

## LA DESCARGA ACÚSTICA COMO ESTRATEGIA ALTERNATIVA EN CONTROL ACTIVO DE RUIDO

PACS: 43.50.Ki

Romeu, Jordi; Jiménez, Santiago; Salueña, Xavier; Capdevila, Ramón  
LEAM, E.T.S. Ingenieros Industriales de Terrassa, UPC  
Colom 11  
08222 Terrassa. España  
Tel: 937 398 061  
Fax: 937 398 101  
E.mail: romeu@em.upc.es

### ABSTRACT

To achieve global attenuation in enclosed sound fields using active noise control, especially in diffuse sound field conditions, the secondary source must be placed very close to the primary source. Otherwise, reductions in the error microphone can produce an increase in the space average pressure in the room. To avoid this undesirable effect, a strategy to cause "forced" acoustic unloading of the primary source is presented. This consists in placing the error microphone near the primary source, so that the acoustic pressure on its surface is reduced and its power output diminishes, providing a global attenuation of the enclosed sound field.

### RESUMEN

El control activo de ruido en recintos, en condiciones de campo difuso, sólo consigue una atenuación en el conjunto del recinto bajo condiciones muy particulares. En este trabajo se plantea una nueva estrategia de control, denominada descarga acústica de la fuente, que consiste en disminuir la presión sonora en la ubicación de la fuente primaria, de modo que su potencia de emisión disminuye y se reduce el nivel de presión sonora en el recinto. Los resultados muestran que la atenuación global en todo el recinto es posible usando tanto la estrategia tradicional como la de descarga, aunque esta última presenta mejores resultados.

### INTRODUCCION

Si se consigue atenuar el campo acústico de un recinto en su totalidad, sin que se produzcan incrementos de ruido en ningún punto del recinto, se considera que el control es global.[1]

La estrategia para conseguir un control global en recintos depende de la densidad modal. En caso de baja densidad modal, tanto la fuente secundaria como el micrófono de error deben situarse en los antinodos de la función modal de la frecuencia excitada.[2]. Esto significa que la fuente secundaria puede situarse lejos de la fuente primaria.

En caso de alta densidad modal, el control global sólo puede conseguirse cuando la fuente secundaria se sitúa muy próxima a la fuente primaria [3]. De lo contrario, la atenuación de ruido en los micrófonos de error puede producir un incremento en el nivel medio de ruido del recinto [4]. Por otra parte, si el micrófono de error se sitúa cerca de la fuente secundaria, entonces es posible conseguir cierta atenuación en dicha posición sin crear incrementos en otras zonas del recinto [5]. Esta estrategia se denomina control local.

Uno de los mecanismos acústicos que acontecen en el control activo de ruido es la disminución de la potencia acústica de la fuente. Esto puede suceder si se reduce la presión sonora alrededor de la fuente primaria. Ejemplos de este mecanismo de atenuación se pueden encontrar en control activo de ruido en conductos (para ciertas configuraciones) y en el caso de baja densidad modal en recintos [1].

El trabajo presenta la aplicación del control activo al ruido generado por un motor eléctrico ubicado en un recinto, en condiciones de alta densidad modal, ensayándose diferentes posiciones para la fuente secundaria y el micrófono de error. Finalmente, para demostrar la viabilidad de la estrategia de descarga acústica, las posiciones de los transductores se han escogido para obtener, de forma intencionada, dicha descarga acústica.

## MECANISMO DE DESCARGA ACUSTICA

La potencia acústica de una fuente monopolar, situada en la posición y del recinto, se define como la parte real del producto conjugado de la presión compleja,  $p$ , y del poder de la fuente,  $q$ :

$$W = \frac{1}{2} \text{Re}\{p^*(\vec{y})q(\vec{y})\}$$

De esta expresión, se puede deducir que si se disminuye la presión acústica entorno de la fuente, también se reduce la potencia de emisión de dicha fuente, porque el poder es una magnitud dependiente de la fuente que restará inalterable. Si disminuye la potencia de emisión de la fuente, entonces es posible conseguir una atenuación global en todo el recinto.

Este mecanismo se conoce como descarga acústica de la fuente primaria, y tiene lugar en diversas situaciones de control activo de ruido, como por ejemplo en control de ruido en recintos en baja densidad modal, o también en conductos, cuando la fuente secundaria está situada a una distancia  $L$  de la fuente primaria, de forma que se cumpla: [1]

$$kL = n\pi$$

En ambos casos la descarga acústica tiene lugar de forma accidental. El objetivo de este trabajo ha sido demostrar que este mecanismo puede ser forzado colocando el micrófono de error cerca de la fuente primaria.

## PARTE EXPERIMENTAL

Los experimentos se han realizado en un recinto de planta cuadrada de 8 metros de lado y 3.25 metros de altura, con un tiempo de reverberación de 1.2 s. Con estos datos, y usando la definición de la frecuencia de Schroeder [6], puede asumirse que la condición de campo difuso tendrá lugar a partir de 152 Hz, aunque la frecuencia de corte efectiva [5] para poder efectuar control global sería de 53 Hz.

