹; Fernández Comesaña, Daniel^{1,2}; García Escribano, Dolores¹

¹ Microflown Technologies

Tivolilaan 205

6824 BV

Arnhem

Holanda

E-mail 1: tijs@microflown.com

E-Mail 2: fernandez@microflown.com

E-mail 3: garcia@microflown.com

² Institute of Sound and Vibration (ISVR)

University Road, Highfield

S017 1BJ

Southampton

Reino Unido

ABSTRACT

There are methods to measure the acoustic absorption of materials, but all have their specific weaknesses. Most of them are laboratory based methods. The few in situ techniques that do exist have limitations in terms of band width, sample size, signal to (background) noise ratio and non anechoic environments. The combination of a PU probe with the generation of a known acoustic field allows the distinction between direct and reflected field by the evaluated sample. This makes possible the easy and fast characterization of the acoustic properties of any material, with independence to its location. Not only the theoretical principles are presented but also comparative results in different study cases, compared to standard techniques.

RESUMEN

Existen distintos métodos para medir absorción acústica, pero todos ellos tienen sus limitaciones específicas. La mayoría son en laboratorio y los pocos in situ tienen inconvenientes relacionados con el ancho de banda, tamaño de muestra, relación señal a ruido o necesidad de entorno anecoico. La combinación de una sonda PU con la generación de un campo sonoro conocido permite distinguir entre el campo directo producido y el campo reflejado en la muestra evaluada. Esto hace posible caracterizar de forma fácil y rápida las propiedades acústicas de cualquier material, independientemente de su ubicación e instalación. No sólo los principios teóricos en los que se fundamenta el método propuesto son presentados sino también resultados comparativos con técnicas estandarizadas.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación acústica puede ser reducida mediante la disminución de la radiación de la propia fuente, o bien reflejando el sonido hacia otra dirección o absorbiéndolo. A lo largo de los años se han desarrollado diferentes métodos para la medición de la absorción acústica, reflexión y la impedancia de diferentes materiales. Los más utilizados y demostrados son el tubo de Kundt (o tubo de impedancia) y la medición en cámara reverberante. Ambos métodos presentan restricciones en el rango frecuencial y en el tipo de materiales que se pueden analizar. Además, el principal problema de estos métodos de medida en laboratorio es que los resultados obtenidos son difícilmente extrapolables al entorno real, una vez que el material está instalado. Esto es por lo que las técnicas de medición *in situ* despiertan un creciente interés, ya que tienen en cuenta el efecto de instalación y los posibles defectos que ello pueda suponer.

La combinación de un micrófono y un sensor de velocidad de partícula en una sola sonda hacen posible la medición directa de ambas características en un mismo punto. Es por ello que magnitudes derivadas como la intensidad ($\langle p \cdot u \rangle_t$) o la impedancia acústica (p/u) son medibles de forma directa. Por tanto, la absorción acústica de distintos materiales puede ser calculada a partir de la impedancia medida.

La técnica de medición *In situ*, basada en sondas PU, tiene varias particularidades que serán descritas con mayor detalle a lo largo de este artículo. En general, las principales ventajas del método presentado son:

- Medición directa en el escenario de aplicación.
- Rapidez y amplio margen dinámico y frecuencial.
- Alta resolución espacial
- No son necesarias el uso de grandes muestras del material evaluado.
- Baja influencia por el ruido de fondo y reflexiones.
- Medición directa de impedancia, reflexión y absorción.

2. MEDICIONES DE LA ABSORCIÓN ACÚSTICA *IN SITU* CON SONDA PU

2.1. Sensores de velocidad de partícula Microflown

Buscando algunas analogías, la presión sonora puede ser interpretada como voltaje eléctrico o, en términos energéticos, como energía potencial; por otro lado, siguiendo estos ejemplos, la velocidad de partícula estaría representada por intensidad eléctrica o energía cinética. 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 Microflown [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.

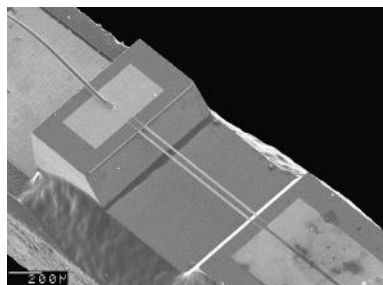


Figura 1. Imagen microscópica de un sensor Microflown estándar.

