

## Determinación de errores en la medida de la potencia acústica mediante técnicas de intensimetría

A. Vela; M. Arana; J. Troitiño; J. Lejardi.

Laboratorio de Acústica. Dpto. de Física. U.P. Na. Campus de Arrosadía, s/n.  
31006 Pamplona.

### Abstract

A sound intensity probe have been designed and made. Besides of the physical device, that has implicating the development of a software which the user can accomplish different measurements and analysis: temporary and spectral analysis of acoustics signals, measurement and analysis of sound intensity and measurement and analysis of acoustic power according to ISO 9614-1 Standard. The acoustic power measurements with this device result satisfactory. In this communication we expose, fundamentally, the studies carried out to quantify the experimental errors that the device involves. Also we present the results obtained in the measure of the acoustic power both in absence and on presence of background noise.

### Fundamentos

En algunas aplicaciones (localización de fuentes, medida de potencia acústica, etc.) la determinación de la intensidad acústica presenta importantes ventajas frente a la medida de la presión acústica. La medida de la intensidad acústica implica la determinación, simultáneamente, de la presión acústica y la velocidad de partícula en el mismo punto de campo acústico. El tipo de sonda más frecuentemente usada consta de dos micrófonos enfrentados y a una pequeña distancia; puesto que se mide la presión en dos puntos, se denomina sonda tipo p-p. Partiendo de que la intensidad es el producto de la presión por la velocidad de partícula, aproximando la presión en el punto intermedio (fig. 1) por la semisuma de las presiones en ambos micrófonos y calculando la velocidad de partícula a través del gradiente de la presión, (HP, 1992) podemos aproximar la intensidad por la ecuación:

$$I = P \cdot V \approx \left( \frac{P_2 + P_1}{2} \right) \frac{1}{\rho} \frac{P_2 - P_1}{\Delta r} = \frac{P_2 + P_1}{2\rho_0} \frac{P_2 - P_1}{\Delta r}$$

La figura 2 muestra el diagrama de bloques para la medida de la intensidad utilizando el algoritmo dado por (1) en un analizador de intensidad (Fahy, 1995). Nosotros hemos diseñado y construido el soporte físico para la sonda, implementado el diagrama de bloques para la medida de la intensidad, así como un completo software específico para el análisis de la intensidad y la determinación de la potencia acústica de fuentes siguiendo la norma ISO 9614-1 (ISO, 1993). Las medidas de potencia acústica con este dispositivo ofrecen resultados muy satisfactorios. En esta comunicación exponemos, fundamentalmente, los estudios llevados a cabo para cuantificar los errores experimentales que involucra nuestro dispositivo; asimismo, presentamos los resultados obtenidos en la medida de la potencia acústica de fuentes.

### Fuentes de error en las medidas de intensidad

Las dos principales fuentes de error en la medida de la intensidad acústica son las siguientes.

#### Errores en altas frecuencias

Los errores más importantes en este apartado vienen motivados por las aproximaciones de linealidad que se realizan en el algoritmo que implica (1). Como muestra la fig. 1 (para el caso más fácilmente visuali-

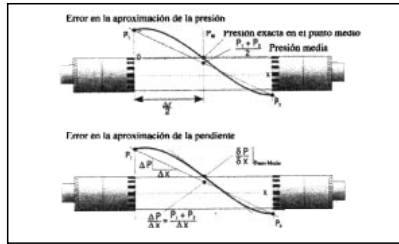


Fig. 1 Determinación de la presión y la velocidad de partícula y causas de error de

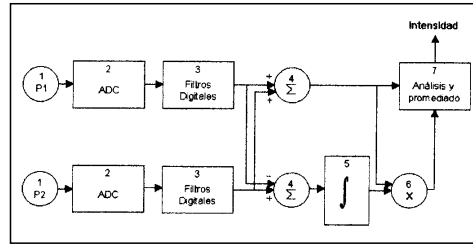


Fig. 2 Diagrama de bloques para la medida de la intensidad en sondas tipo p-p

zable de un tono puro tanto la presión como el gradiente de presión en el punto medio difieren del valor exacto; esta diferencia es tanto más acusada cuanto mayor es la frecuencia. Obviando otras causas de error y suponiendo un tono puro en campo abierto, se puede cuantificar el error hallando el cociente entre la intensidad medida por la sonda ( $I_s$ ) utilizando linealización y la intensidad teórica,  $I_t$ . Expresado este cociente en decibelios:

$$\varepsilon \text{ (dB)} = 10 \text{ Log} [\sin(2\pi\Delta r / \lambda) / (2\pi\Delta r / \lambda)] \quad (2)$$

Esta expresión da el error teórico en función del ratio entre la longitud del espaciador ( $\Delta r$ ) y la longitud de onda del sonido ( $\lambda$ ).

