



## LOCALIZACION OPTIMA DE LOS TRANSDUCTORES EN UN SISTEMA DE CONTROL ACTIVO EN UN RECINTO

REFERENCIA PACS: 43.50.Kj

T. Bravo y P. Cobo  
Instituto de Acústica. CSIC  
Serrano 144  
28006 Madrid . España  
Tel: 34 915 618 806  
Fax: 34 914 117 651  
E-Mail: [iacbm51@ia.cetef.csic.es](mailto:iacbm51@ia.cetef.csic.es), [iacpc24@ia.cetef.csic.es](mailto:iacpc24@ia.cetef.csic.es)

### ABSTRACT

The distribution of the sensors and actuators for an ANC system has been optimised in a small enclosure using the experimental measurement of the transfer functions. The objective function used is the sum of square sound pressure values at a discrete number of points inside. The attenuation for each different combination is calculated from the response of the secondary sources at these points and from the primary field at the same sensors. The sound field at a fixed height has been determined using a grid of microphones uniformly distributed.

### RESUMEN

En este trabajo se han determinado las posiciones óptimas de los transductores en un sistema de Control Activo del Ruido en un recinto mediante la medida experimental de las funciones de transferencia. Los valores de la atenuación obtenidos se determinan mediante la suma de los cuadrados de la presión en un número discreto de puntos antes y después de la cancelación activa. El campo de presión sonora a una altura fija se determina mediante una malla de micrófonos distribuidos de forma uniforme.

### INTRODUCCIÓN

Es un hecho bien conocido que la distribución de los transductores en un sistema de Control Activo del Ruido es un factor determinante en las prestaciones que pueden alcanzarse (Nelson y Elliott, 1992). Sin embargo, a pesar de su importancia, no existe una metodología general para el diseño de la parte "física" de un sistema CAR, debido sobre todo a que el valor de la atenuación obtenido es una función no lineal de la disposición de las fuentes de control. Como la implementación práctica de un sistema de Control Activo y la verificación de la atenuación alcanzada por cada configuración particular es un proceso muy costoso, tanto económicamente como en tiempo, es necesaria una rutina numérica para determinar la disposición de los transductores en el espacio bajo control. Es preciso por tanto poder predecir

el efecto que tiene el introducir fuentes de control en determinadas posiciones sobre las señales captadas en los sensores de error, tanto local como globalmente.

En este trabajo se ha llevado a cabo la optimización de los transductores en un sistema de Control Activo en el interior de un recinto paralelepédico con paredes ligeramente amortiguadas. Para la predicción de los niveles de atenuación conseguidos en el campo acústico interior se han aplicado anteriormente modelos teóricos utilizando modos normales (Bullmore et al., 1987). Cuando trabajamos con problemas con geometrías que se adaptan a algún sistema de coordenadas, esta descripción resulta apropiada, aunque hay que fijar parámetros que resultan difíciles de determinar, como el amortiguamiento modal en recintos con condiciones de impedancia no uniformes en las paredes. Aquí se han medido experimentalmente el campo primario captado por cada sensor de error y las funciones de transferencia entre cada pareja altavoz-micrófono. Este procedimiento permite el cálculo de las cancelaciones que pueden conseguirse y tiene la ventaja de que puede aplicarse a recintos con cualquier geometría y condiciones de frontera.

### MINIMIZACION DE LA ENERGIA POTENCIAL ACUSTICA EN EL RECINTO

Asumiendo que las posiciones para M fuentes secundarias y L sensores de error se han determinado con anterioridad, el campo acústico en el interior del recinto puede expresarse como la suma de dos contribuciones, una debida a la fuente primaria y la otra debida a las fuentes secundarias, de la forma