Debido a la versatilidad del sensor, distintas implementaciones del mismo han sido desarrolladas dependiendo de las condiciones de medida y la aplicación requerida. Tres ejemplos son presentados en la figura 2. Empezando por la derecha, la sonda de escaneo, está formada por un único sensor de velocidad y es comúnmente utilizada para la medición de vibraciones en campo cercano. Para la medición de intensidad, energía o impedancia acústicas, un transductor adicional de presión es necesario. Por ello, las sondas PU (Presión-Velocidad) son utilizadas para mediciones 1D y están formadas por un sensor de velocidad y otro de presión. 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, realizando, por tanto, mediciones acústicas en 3D.



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

En los últimos años un gran número de nuevas aplicaciones y sectores están haciendo uso de sondas 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).

2.2. Equipamiento de medición in-situ de absorción.

El sistema de medición ha sido creado tanto para calibrar la sonda como llevar a cabo medidas de absorción [4-6]. El equipo está formado por un altavoz con una cubierta esférica y una sonda PU colocada a 26 cm de distancia del mismo. La distancia y orientación entre el altavoz y la sonda debe permanecer invariante a lo largo de las mediciones, al igual que los parámetros de adquisición de datos, la sensibilidad de las sondas e impedancia del aire.

El procedimiento de medida se divide en dos pasos, en primer lugar se mide la impedancia en campo libre Z_{ff} . A continuación, la impedancia cercana a la muestra Z_m es medida. Asumiendo que la fuente se comporta como una excitación puntual con incidencia normal y que cualquier diferencia entre el frente de onda incidente y reflejado es causada por el material evaluado, podemos estimar la absorción siguiendo la siguiente formulación:

$$\alpha = 1 - |R|^2 = 1 - \left| \frac{\frac{Z_m}{Z_{ff}} - 1}{\frac{Z_m}{Z_{ff}} \frac{r}{r+2h} \frac{ik(r+2h)+1}{ikr+1} + 1} \frac{r+2h}{r} e^{ik2h} \right|^2 \quad (1)$$

Donde R es el coeficiente de reflexión compleja; r y h son las distancias entre sonda-altavoz y sonda-muestra respectivamente; y α es el coeficiente de absorción.



Figura 3. Equipo de medición de absorción acústica in situ basada en sonda PU

La presión y la velocidad pueden ser medidas en todo el rango audible, sin embargo, el límite de cálculo de la impedancia acústica se encuentra entre 100 y 300 Hz. Esta limitación viene dada tanto por los bajos niveles de radiación del altavoz en bajas frecuencias como por el uso de muestras de reducido tamaño. Por otra parte, estudiar materiales rígidos con coeficientes de absorción muy bajos (la velocidad es casi nula) aumentará el error de las medidas.

2.3 Comparación con el tubo de Kundt

Mediciones con sonda PU han sido comparadas con las obtenidas empleando los estándares para tubo de impedancia o tubo de Kundt [5]. Los resultados son similares, pero en algunos casos surgen discrepancias mayormente debidas a problemas con las asunciones hechas por la metodología de Kundt.

Una lámina de espuma de melanina es medida tanto con el tubo de Kundt como con el sistema basado en sonda PU. Las condiciones de medida son las mismas: paredes metálicas detrás y alrededor de la muestra. Ambos procedimientos muestran un máximo común a 2,5 KHz (figura 4). Desde un punto de vista práctico es interesante conocer cómo el tamaño de la muestra puede llegar a modificar las propiedades absorbentes de los materiales, algo que se puede evaluar usando el método basado en sondas PU. En el caso estudiado, usando una muestra de mayor tamaño se aprecia como el máximo de absorción aparece a una frecuencia menor, alrededor de 1.6 KHz. Valores negativos de absorción aparecen debido a la proximidad entre la fuente sonora y la muestra.

