

## **DIRECTIVIDAD DE UNA PLACA DELGADA EN SOPORTE SIMPLE MEDIDA CON SECUENCIAS DE MÁXIMA LONGITUD (MLS)**

PACS: 43.50.Ki

M. Siguero, M. Cuesta y P. Cobo  
Instituto de Acústica. CSIC  
C/Serrano 144-28006 Madrid. España  
Tel: 915 618 806  
Fax: 914 117 651  
E-mail: [iacms00@ia.cetef.csic.es](mailto:iacms00@ia.cetef.csic.es), [iaccr52@ia.cetef.csic.es](mailto:iaccr52@ia.cetef.csic.es), [iacpc24@ia.cetef.csic.es](mailto:iacpc24@ia.cetef.csic.es)

### **ABSTRACT**

The main objective of this work is to measure the directivity of a simply supported plate with MLS signals in order to obtain the acoustic field radiated by this noise source. The plate, placed on a turntable, is excited by MLS signals through out an electrodynamic shaker, while a microphone at 2.18 meters senses the sound radiation. MLSSA system correlates both signals to reproduce the directivity diagram. The final objective should be the comparison of the sound radiated by the system with an active structural acoustic noise control (ASAC).

### **RESUMEN**

El principal objetivo de este trabajo es medir el diagrama de directividad de una placa simplemente soportada con señales MLS para obtener el campo acústico radiado por esta fuente de ruido. La placa, situada en una mesa giratoria, es excitada por señales MLS a través de un shaker electrodinámico, mientras un micrófono a 2.18 metros detecta la radiación sonora. El sistema MLSSA correlaciona ambas señales para reproducir el diagrama de directividad. El objetivo final será comparar la radiación sonora del sistema con control activo acústico estructural (CAAE).

### **INTRODUCCION**

El ruido de baja frecuencia debe controlarse con técnicas activas. Frente a la aproximación clásica del CAR, que utiliza micrófonos para medir el campo acústico y altavoces como fuentes secundarias, se están desarrollando nuevas técnicas de control que actúan directamente sobre los mecanismos de generación de ruido. En el caso de que el ruido sea de origen estructural estamos entonces frente a un problema de Control Activo Acústico Estructural (CAAE). Para reducir la radiación sonora generada por la superficie, se utilizan actuadores como fuentes secundarias y sensores de error, que podrán ser puntuales o distribuidos. En el diseño de un sistema CAAE es de mucha utilidad conocer el patrón espacial de radiación para determinar los

modos predominantes que deben reducirse, y esta información nos la da su directividad. El método MLS, que utiliza señales pseudoaleatorias para caracterizar sistemas acústicos, es una nueva técnica de medida que ofrece mayores ventajas frente a las tradicionales (Siguero y Cobo, 1998, 2000; Ranz y Cobo, 1998).

En este trabajo se presentan los resultados de las medidas de la directividad de una placa de acero con dimensiones (50.9 x 30.9 x 0.2 cm<sup>3</sup>) en condiciones de soporte simple, realizadas en la cámara anecoica del Instituto de Acústica. En último término, el objetivo será comparar estos diagramas con los nuevos patrones de radiación cuando se ponga a punto el sistema CAAE.

## METODO MLS Y SISTEMA MLSSA

Tradicionalmente la calibración de sistemas acústicos se ha realizado usando una cadena de instrumentación múltiple: un generador de señal y amplificador de potencia, en emisión, y un preamplificador de carga y un registrador de nivel, en recepción. Los denominados Instrumentos Virtuales (VI), que integran en un sistema único todo el hardware y software de adquisición y procesado de datos, introducen una importante innovación en estas cadenas de medida. Un VI simplifica y abarata considerablemente todo el proceso de medida, ya que exceptuando los transductores y acondicionadores de señal, el resto de instrumentos pueden ser programados en él. En este trabajo utilizamos el sistema MLSSA (Maximum Length Sequences System Análisis) (Rife y Vanderkooy, 1989) para medir la directividad de una placa en condiciones de soporte sencillas. Este VI está basado en el método de la medida mediante Secuencias de Máxima Longitud (MLS).