Como fuente primaria se ha escogido un motor eléctrico cuya frecuencia principal de emisión es 220 Hz. El sistema de control activo responde a una estructura feedforward, gobernada por el algoritmo FXLMS [7]. La señal de referencia se ha tomado de un acelerómetro situado en la carcasa del motor, para evitar la contaminación de la señal por la fuente secundaria.

En la mayoría de trabajos de control activo de ruido, el micrófono de error se sitúa lejos de las fuentes primaria y secundaria. Es lo que se podría llamar control "tradicional". En el caso ensayado en el laboratorio, la fuente secundaria y el micrófono de error se han situado en el mismo eje, excepto cuando se ha desarrollado la estrategia de descarga acústica de la fuente primaria. En este último caso, el micrófono de error se ha situado entre las dos fuentes, cerca de la carcasa del motor. Con esta disposición, la presión acústica en la superficie de la fuente primaria se debe reducir, por lo que la potencia que la fuente suministra, debe también reducirse, ya que la fuente no tiene carga contra la que actuar.

Para controlar el área de atenuación conseguido con los sistemas ensayados, se han dispuesto diez micrófonos en el interior del recinto (Figs. 2 y 3).

La figura 1 muestra como se ha desarrollado la estrategia de descarga acústica. En ella puede verse que el motor ha sido parcialmente encapsulado. Primeramente se intentó realizar la atenuación sin el encapsulamiento, pero la zona de atenuación alrededor del micrófono de error era muy pequeña, prácticamente un punto. Para incrementar la zona de atenuación, se dispusieron paredes rígidas cerca de la fuente, para cancelar la velocidad de partícula al mismo tiempo que la presión acústica [8] Mediante el uso de esas paredes, la zona de atenuación envolvió al motor. Todos los experimentos se han desarrollado con el encapsulamiento.



Fig. 1: Planta experimental para la descarga acústica. Obsérvese la fuente secundaria orientada hacia el motor eléctrico.

## RESULTADOS

El criterio escogido para medir la efectividad de los sistemas es la reducción de la energía potencial acústica  $U_p$ . Sin embargo, la estimación de este factor implicaría el uso de un número infinito de micrófonos. Para evitar este hecho, se define la siguiente función de coste:

$$J_p = \frac{V}{4\rho_0 c_0^2 L} \sum_{l=1}^L |p(x_l)|^2$$

donde  $p(x_l)$  es la presión compleja en el  $l$ th sensor situado en  $x_l$ , y el sumatorio se toma para un total de  $L$  sensores. Asumiendo esta simplificación, el criterio para medir la efectividad del sistema de control activo puede escribirse como

$$\Delta J_p = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^L |p_p(x_i)|^2}{\sum_{i=1}^L |p_c(x_i)|^2}$$

donde  $p_p(x_i)$  es la presión acústica debido a la fuente primaria, y  $p_c(x_i)$  es la presión acústica después de efectuar el control. Un valor positivo indica reducción de la energía potencial y, contrariamente, un valor negativo indica un incremento de la energía potencial estimada.

En el caso de control “tradicional” (micrófono de error lejos de las dos fuentes), se han ensayado diferentes distancias entre los componentes, y los mejores resultados se han obtenido cuando la fuente secundaria se ha situado cerca de la fuente primaria y el micrófono de error se sitúa más lejos de  $2\lambda$  de las dos fuentes. Los mejores resultados se resumen en la tabla 1.

Referente a la estrategia de descarga acústica, los resultados han sido muy sensibles a la posición relativa del micrófono de error y la fuente primaria. Por ello, los resultados han sido distintos en función del desplazamiento del micrófono sobre la superficie del motor. Algunos de los resultados obtenidos se muestran también en la tabla 1.

	$DJ_p$	%
$r_{ps}=\lambda/5, r_{se}=2\lambda$	2.9	8
$r_{ps}=\lambda/5, r_{se}=3\lambda$	6.1	10
	5	8
Descarga acústica	6.7	10
	9.5	9

Tabla 1. Comparación de los resultados obtenidos mediante el control activo “tradicional” y los obtenidos mediante la estrategia de descarga acústica. % significa el número de posiciones donde se ha detectado atenuación de ruido después de efectuar el control.  $r_{se}$  es la distancia entre la fuente secundaria y el sensor de error, y  $r_{ps}$  es la distancia entre las fuentes. En el caso de descarga acústica, el valor de  $r_{ps}$  ha sido  $\lambda/5$  y el sensor de error se ubicó cerca de la fuente primaria.