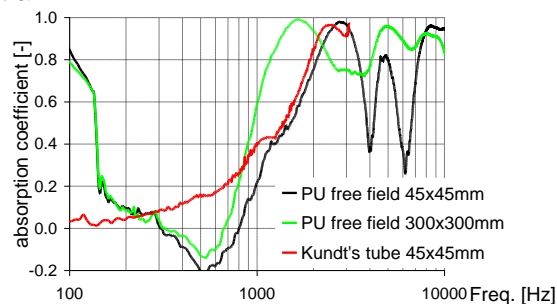


Figura 1. Influencia del tamaño de la muestra

3. APLICACIONES

3.1 Condiciones reverberantes: interior de vehículos [6] y salas de conciertos [7]

La distancia entre la sonda y la fuente es de tan sólo 26 cm por lo que las reflexiones en las distintas superficies del entorno cobran una menor importancia. Técnicas de enventanado temporal usando suavizados de media móvil a lo largo del espectro son utilizadas para reducir la influencia del campo reverberante, aislando la información reflejada en la muestra del resto. Gracias a esto, el proceso de calibración y de medida pueden hacerse en una oficina o incluso en ambientes aún más reverberantes, como es el caso de la siguiente sala de conciertos:

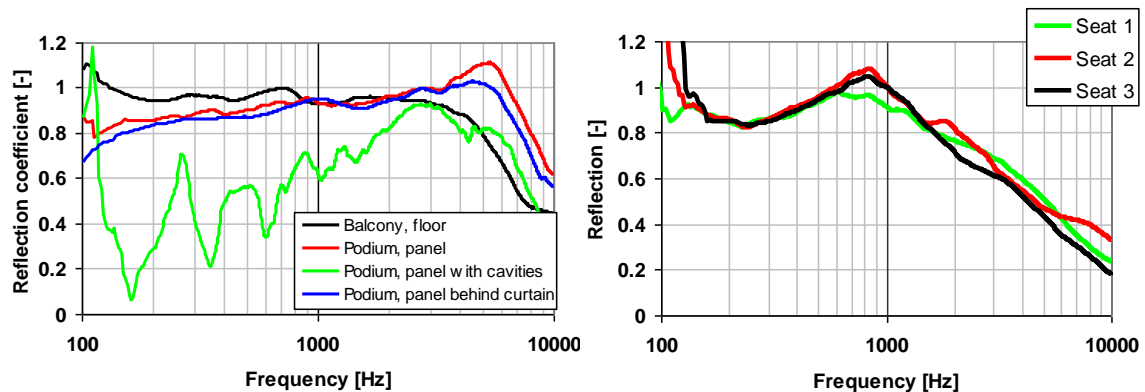


Figura 5: Coeficientes de reflexión obtenidos en una sala de conciertos de Arnhem (izquierda) y Budapest (derecha).

En la siguiente gráfica (figura 6) se presentan varias mediciones de una misma muestra de material realizadas en una oficina y en distintas partes del interior de un vehículo, con el objeto de demostrar la versatilidad del método y su independencia del entorno de medida:

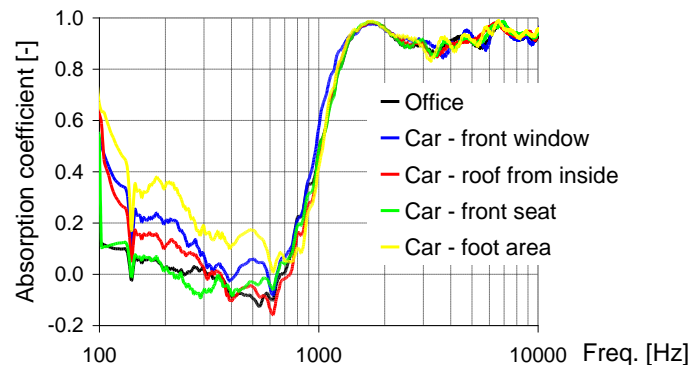


Figura 6: Medidas de absorción de un mismo material en distintos lugares

Las medidas in situ pueden ser utilizadas también para el control de producción y la evaluación de la consistencia de materiales absorbentes en los procesos de montaje de los mismos. En las figuras 7 y 8 se presentan las fotos y resultados de un experimento realizado en 25 techos y asientos de automóvil diferentes. Las medidas se llevaron a cabo con el fin de comprobar la efectividad y linealidad de los procesos de montaje. Los coches se encontraban aparcados en un parking con bajos niveles de ruido.

Fue observado que las propiedades acústicas de los materiales estudiados cambian ligeramente en el caso de los techos, y más significativamente para los asientos, incluso siendo la misma gama y tipo de automóvil. La localización de los puntos de medida parece ser menos

crítica, pero la variación entre asientos es grande, probablemente debido al proceso de montaje.