MLS es esencialmente una técnica de medida de la respuesta impulsiva de un sistema lineal. A partir de esta medida es capaz de derivar muchas características de un sistema acústico, mediante post-procesado (función de transferencia, respuesta en frecuencia, respuesta de fase, retardo de grupo, etc.). A diferencia del ruido blanco, una secuencia MLS es determinista y periódica aunque retiene muchas de las propiedades del ruido blanco. Su naturaleza determinista significa que puede ser computada y que no necesita ser medida simultáneamente con la respuesta del sistema. Su naturaleza periódica implica un error de ventaneo cero, ya que se puede usar el periodo entero de la secuencia para hacer la medida. La principal diferencia de MLSSA con un analizador de frecuencias convencional es que MLS opera en el dominio de tiempo (Garai, 1993; Cobo et al., 1997). Una ventaja importante de MLSSA es que puede medir en una banda de 20 kHz con una resolución de 1 Hz y medir funciones de transferencia de baja frecuencia (1 kHz) con una resolución de 0.065 Hz. Por consiguiente, es un sistema muy útil para caracterizar fielmente sistemas CAR y CAAE, en los que predominan las bajas frecuencias (Cobo et al., 1998; Cuesta y Cobo, 2000; 2001).

El método MLS requiere una única señal de entrada y de salida. La señal de salida es una secuencia pseudoaleatoria de máxima longitud residente en una tarjeta DSP. Consiste en una serie binaria de  $\pm 1$  con longitud  $L=2^N - 1$ , donde N es un número entero. El esquema de la medida de la respuesta impulsiva de un sistema lineal usando señales MLS se muestra en la figura 1. La correlación cruzada de la secuencia MLS con la señal medida en el micrófono, sobre un periodo L, es la respuesta impulsiva cuando L tiende a un número grande.

$$\Phi_{sm}(\tau) = \Phi_{ss} * h_n = h(\tau) - \frac{1}{L} \sum_{n=0}^{L-1} h(\tau) + \frac{1}{L(L+1)} \sum_{n=0}^{L-1} h(\tau) \quad (1)$$

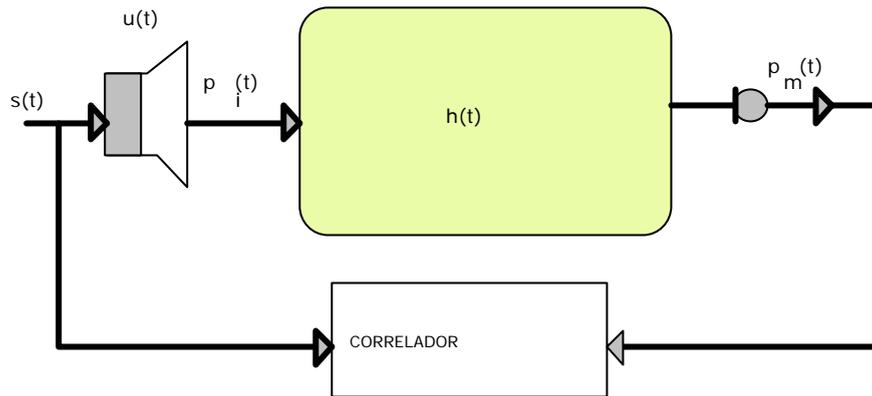


Figura 1. Medida de la respuesta impulsiva por el método MLS

### DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

La experiencia realizada en la cámara anecoica del Instituto de Acústica para determinar la radiación sonora de una placa de aluminio excitada mecánicamente, se recoge en las figuras 2 y 3. La instrumentación utilizada en la cadena de medidas es la siguiente:

- Shaker electrodinámico
- Amplificador General Radio
- Micrófono B&K 4161 de 1 pulgada
- Preamplificador B&K 2636
- Sistema MLSSA
- Mesa giratoria Outline ET1-ST1