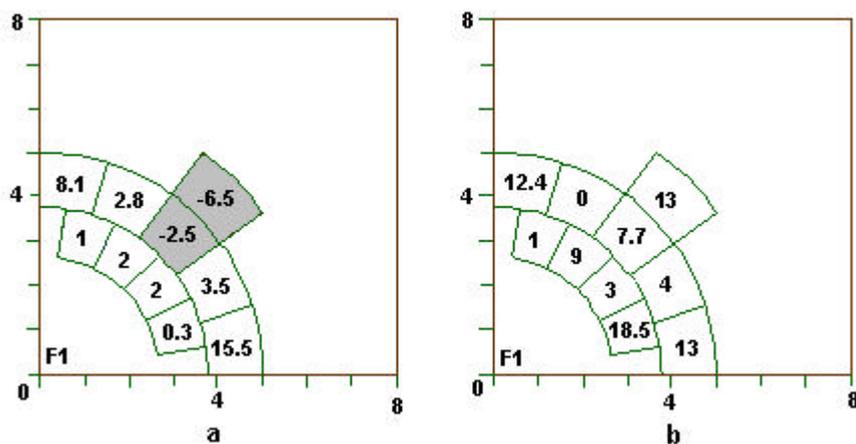


Fig. 2. Atenuación conseguida mediante el control activo “tradicional”.

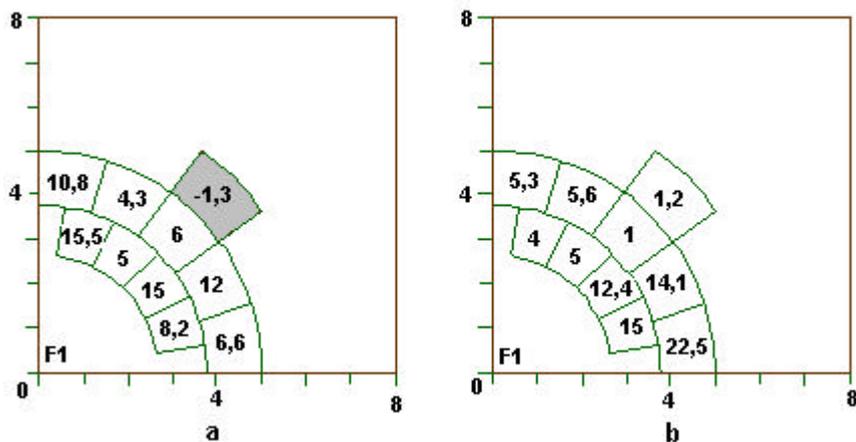


Fig. 3. Atenuación conseguida mediante la estrategia de descarga acústica

## CONCLUSIONES

Como primera conclusión, se ha demostrado experimentalmente que el control global en recintos bajo condiciones de alta densidad modal es posible, pero la fuente secundaria debe situarse muy cerca de la fuente primaria

Por otra parte, se ha desarrollado la estrategia de descarga acústica “forzada” de la fuente primaria, situando el micrófono de error muy cerca de la superficie de la fuente primaria. En este caso, el área de atenuación tiende a un punto. Esto puede estar causado por la existencia del campo directo de la fuente primaria. Para solucionar este problema, la fuente primaria se ha situado dentro de un encapsulamiento parcial. De este modo, la estrategia se ha demostrado fiable y tan efectiva como en el control tradicional. Sin embargo, los resultados presentan una gran dependencia de la posición relativa entre la fuente primaria y el micrófono de error. Esta circunstancia puede ser debida a la relativa complejidad de la emisión del motor. En un futuro, se prevé el uso de técnicas intensimétricas para determinar la posición óptima de los transductores.

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo está soportado por el programa CICYT, ref. TAP1999-0748, de el Ministerio de Educación y Cultura

## REFERENCIAS

1. P. Nelson, S. Elliot, “Active control of sound”, Academic Press, Cambridge 1993
2. A.Curtis, P. Nelson, S. Elliot, A. Bullmore, “Active suppression of acoustic resonance”, Journal of Acoustic Society of America, 1987, 81(3), 624-631.
3. P. Nelson, A. Curtis, S. Elliot, A. Bullmore, “The active minimization of harmonic enclosed sound fields, Part I: Theory Journal of sound and vibration”, 1987, 117, 1-13.
4. S. Elliot, P. Joseph, A. Bullmore, P. Nelson, “Active cancellation at a point in a pure tone diffuse sound field”, Journal of sound and vibration, 1988, 120, 183-189.
5. P. Joseph, S. Elliot, P. Nelson, “Near field zones of quiet”, Journal of sound and vibration, 1994,172(5), 605-627.
6. Schroeder, M.R., “Statistical parameters of the frequency response curves of large rooms”, Journal of the Audio Engineering Society 1987, 35, 299-306.
7. B. Widrow, S. Stearns “Adaptive signal processing”, Ed. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985.

---

8. J García-Bonito S. Elliot, "Strategies for local active control in diffuse sound fields"  
Proceedings of Active 95, 1995, 561 - 572.