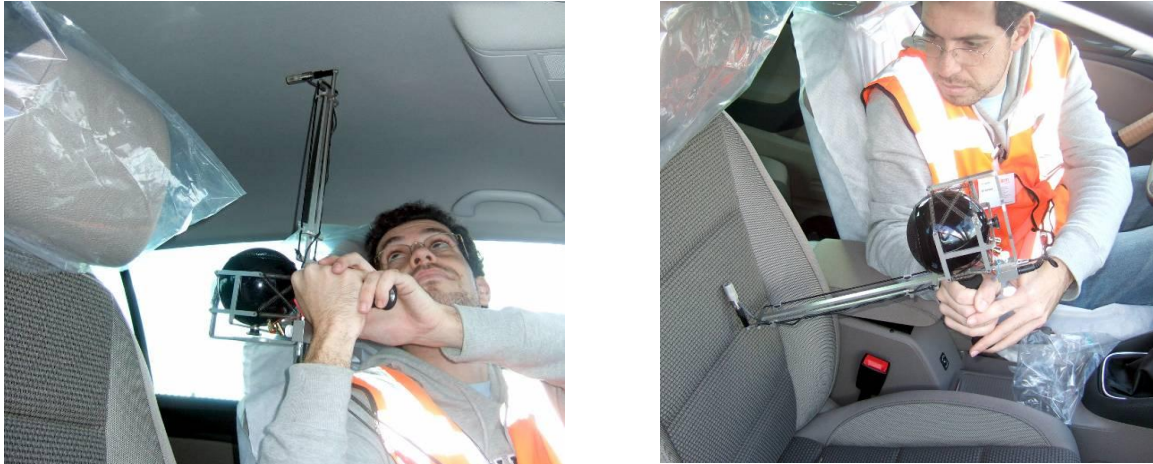


Figura 7: medidas in situ de el montaje del revestimiento del techo de un vehículo (izquierda) y de un asiento (derecha).

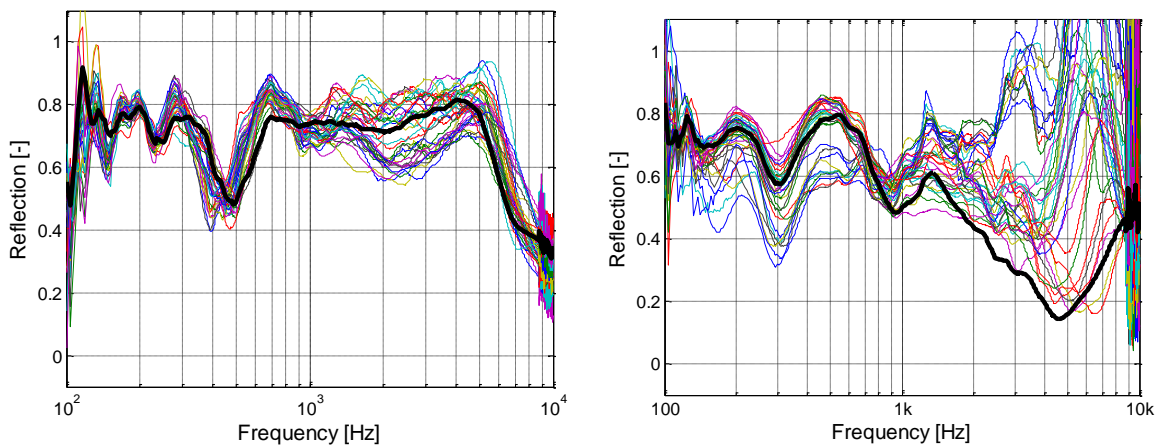


Figura 8: Coeficiente de reflexión para incidencia normal en 25 coches; techo (izquierda), asiento (derecha). La línea negra representa el promediado para el modelo.

3.2 Medición de la absorción de asfaltos durante la conducción [8]

Las propiedades acústicas de la superficie de las calzadas están directamente relacionadas no sólo con la atenuación del ruido, sino también con las propiedades mecánicas del asfalto o los procesos de mantenimiento requeridos. El método de medición de impedancia basado en sondas PU puede ser llevado a cabo tanto en laboratorio como in situ, en la carretera directamente, teniendo la ventaja de que no es necesaria la extracción de un pedazo de asfalto de la calzada.

