

CONSTRUCCIÓN Y AJUSTE DE UNA SONDA INTENSIMÉTRICA

PACS: 43.58.Fm

Alba Fernández, Jesús; Ramis Soriano, Jaime; Garcia Selva, Jorge
Departamento de Física Aplicada; Escuela Politécnica Superior de Gandía; Universidad Politécnica de Valencia

Carretera Nazaret-Oliva S/N
Grao de Gandía 46730 (Valencia)
España

Teléfono (96) 284.93.14 - (96) 284.93.00

Fax : (96) 284.93.09

E-mail :jesalba@fis.upv.es, jramis@fis.upv.es

ABSTRACT

This paper deals with the study of the accuracy of a prototype of an intensity measurement system. The system features the sound intensity probe and the processor, which has been developed using a DSP and the graphic programming language LabView. Once the reliability of the system had been demonstrated, the measurements made with it will allow us to make a discussion about the validity of the correction technique based in the probe inversion. Finally, a comparison between the different methods of calculating the intensity is showed.

RESUMEN

En este trabajo se describe el proceso seguido para la construcción, el ajuste y la calibración de una sonda intensimétrica de configuración lateral, utilizando un procesador digital de la señal. Se presenta una comparación entre dos métodos para obtener la velocidad: el método directo (en el que se utiliza la ecuación de Euler para determinar la velocidad) y el indirecto, normalmente utilizado en el equipamiento profesional, (a partir de la parte imaginaria del espectro cruzado), así como los resultados de aplicar la técnica inversión de la sonda para corregir el error de desfase de los micrófonos. Además, se presenta un ejemplo de aplicación del parámetro coherencia p-u como indicador del campo sonoro.

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este trabajo es el diseño y construcción de un sistema de medida dedicado a la intensimetría. Se trata de conseguir una aproximación razonable a un sistema de medida normalizado, teniendo en cuenta las restricciones impuestas por el desajusten de fase de los micrófonos utilizados para la sonda.

Una vez desarrollado el prototipo y comprobada su validez dentro de los criterios planteados inicialmente el sistema de medida diseñado nos ha permitido hacer diferentes ensayos sobre los diferentes aspectos, tales como la técnica de corrección de errores basada en la inversión de la sonda, la correspondencia entre resultados obtenidos a partir del método directo e indirecto, y la validez de la coherencia p-u como indicador del campo sonoro.

A continuación se recogen los resultados obtenidos de mayor interés, así como una descripción cualitativa del sistema de medida y del proceso de verificación de su precisión.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA

Como ya se había avanzado, el sistema de medida está formado por la sonda y el procesador. El prototipo de sonda realizado está basado en la configuración lateral, debido al tipo de micrófonos empleado. La figura 1 muestra un esquema del prototipo. Como se puede ver, la longitud de los preamplificadores (aprox. 80 mm) obliga a la utilización de la configuración lateral, ya que la configuración frontal implicaría una distancia mínima a la fuente de ruido considerable.