$$\mathbf{e} = \mathbf{d} + \mathbf{C}\mathbf{u} \quad (1)$$

donde  $\mathbf{e}$  es el vector complejo de las señales de error de tamaño  $L \times 1$ ,  $\mathbf{d}$  es el vector complejo de las señales de error debido a la perturbación primaria, de tamaño  $L \times 1$ ,  $\mathbf{C}$  es la matriz de las funciones de transferencia complejas entre las fuentes secundarias y los sensores, de tamaño  $L \times M$  y  $\mathbf{u}$  es el vector complejo  $M \times 1$  de fuerzas de fuentes secundarias. Para conseguir control global sobre todo el recinto, se ha tomado como aproximación a la energía potencial acústica la suma de los cuadrados de la presión en las posiciones de los sensores de error, como

$$J = \mathbf{e}^H \mathbf{e} \quad (2)$$

si sustituimos la expresión (1) en la (2), y asumimos que la matriz  $\mathbf{C}^H \mathbf{C}$  es definida positiva, obtenemos una forma cuadrática función de las fuerzas de fuentes secundarias, cuyo correspondiente valor mínimo (si el número de sensores de error es mayor que el número de fuentes secundarias) resulta

$$J_o = \mathbf{d}^H [\mathbf{I} - \mathbf{C}(\mathbf{C}^H \mathbf{C})^{-1} \mathbf{C}^H] \mathbf{d} \quad (3)$$

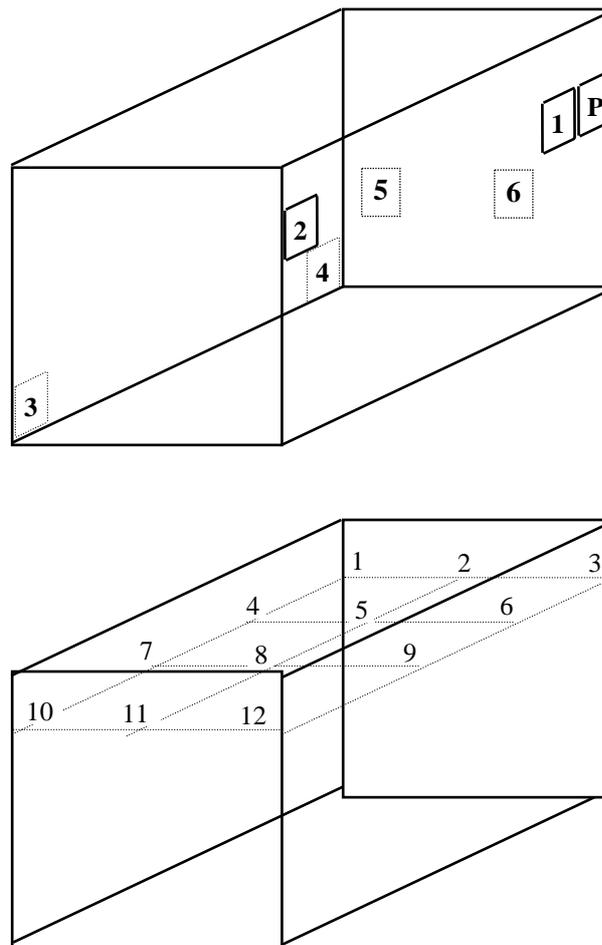
y el valor de la atenuación obtenido para una configuración fija de transductores se toma como

$$Attenuation(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{\mathbf{d}^H \mathbf{d}}{J_o} \right) = 10 \log_{10} \left( \frac{\mathbf{d}^H \mathbf{d}}{\mathbf{d}^H [\mathbf{I} - \mathbf{C}(\mathbf{C}^H \mathbf{C})^{-1} \mathbf{C}^H] \mathbf{d}} \right) \quad (4)$$

que nos da una idea de los valores de cancelación activa conseguidos en el recinto.

## EL RECINTO EXPERIMENTAL

El sistema de Control Activo del Ruido se ha implementado en un recinto paralelepédico de dimensiones internas  $L_x = 3.13$  m,  $L_y = 2.65$  m y  $L_z = 2.97$  m. La fuente primaria es un altavoz con un diámetro aproximado de 12 cm, situada en la posición indicada en la figura 1, que genera un tono puro a 81 Hz . Esta frecuencia coincide con una de las frecuencias de resonancia del recinto (Bravo y Cobo, 1998). Las fuentes secundarias posibles son seis altavoces de dimensiones similares a las de la fuente primaria, distribuidos por las paredes del recinto. Los sensores de error son 12 micrófonos de electrete situados en una malla de 4x3 y distribuidos de forma uniforme en un plano a la altura de 2.68 m. Para la frecuencia de trabajo, esta malla es una aproximación suficiente a la energía potencial acústica en el recinto.