## 2.2.- Errores en bajas frecuencias

Para bajas frecuencias, la principal fuente de error es la desadaptación de fase entre los dos micrófonos (Gade, 1984). Puesto que para grandes longitudes de onda la diferencia de fase en las medidas de la presión de ambos micrófonos es pequeña, esta puede quedar enmascarada por la desadaptación de fase entre los micrófonos. En función del índice presión-intensidad  $L_{PI}$  ( $L_{PI} = L_P - L_I$ ), la ecuación para el ángulo de desfase entre ambos canales, viene dada por:

$$\sin \Phi = \frac{2 \pi \rho_0 I}{P_0^2} \cdot \frac{f \Delta r}{10^{L_{PI}/10}} \quad (3)$$

donde  $f$  es la frecuencia del sonido. Incluso en campos totalmente reactivos (misma presión y fase en ambos micrófonos) la desadaptación de fase entre los micrófonos produce intensidades no nulas, o intensidad residual; este remanente se denomina índice presión-intensidad residual,  $L_{RPI}$ . IEC 1043 es el standard que especifica tanto la precisión de fase como el índice  $L_{RPI}$  mínimo en función de la frecuencia.

## 3.- Dispositivo experimental

El dispositivo experimental lo conformaron los siguientes elementos:

- Soporte físico para micrófonos y previos con regulación variable en la distancia de los micrófonos.
- Micrófonos de condensador de respuesta plana ( $\pm 0.5$  dB en el rango 20 Hz - 20 Khz.)
- Preamplificadores ( $\pm 0.2$  dB en el rango 2 Hz - 200 Khz.)
- Fuente de alimentación con diferentes redes de filtrado y ganancia de hasta 40 dB
- Tarjeta de adquisición de 12 bits y 0,5 Mmps.
- Ordenador portable
- Cables de conexión

## 4.- Software específico

Todo el software (en adelante, Analizador de Audio) se ejecuta desde LabVIEW, utilizando lenguaje de programación gráfico. El Analizador de Audio se compone de cuatro instrumentos virtuales: analizador temporal, de espectros, de intensidad sonora y de potencia acústica. Todos los paneles de control de los instrumentos se dividen en tres partes: menú de operación (donde el usuario elige el instrumento, así como sus posibles configuraciones), zona de controles e indicadores y zona de representación gráfica. El software desarrollado permite una representación gráfica clara y un manejo de los controladores e indicadores muy sencillo, en forma similar a los analizadores comerciales más recientes. En el caso del analizador

de potencia acústica (y basado en el cálculo de los indicadores de la Norma ISO 9614-1) el programa informa si la medida de potencia se ha ajustado a dicha norma o qué acción debe modificar para ajustarse a la misma.

### 5.- Verificación experimental del analizador de audio

Construida la sonda física y desarrollado el software, se procedió a la verificación del sistema en conjunto. En primer lugar se ajustaron los errores de amplitud debidos tanto a la atenuación de previos, cables y bus de adquisición como la correcta ganancia de la fuente. La comprobación del software desarrollado para la medida de intensidad sonora verificando que cada submódulo del diagrama de bloques (filtrado, integración, suma, resta, etc.) realiza adecuadamente su cometido se realizó mediante generación de señal interna. El máximo error para las distintas frecuencias entre 125 Hz y 4KHZ fue de 0,1 dB en la medida de la intensidad. La medida del desfase entre los dos micrófonos usados se llevó a cabo en pequeño recinto anecoico mediante barrido de frecuencias. Incluyendo los errores derivados tanto por la resolución de la pantalla como el derivado de la imprecisión en la colocación de los micrófonos y la no simultaneidad de la adquisición, el desfase entre ambos canales es inferior a 10° entre 125 Hz y 4 Khz.

Al no disponer de cámara anecoica normalizada, realizamos una verificación del analizador de intensidad sonora en campo abierto. Para ello se midió en campo abierto la intensidad medida por el Analizador de Audio para diferentes tonos entre 125 Hz y 4 Khz, comparando estos resultados con los esperados teóricamente. La figura 3 muestra el error cometido por nuestra sonda (puntos) junto con las curvas teóricas para dos espaciadores de 50 y 12 mm.

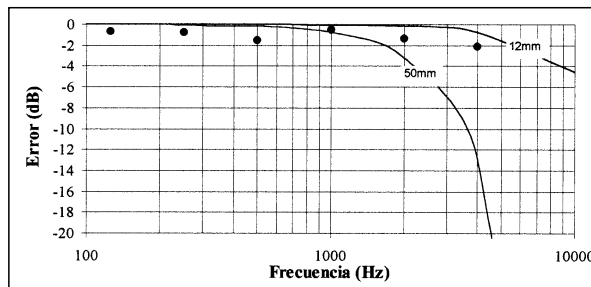


Fig. 3.- Error de la sonda para diferentes frecuencias.

Medidas análogas se llevaron a cabo para la evaluación del diagrama de directividad de la sonda para diferentes frecuencias. Como es sabido, para fuente puntual en campo abierto, la intensidad varía con la orientación angular de la sonda en el plano que incluye al eje, en la forma:

$$I_{\theta} / I_{\theta=0} = 10 \text{ Log} [\cos^2 \theta] \quad (4)$$

La figura 4 muestra los resultados experimentales, junto a las curvas teóricas para los tonos puros centrados en las bandas de octava.