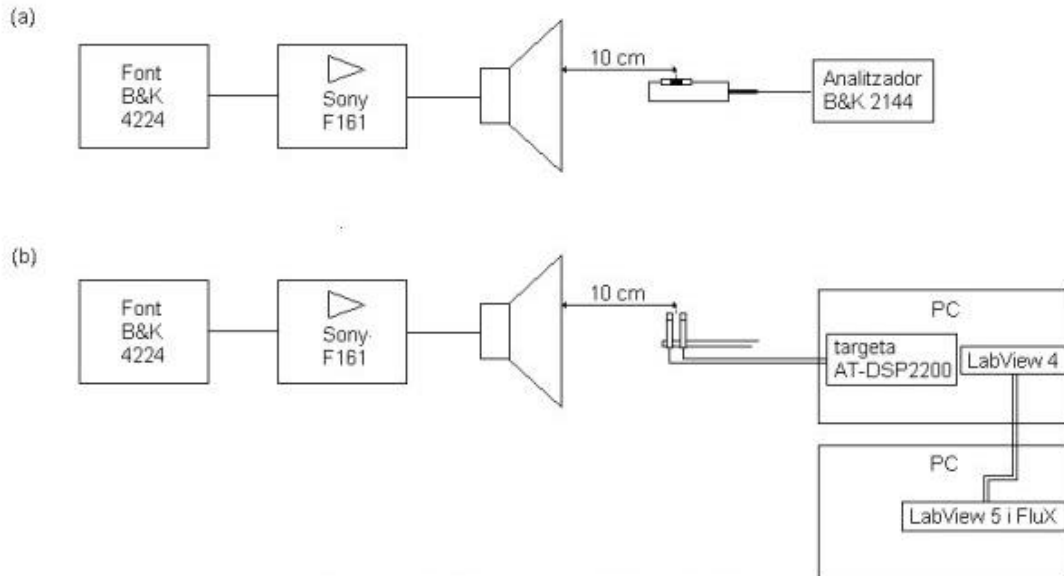


Figura 1: Esquema del prototipo

Los micrófonos utilizados en la sonda son micrófonos de condensador, concretamente los modelos 4188 y 4189 de Brüel & Kjaer. Estos transductores tienen un diámetro de $\frac{12}{16}$ mm, hecho que imposibilita la utilización de distancias intermicrofónicas inferiores a 13 mm, por lo que el rango espectral de medida se verá limitado en frecuencias altas por este hecho. En realidad, la distancia mínima entre micrófonos es mayor de 13 mm, debido al grosor de las piezas metálicas utilizadas como soporte de los micrófonos queda finalmente en 15 mm. Si fijamos el límite del error en -1 dB, para esta distancia la frecuencia más alta para la que son válidas las medidas es de 4000 Hz [1-2].

Por lo que respecta al procesador, se ha utilizado una tarjeta de adquisición de datos y una aplicación programada en LabView. Este software se encarga de adquirir las señales con la tarjeta (AT-DSP2200 de National Instruments) y posteriormente procesarlas para obtener la intensidad y otros parámetros (coherencia p-u, presión, intensidad reactiva, índice de reactividad, etc). La figura 2 muestra el panel frontal del programa desde donde se accede a los módulos de adquisición, reproducción y procesado. En la pantalla se muestra el resultado de una medida de intensidad. El hecho de que el procesado se realice por software permite que el procesador quede abierto a modificaciones y, por tanto, incrementa las posibilidades del sistema de medida

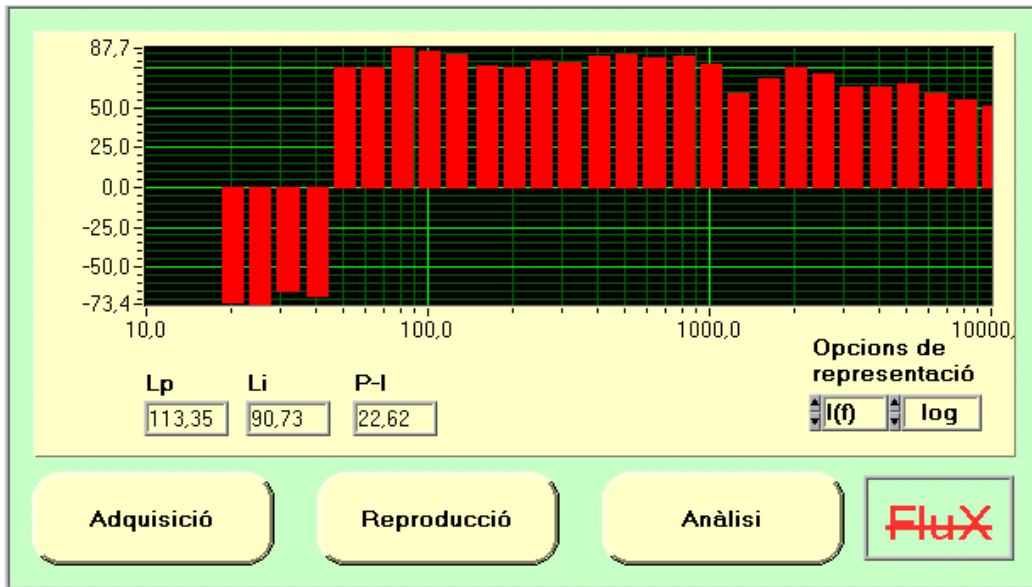


Figura 2: Panel frontal

Para poder comprobar la validez del sistema diseñado a la hora de medir intensidad, se ha utilizado un método de comparación respecto a un sistema de medida normalizado. Concretamente, el equipo normalizado consiste en la sonda 3583 de Brüel & Kjaer y el analizador de espectro 2144. Para que el método de comparación sea válido, se ha asegurado que las condiciones de medida en ambos casos sean las mismas. Por ello, tanto la fuente de ruido como la distancia a la misma se han mantenido en las dos series de medidas: una primera serie con el equipo normalizado y una segunda con el equipo prototipo. La figura 3 es una fotografía realizada durante la realización de las medidas con el equipo normalizado. En ella se aprecia claramente la sonda de Brüel (nótese como la configuración es frontal) y el analizador de espectro. También se observa la fuente de ruido escogida para las medidas: una caja de 3 vías de dimensiones 380x560x255 mm.