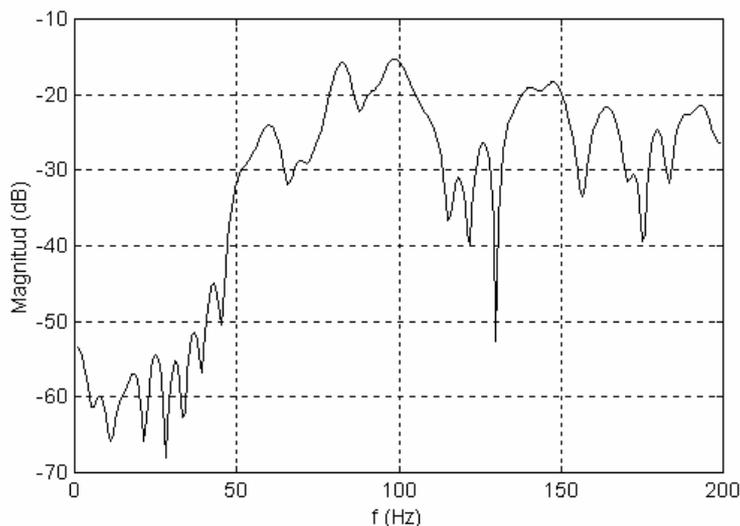
*Figura 1. Posiciones aproximadas de la fuente primaria, de las fuentes secundarias y de los sensores de error en el recinto*

## MEDIDA DE LAS FUNCIONES DE TRANSFERENCIA Y DEL CAMPO PRIMARIO

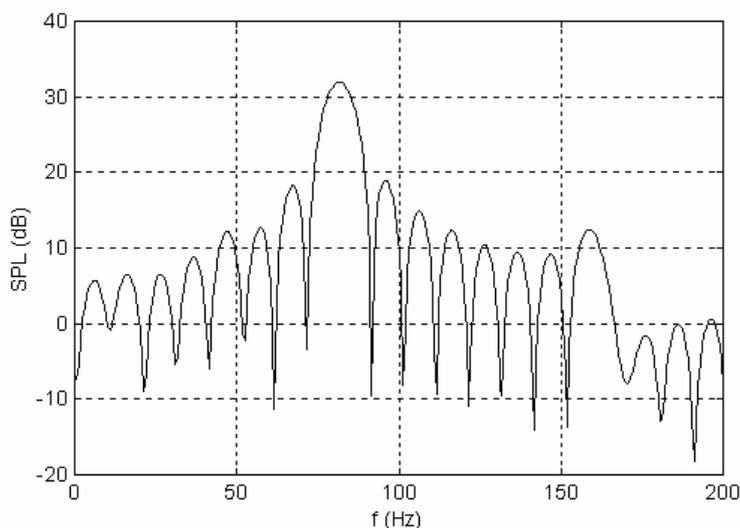
Para la determinación de la atenuación alcanzada por cada configuración, es necesaria la medida de las funciones de transferencia entre todos los altavoces y todos los sensores, y el campo primario captado por cada micrófono. Las respuestas impulsivas se han medido con un sistema basado en secuencias MLS (Rife y Vanderkooy, 1989). En la Figura 2 se muestra un ejemplo de una de las funciones de transferencia medidas en un recinto, en este caso entre la primera fuente secundaria, situada al lado de la primaria, y el micrófono de error 1. Los

resultados obtenidos corresponden a un campo modal típico en baja frecuencia, en el que pueden distinguirse las contribuciones de los diferentes modos normales.