En la figura 9 se presentan el montaje y resultados de un experimento que demuestra la viabilidad de llevar a cabo mediciones de impedancia incluso conduciendo a 80 km/h. Este tipo de medidas es muy útil tanto para el control de la producción e instalación de tramos de carretera, como para el seguimiento de la degradación del asfalto incluso en presencia de tráfico, lo cual no es posible con otros métodos. Con el montaje que se puede observar en la figura 9, adaptado al chasis del coche, se puede medir la impedancia en un rango de 300 a 10 KHz, hasta 40 Km/h, con bajos niveles de distorsión de los sensores. A 80 Km/h la señal

obtenida se vio afectada por el viento y las vibraciones producidas por defectos de la calzada aunque algunos segmentos de la señal pudieron ser procesados satisfactoriamente.

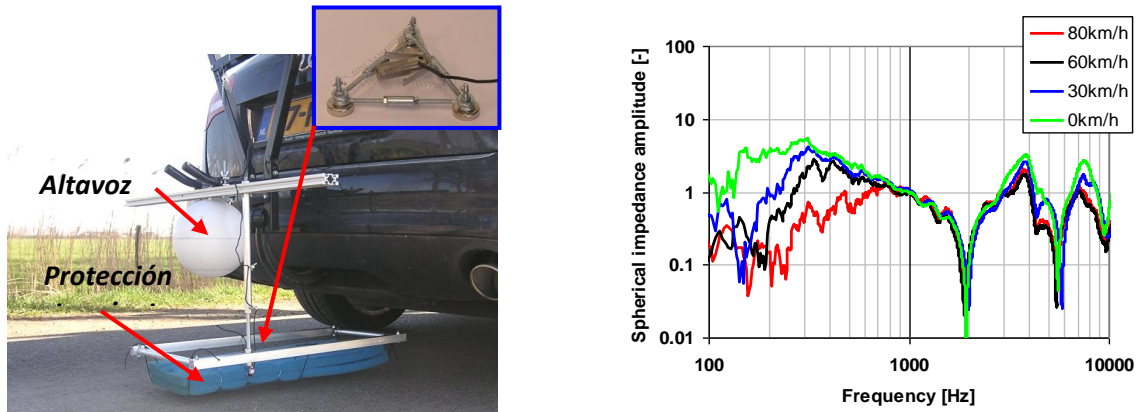


Figura 9: Montaje de medición in situ adaptado al coche (izquierda) y comparación de la absorción obtenida a diferentes velocidades para un mismo tramo de calzada (derecha).

3.3 Mediciones de alta resolución

Gracias al uso de una sonda ultra pequeña, conocida como PU Match, la resolución espacial puede reducirse al orden del milímetro así como la distancia entre sonda y muestra. Como ejemplo de medición de alta resolución se presenta un logo de la compañía Microflow [9], que fue grabado en una fina plancha metálica, y posteriormente colocada sobre un absorbente acústico. A una distancia de 1,5 mm entre muestra y sonda se realizaron múltiples mediciones punto a punto, separando cada punto de medida en una rejilla de 0,67 mm, cubriendo un área total de 12,3 cm² (1.9 inch²). En cada punto fueron registradas tanto la velocidad como la presión en un total de 2754 posiciones.

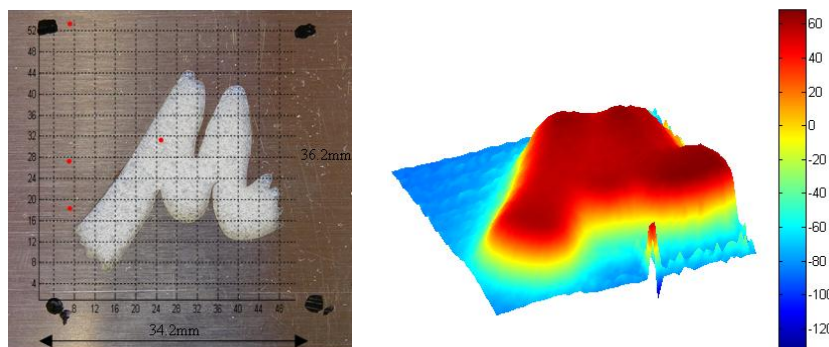


Fig 10: La muestra es medida en pasos de 0.67 mm. La gráfica de muestra corresponde al resultado de la impedancia a 2630 Hz.