Figura 3: Montaje realizado

La señal utilizada para alimentar la caja donde están montados los tres altavoces es un ruido de banda ancha. A continuación se muestran los resultados de 10 medidas como un elemento de validación del sistema prototipo frente al sistema normalizado.

Medida 1.

Esta medida se realiza a 10 cm de la fuente sobre el eje central del altavoz de graves. Las distancias intermicrofónicas son de 12 mm para la sonda A (normalizada) y de 15 mm para la sonda B (prototipo). La figura 4 muestra los resultados obtenidos con cada uno de los equipos. Se puede observar como la intensidad obtenida con el sistema prototipo tiende a ser menor que la obtenida con el equipo normalizado. No obstante, en el rango espectral donde las medidas son válidas, el error se puede considerar satisfactorio: desde 100 Hz hasta 4000 Hz se está cometiendo un error medio (respecto a la instrumentación normalizada) de $\pm 1,73$ dB. Por debajo de 100 Hz los errores causados por el desajuste de fase de los micrófonos tienen como consecuencia que las diferencias respecto a la sonda A se incrementen.

Medida 2

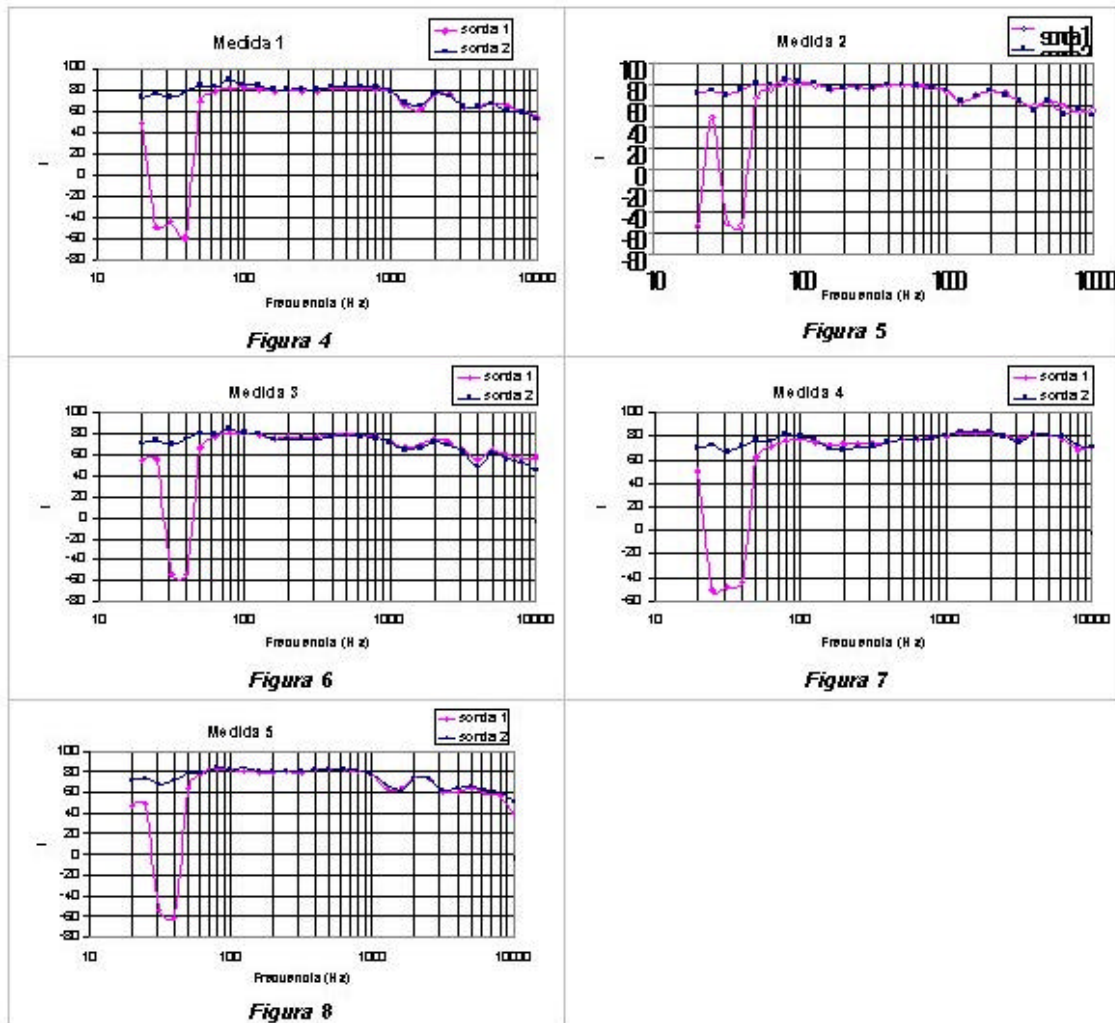
Se realiza a 10 cm de la fuente sobre la línea que parte del extremo lateral izquierdo del altavoz de graves. Las distancias intermicrofónicas son de 12 mm y de 15 mm para la sonda A y B, respectivamente. La figura 5 muestra las diferencias entre las dos medidas. En este caso, el error medio es de $\pm 0,98$ dB.