Para la medida del campo primario se ha utilizado un sistema distinto debido a la imposibilidad de utilizar el sistema MLSSA con disparo externo para la adquisición. En este caso se ha usado un sistema THURLBY DSA524 controlado desde un PC a través de una tarjeta GP-IB. La señal periódica emitida por la fuente primaria ha sido generada con un Tektronix AFG 5101, cuya señal de sincronía se ha usado como disparo externo para el DSA. En la Figura 3 se ha representado la señal debida a la perturbación primaria captada por el sensor de error número 1.



*Figura 2. Función de transferencia entre la fuente secundaria número 1 y el primer sensor de error*



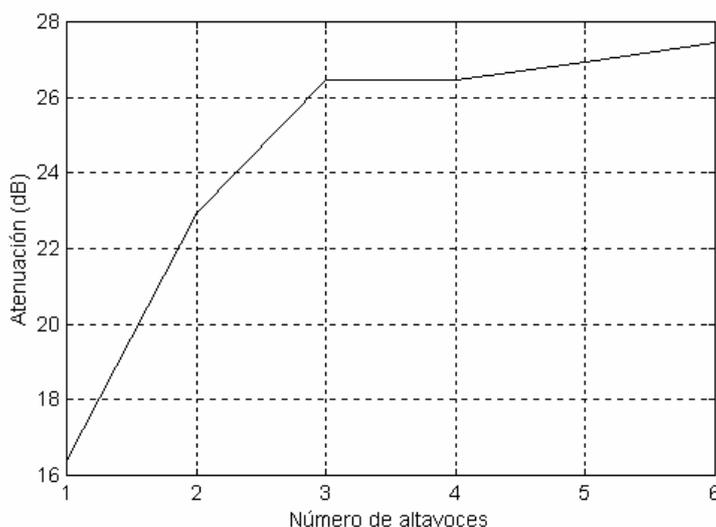
*Figura 3. Campo acústico debido a la fuente primaria captado por el sensor de error número 1*

## RESULTADOS

Con las medidas descritas anteriormente, se ha implementado en un programa la  $E_c$ , (4) para calcular los valores de la atenuación obtenidos con las distintas configuraciones posibles de fuentes secundarias. En general, la resolución de este problema es muy compleja

debido a que el número de posiciones posibles para los actuadores es tan elevado que es imposible mirar los resultados en cada una de ellas, y se recurre a otros métodos como los algoritmos naturales (Baek y Elliott, 1995). El caso que estamos analizando aquí, sin embargo, no presenta este problema, y los valores para la atenuación pueden obtenerse mediante búsqueda exhaustiva, es decir, evaluando la función objetivo en todas y cada una de las combinaciones posibles de altavoces y seleccionando la que proporciona un mayor nivel de cancelación en los sensores de error.

En la Figura 4 se presentan los resultados para la atenuación alcanzada en función del número de altavoces de control utilizados. Como puede apreciarse perfectamente, en este caso es suficiente utilizar tres fuentes secundarias para conseguir unos valores casi óptimos en la cancelación. Cuando vamos aumentando ese número, los valores de la atenuación no aumentan en la misma proporción, y el coste que supone el introducir un nuevo actuador no se compensa con las prestaciones finales obtenidas.



*Figura 4. Valores de la atenuación obtenidos en función del número de fuentes secundarias utilizadas*

Los valores de la atenuación obtenidos utilizando tres altavoces se presentan en la Tabla 1, ordenados de mayor a menor para las ocho mejores combinaciones encontradas, junto con las correspondientes distribuciones de fuentes. Los mismos resultados se muestran en la Tabla 2, pero en este caso para las ocho peores combinaciones resultantes. Como puede apreciarse, el proceso de optimización es imprescindible en el diseño del sistema de control.