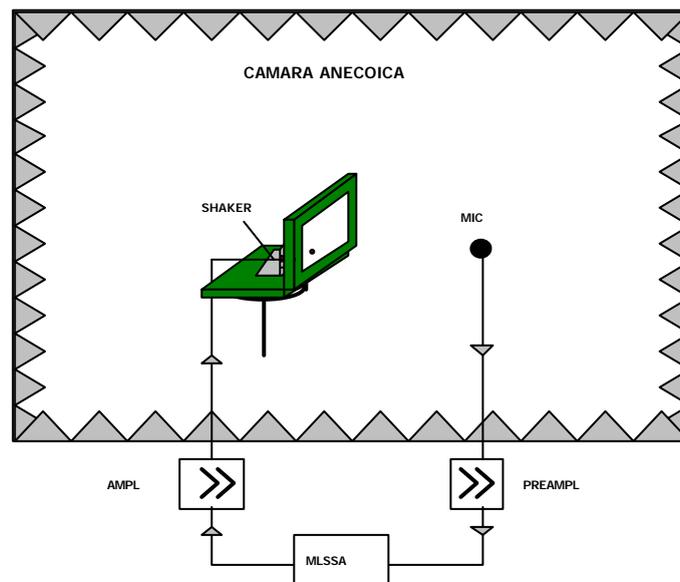
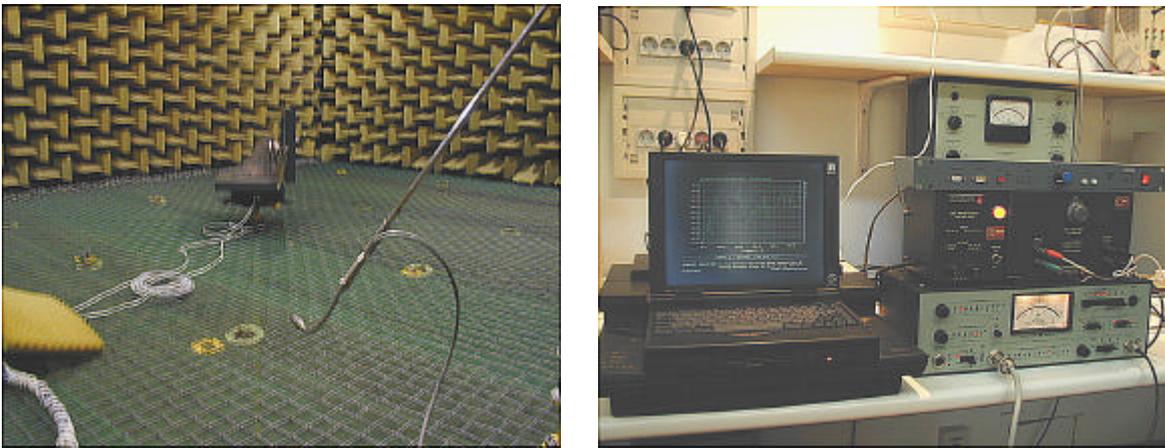


Figura 2. Esquema del montaje experimental

La placa, sujeta en condiciones de contorno sencillas, está apoyada en una mesa giratoria programada para que gire automáticamente cada cinco grados. Está excitada con un shaker, alimentado con la señal MLS que genera MLSSA previa amplificación. Un micrófono situado a 2.18 m de la placa detecta la señal radiada en cada una de las posiciones que va adoptando la mesa. La señal del micrófono es preamplificada y entra en el sistema MLSSA, que correlaciona ambas señales y calcula la FRF asociada. Esta medida se repite en cada una de las posiciones de la placa hasta completar un diagrama de directividad que cubre 360°. Tomamos como ángulo de referencia el formado por el eje acústico de la placa y la alineación del micrófono. Inicialmente la placa está en la misma dirección del micrófono, con lo que su eje acústico es perpendicular al sensor. En cambio, cuando la placa se encuentra a 90° del sensor el eje acústico estará alineado con él.



*Figura 3. Dispositivo experimental en el interior de la cámara anecoica (izquierda) y unidad de control (derecha). Detalles de la placa en soporte simple sobre la mesa giratoria, shaker micrófono, MLSSA y acondicionadores de señal*

## RESULTADOS

En las figuras 4-6 se muestran los resultados obtenidos. La figura 4 representa el diagrama de directividad en 3D, hasta 500 Hz y para un ángulo de referencia que varía entre  $-90^\circ$  y  $90^\circ$ . En este margen de frecuencias la placa estudiada tiene 10 resonancias estructurales. En baja frecuencia la radiación sonora de la placa está caracterizada por aquellos modos propios que contribuyen al desplazamiento de volumen de la estructura. Estos modos estructurales son los modos impar-impar, o modos volumétricos.