Medida 3

Se realiza a 10 cm de la fuente sobre la línea que parte del extremo lateral derecho del altavoz de graves. Las distancias entre micrófonos son las mismas que en las dos medidas anteriores. La figura 6 es la representación de las dos medidas, a partir de las cuales se obtiene un error medio de $\pm 2,25$ dB.

Medida 4

Se realiza a 10 cm de la fuente sobre el eje central del altavoz de medios. Las distancias entre micrófonos idénticas. La figura 7 muestra los resultados para este caso, en que el error medio es de $\pm 1,64$ dB.



Medida 5

Se realiza a 10 cm de la fuente sobre el eje central del altavoz de graves (igual que en la medida 1) pero utilizando una distancia entre micrófonos en ambas sondas de 50 mm. Tal como se observa en la figura 8, la utilización de esta distancia supone una mejora considerable en la estimación realizada con el sistema prototipo en frecuencias bajas, debido a que el efecto del desajuste de fase es menor. En este caso, el error medio de $\pm 1,24$ dB

EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE CORRECCIÓN DE ERRORES BASADA EN LA INVERSIÓN DE LA SONDA

Existe una técnica de corrección del error producido por el desajuste de fase constante y del mismo signo, si realizamos dos medidas, una en un sentido y otra en sentido contrario. La media de las dos elimina la contribución del desajuste de fase, ya que el signo de la intensidad cambia al invertir la sonda, pero el del error introducido por el desajuste de fase se mantiene constante. Es evidente que la sonda tiene que ser simétrica para que los resultados tengan sentido, ya que los niveles de intensidad detectados en un sentido u otro, independientemente del signo que tengan, han de ser iguales.

Dado que la sonda prototipo no es simétrica, para evaluar la calidad de la técnica de corrección se ha hecho una pequeña trampa: en lugar de invertir la sonda se ha intercambiado la posición de los micrófonos, maniobra equivalente a la inversión de la sonda. Se ha podido observar que los resultados obtenidos indican que la técnica de corrección presenta una variabilidad de su efectividad debido a la dificultad de mantener condiciones idénticas en la medida y garantizar que la inversión se ha realizado sobre el punto efectivo de medida. No obstante, realizando el proceso cuidadosamente, los resultados pueden calificarse de satisfactorios.

COMPARACIÓN ENTRE MÉTODOS DE CÁLCULO DE LA INTENSIDAD

Es posible determinar la intensidad a partir de la expresión:

$$I_I(t) \approx \frac{1}{\rho_0 \Delta x} \frac{p_a(t) + p_b(t)}{2} \int_{-\infty}^t [p_a(\tau) - p_b(\tau)] d\tau$$

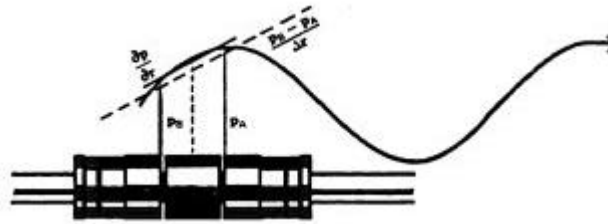


Figura 9

donde los elementos de la expresión se pueden ver en la figura 9. También se puede calcular a partir de la parte imaginaria del espectro cruzado de las señales de los dos micrófonos:

$$I_I(\omega) = -\left(\frac{2}{\rho_0 \omega \Delta x}\right) \text{Im} \{S_{ab}(\omega)\}$$

donde:

$$S_{pz}(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{T}\right) \int_0^T p_a(t) z_b(t + \tau) dt \right] \times \exp(-i\omega(t + \tau)) \exp(i\omega t) d(t + \tau)$$

La aplicación programada en Labview ofrece la posibilidad de calcular

- Intensidad activa (análisis temporal): se obtiene presión, velocidad e intensidad instantáneas, así como el índice presión-intensidad y los niveles medios de presión e intensidad.
- Intensidad reactiva (análisis temporal): se obtienen las variaciones temporales de la fase entre intensidad activa y reactiva y el nivel medio de intensidad reactiva
- Intensidad activa (análisis espectral): se obtiene la distribución espectral de la presión e intensidad, las variaciones del índice presión-intensidad en función de la frecuencia y los niveles globales de presión e intensidad.
- Intensidad reactiva (análisis espectral): se obtiene el espectro de la intensidad reactiva, así como el nivel global de esta.