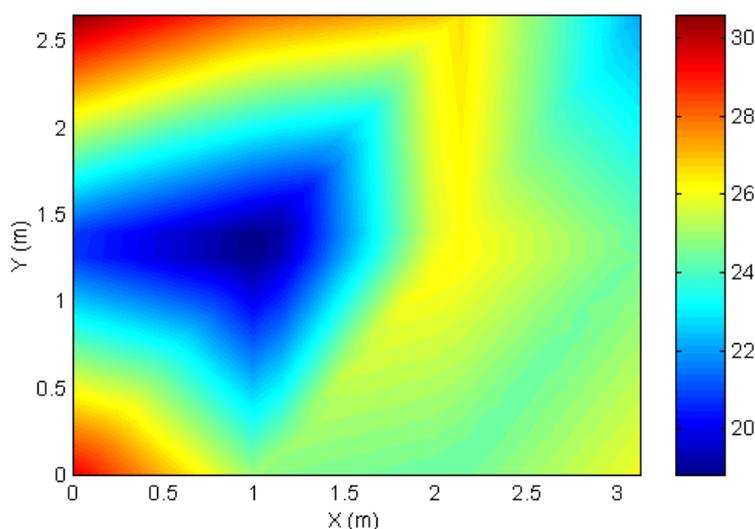
*Tabla1. Valores de la atenuación y configuraciones correspondientes utilizando tres fuentes de control para las ocho mejores combinaciones*

<b>Atenuación (dB)</b>	<b>Posiciones de los altavoces</b>
26.4457	110100
24.0818	101100
23.8123	100101
23.5521	100110
23.1547	110010
22.6656	100011
22.4573	110001
22.4030	111000

*Tabla2. Valores de la atenuación y configuraciones correspondientes utilizando tres fuentes de control para las ocho peores combinaciones*

Atenuación (dB)	Posiciones de los altavoces
2.1550	010101
5.6658	011010
6.2189	011100
7.0772	010011
7.3419	010110
7.5049	001110
10.6387	000111
11.0692	001011

En la figura 5 se presentan los valores de la atenuación alcanzados para el campo de presión sonora en el plano en que se encuentran situados los sensores de error, a una altura de 2.68 m. Como puede verse, los valores oscilan entre los 20 y los 30 dB para todas las posiciones del recinto, por tanto, se ha conseguido el objetivo que se pretendía, la cancelación global en todo el recinto sin que exista refuerzo en ningún sensor.



*Figura 5. Valores de la atenuación para el campo primario obtenidos en el plano de los micrófonos*

## CONCLUSIONES

En este trabajo se han optimizado las posiciones de las fuentes secundarias en un sistema de Control Activo del Ruido mediante la determinación experimental de las funciones de transferencia entre todas las parejas altavoz-micrófono y el campo primario en los sensores de error. Este método puede aplicarse a recintos sin ningún tipo de restricción en cuanto a la forma o a la impedancia en la superficie.

La suma de los cuadrados de las presiones en una malla de 12 micrófonos distribuidos de forma uniforme y situados en un plano a una altura fija se ha elegido como función objetivo a minimizar. Esta distribución a la frecuencia de trabajo constituye una buena aproximación a la energía potencial acústica en el plano, y nos asegura que la reducción en algunos sensores no implica el refuerzo en los restantes.

Los valores obtenidos muestran que, en este caso concreto, es suficiente utilizar tres fuentes de control secundarias para obtener unos valores de atenuación elevados. Sin embargo, incluso en sistemas sencillos y con un número limitado de posiciones para los altavoces, es imprescindible un proceso de optimización para conseguir unas buenas prestaciones.

## REFERENCIAS

1. Baek, K. H. y Elliott, S.J., 1995. "Natural algorithms for choosing source locations in active control systems". J. Sound Vib. 186 (2), 245-267
2. Bravo, T. y Cobo, P., 1998."Optimización de las fuentes de control en un sistema CAR multicanal en el interior de un vehículo por el método del recocido simulado". Tecniacústica 98. Lisboa .
3. Bullmore, A.J., Nelson, P.A., Curtis, A.R.D. y Elliott, S.J., 1987. "The active minimization of harmonic enclosed sound fields, part II: A computer simulation". J. Sound Vib., 117(1), 15-33.
4. Nelson, P.A. y Elliott, S.J., 1992 **Active Control of Sound**. London: Academic Press
5. Rife, D.D. y Vanderkooy, J., 1989. "Transfer Function measurement with Maximum-Length Sequences". J. Audio Eng. Soc., 37(6), 419-444

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al soporte financiero de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Proyecto AMB99-1095-C02-01).