3.4 Absorción y Scan & Paint

La técnica de adquisición y visualización de mapas sonoros conocida como Scan & Paint puede ser también aplicado para la rápida visualización de mapas de absorción [10]. En resumen, el protocolo de medida debe llevarse a cabo de la siguiente forma:

- La sonda PU es movida lentamente a lo largo de la superficie evaluada, grabando los dos canales de audio (presión y velocidad) y un vídeo de este recorrido.
- La sonda es localizada para cada fotograma del video.

- Mapas acústicos son generados mezclando la información espacial con la señal medida.

Dos ejemplos se muestran en la siguiente figura, la medición de la absorción en el asiento de un coche y de un avión:

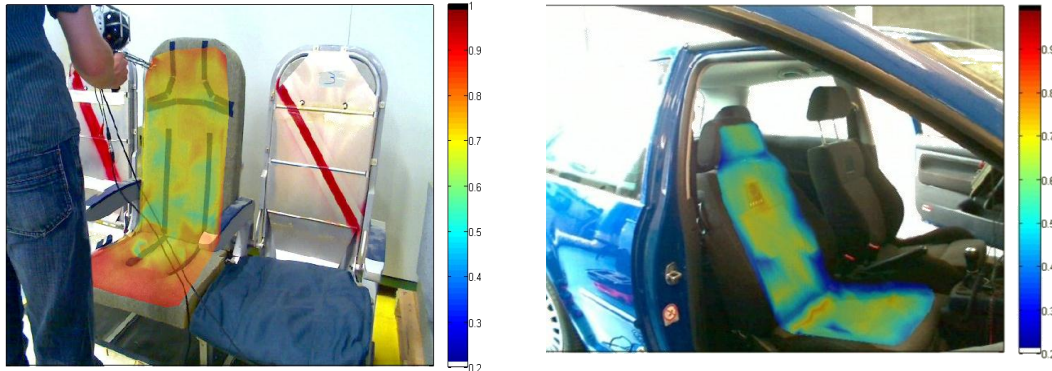


Figura 11. Absorción calculada a partir de edición con el método de Scan and Paint. A la izquierda: asiento de avión. Derecha: asiento de coche.

4. CONCLUSIONES

El método de medida de impedancia y absorción acústica basado en sensores PU ha sido presentado para distintas aplicaciones con exitosos resultados, demostrando su versatilidad. La flexibilidad del método permite incluso el análisis de muestras de cualquier tamaño y con una alta resolución espacial, configurable en función de las necesidades. Todas estas características hacen este sistema un método muy práctico tanto para el control de fabricación de materiales como de montaje, o procesos de producción y mantenimiento.

5. REFERENCIAS

- [1] The Microflown; a novel device measuring acoustic flows, H-E de Bree, P. Leussink, T. Korthorst, H. Jansen, T. Lammerink, M. Elwenspoek, Sensors and Actuators, 1996
- [2] A comparison of two different sound intensity measurement principles, F. Jacobsen, H-E de Bree, JASA, 2005
- [3] A particle velocity sensor to measure the sound from a structure in the presence of background noise, H-E de Bree, W. Druyvesteyn, Forum Acusticum, 2005
- [4] Two complementary Microflown based methods to determine the reflection coefficient in situ, H-E de Bree, E. Tijs, T. Basten, ISMA, 2006
- [5] A handheld device to measure the acoustic absorption in situ, H-E de Bree, M. Nosko, E. Tijs, SNVH, 2008
- [6] In situ PU surface impedance measurements for quality control at the end of an assembly line, E. Tijs, E. Brandao, H-E de Bree, SAE NVH, 2009
- [7] Large scale in situ acoustic absorption measurements in a theatre, E. Tijs, H-E de Bree, E. Brandao, DAGA 2009
- [8] An in situ method to measurement the acoustic absorption of roads whilst driving, E. Tijs, H-E de Bree, DAGA 2009
- [9] High resolution absorption mapping with a pu surface impedance method, Emiel Tijs, Hans-Elias de Bree, Eric Brandao, ASA NoiseCon 2010
- [10] Scan&Paint, a new fast tool for sound source localization and quantification of machinery in reverberant conditions, H-E de Bree, A. Grosso, J. Wind, E. Tijs, VDI, 2010