La tabla 1 muestra los resultados obtenidos para 6 medidas distintas. Como se puede apreciar, los niveles globales de intensidad son muy similares. Concretamente, no hay diferencias superiores a 0.2 dB. En este caso, la comparación ente los resultados obtenidos no es tan satisfactoria. La diferencia media para las seis medidas que aparecen en la tabla 2 es de -1dB.

LA COHERENCIA p-u COMO INDICADOR DEL CAMPO SONORO

A continuación se muestran los resultados de unas medidas realizadas con la finalidad de ilustrar el concepto teórico de la coherencia p-u, así como su validez como indicador del campo sonoro.

La primera medida realizada con tal fin se ha efectuado utilizando una caja con un único altavoz. El resultado se muestra en la figura 10 donde se puede apreciar que la coherencia se aproxima a la unidad en todo el espectro.

I directa	I indirecta		J directa	J indirecta
-----------	-------------	--	-----------	-------------

91.65	91.9		97.02	98.08
88.2	88.01		92.51	93.61
86.69	86.73		90.62	91.84
91.18	91.05		89.08	90.83
92.17	91.88		98.16	98.69
96.66	96.40		99.43	100

Tabla 1

Tabla 2

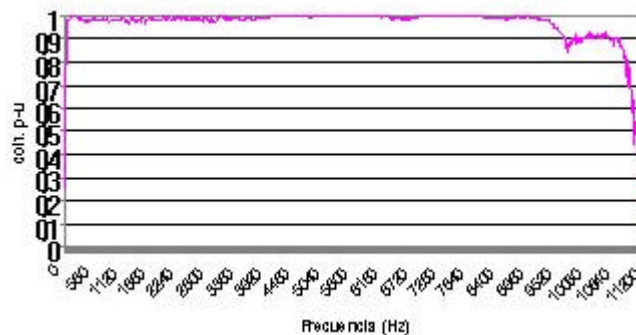


Figura 10

Para la segunda medida se ha utilizado una caja de tres vías, descrita anteriormente. En este caso, se tienen tres fuentes radiando simultáneamente en el tiempo. Esta radiación simultánea en el tiempo no lo es en la frecuencia ya que cada altavoz cubre un rango de frecuencias (graves, medios y agudos). Como se puede apreciar en la figura 11, la coherencia se aproxima a la unidad en la mayor parte del espectro, excepto en dos zonas en las que cae drásticamente. Este resultado viene originado por la emisión independiente de los altavoces en cada una de las bandas mencionadas, (coherencia cercana a la unidad). En las zonas de transición entre las bandas de trabajo de cada altavoz, donde dos altavoces emiten, la coherencia presenta caídas abruptas. Este resultado confirma que el parámetro coherencia puede aportar información respecto al número de fuentes radiantes.

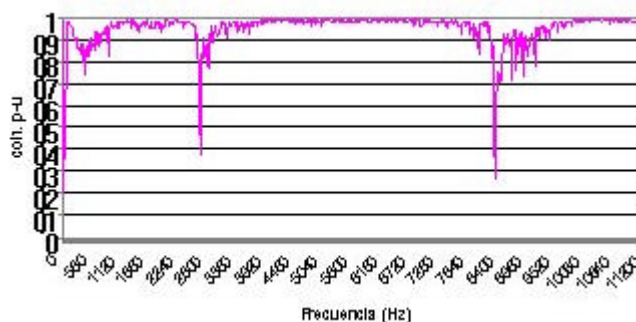


Figura 11

6. CONCLUSIONES

El sistema desarrollado permite realizar medidas de intensidad con una precisión aceptable.

REFERENCIAS

- [1] F. Jacopsen; Active and Reactive, Coherent and Incoherent Sound Fields; Journal of Sound and Vibration, Vol. 130(3); 1989; p.493-507.
- [2] F. Jacopsen; Active and Reactive, Coherent and Incoherent Sound Fields; Journal of Sound and

Vibration , Vol. 130(3); 1989; p.493-507.