En los patrones de radiación 3D y 2D, representados en las figuras 4 y 5 respectivamente, se puede ver qué resonancias de la placa contribuyen especialmente a la radiación acústica. Los cuatro modos impar-impar en este margen, el (1,1) que aparece en torno a 70 Hz, el (3,1) a 210 Hz, el (1,3) a 440 Hz, y el (5,1) rondando los 500 Hz, contribuyen significativamente a la radiación. El resto de los modos de vibración contribuyen con menor intensidad a la radiación, excepto a la frecuencia de 340 Hz a la que entra en resonancia todo el bloque (placa + soporte). La figura 6 ilustra el diagrama de la radiación en polares a primera (a) y tercera (b) frecuencia de resonancia de la placa. En ambas representaciones se aprecia un comportamiento monopolar de la radiación a dichas frecuencias.

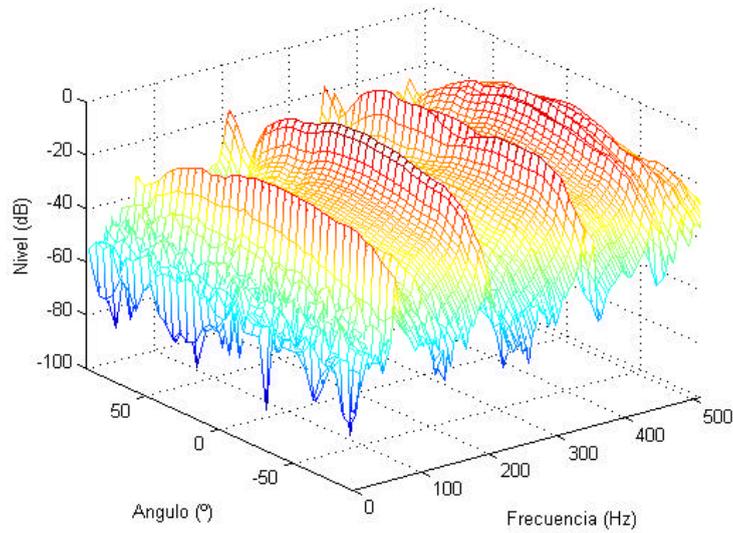


Figura 4. Radiación acústica de la placa en función de la frecuencia y ángulo de referencia

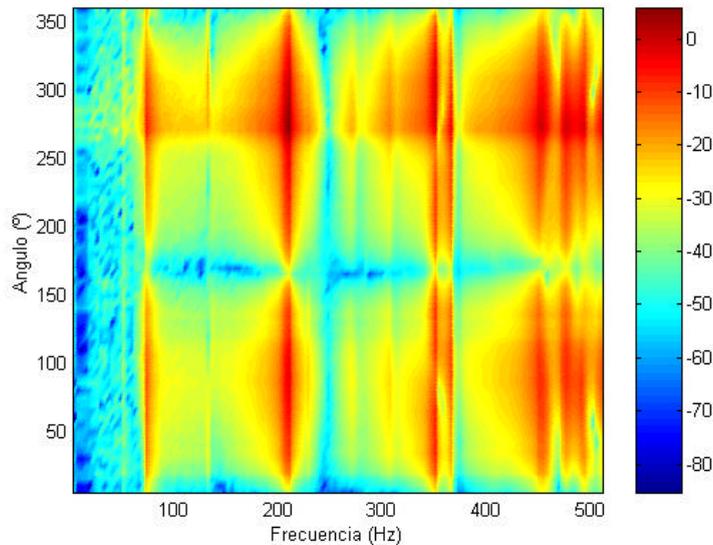


Figura 5. Niveles de radiación de la placa a baja frecuencia en una circunferencia completa

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presentan los diagramas de radiación de una placa de acero en soporte simple excitada con un shaker electrodinámico. El patrón de radiación es muy útil para determinar las resonancias estructurales que contribuyen a la radiación. Se utiliza el sistema MLSSA para correlacionar la señal de un micrófono a 2.18 m de la estructura, y la señal MLS que alimenta el excitador. El objetivo final será la comparación de este patrón de radiación con el que resulte de activar un sistema de Control Activo Acústico Estructural (CAAE).