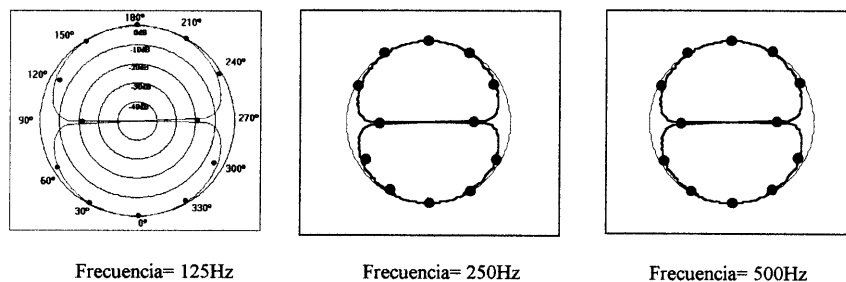


Fig. 4.- Resultados experimentales del diagrama de directividad

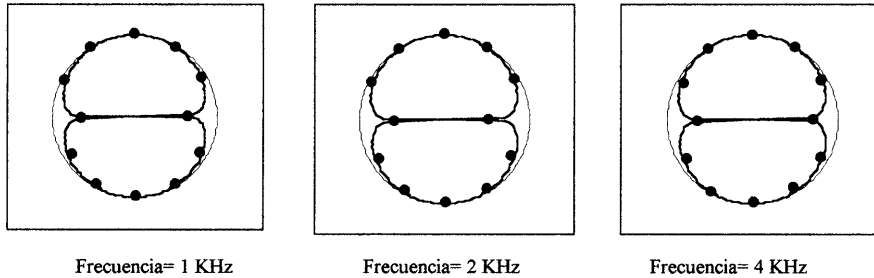


Fig. 4(cont.).- Resultados experimentales del diagrama de directividad

Cuando el eje de la sonda es perpendicular a la dirección de la fuente, el resultado de la intensidad debería ser nulo; no lo es tanto por el ruido de fondo como, principalmente, por el fondo de escala utilizado al muestrear la señal. Estos valores rondan el valor de  $10^{-5}$  W/m<sup>2</sup>, es decir, el nivel de intensidad sonora residual es, aproximadamente, 70 dB (ref.  $10^{-12}$  W/m<sup>2</sup>).

#### 6.- Medidas de potencia acústica

La medida de la potencia acústica es una de las aplicaciones más útiles de las técnicas de intensimetría sonora. En ausencia de cámara anecoica, hemos puesto a prueba nuestro Analizador de Audio midiendo la potencia acústica de una fuente en nuestro laboratorio en presencia de bajo y elevado ruido de fondo. Como fuente acústica se utilizó un altavoz alimentado con ruido rosa y blanco. Como superficie de medida hemos usado una esfera de 1,65 metros de diámetro (Arana, 1997) con 24 puntos de medida. El ruido de fondo del local es inferior a 50 dBA. Para las medidas con elevado ruido de fondo, emitimos ruido rosa y blanco en un extremo del local. Los niveles de presión sonora producidos por esta fuente externa eran (en los puntos de medida) de similar nivel que los producidos por la fuente de ensayo. Los resultados obtenidos son de acuerdo con ISO 9614-1 y fueron los mostrados en la Tabla 1.

	Bajo ruido de fondo	Elevado ruido de fondo
Fuente 1	87,2	86,9
Fuente 2	95,6	95,8

Tabla 1.- Potencia acústica (en dB, ref.  $10^{-12}$  W / m<sup>2</sup>) de fuentes medidas con el Analizador de Audio ante bajo y elevado ruido de fondo.

#### 7.- Conclusión

El Analizador de Audio desarrollado en el Laboratorio de Acústica de la Universidad Pública de Navarra es un instrumento fiable y de sencillo manejo para el usuario que integra, además de analizadores temporal y espectral, dos potentes analizadores de intensidad y potencia sonora siguiendo la norma ISO 9614-1. Todas las medidas realizadas con el mismo ofrecen resultados muy satisfactorios; no obstante, ulteriores medidas en cámara anecoica son necesarias para precisar el tipo de instrumento que aquí se ha presentado.

#### Referencias

Hewlett-Packard. "Sound Power Measurements". Application Note 1230. 1992  
 Fahy, J. "Sound Intensity". E&FN SPON. London. 1995  
 Gade, S. "Validity of Intensity Measurements". InterNoise 84. Honolulu (USA). 1984  
 ISO 9614-1. Acoustics. "Determination of Sound Power Levels of Noise Sources Using Sound Intensity". Part Y: Measurements at Discret Points. 1993  
 Arana, M. et al. "Directividad y Potencia Espectral de Fuentes Acústicas Impulsivas". *Tecniacústica* 97. Oviedo, 1997.