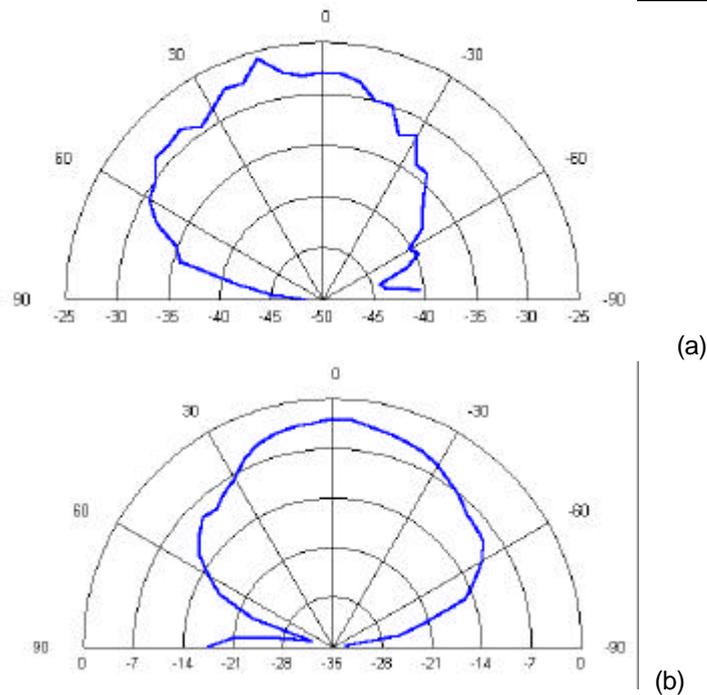


Figura 6. Radiación en polares a 70.28 Hz (a) y 210.84 Hz (b)

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado con el apoyo financiero de la CICYT, Proyecto AMB99-1095-C02-01.

## REFERENCIAS

- Cobo, P., Garai, M, y Santiago, J.S.,1997. "Reflection Loss measurements on flat and non flat samples using MLS method with signal subtraction technique". *Tecniacústica* 97, 173-176.
- Cobo, P., Ranz, C., Santiago, J.S., Pons, J., Sigüero, M., and Delgado, C., 1998. "Insertion Loss measurements of an acoustical enclosure by using sound power and MLS methods". *J. Acoust. Soc. Am.*, 103 (5, Pt. 2), 3074.
- Cuesta, M. and Cobo, P., 2000. Active control of the exhaust noise radiated by an enclosed generator. *Applied Acoustics*, 61, 83-94.
- Cuesta, M. and Cobo, P., 2001. Optimisation of an active control system to reduce the exhaust noise radiated by a small generator. *Applied Acoustics*, 62, 513-526.
- Garai, M., 1993. "Measurement of the sound-absorption coefficient in situ: the reflection method using periodic pseudo-random sequences of maximum length". *Applied Acoustics*, 39, 119-139.
- Ranz, C., y Cobo, P., 1998. "Métodos de medida vía Secuencias de Máxima Longitud (MLS) incorporadas al Laboratorio Tanque del Instituto de Acústica". *Tecniacústica* 98, 249-252.
- Rife, D.D., and Vanderkooy, J., 1989. "Transfer Function measurement with Maximum-Length Sequences". *J. Audio Eng. Soc.*, 37(6), 419-444.
- Sigüero, M., y Cobo, P., 1998. "Comparación entre los métodos clásico y MLS para la calibración de altavoces". *Tecniacústica* 98, 375-378.
- Sigüero, M., y Cobo, P., 2000. "Sistema de altavoces "reflex" en el interior de vehículo aplicado al control activo del ruido. *Revista de Acústica*, vol 31.