

## Estrategias alternativas para la generación activa de zonas de silencio

García Bonito, J. y Elliott, S. J.

ISVR, University of Southampton, Southampton SO17 1BJ, U.K.

### INTRODUCCION

Tradicionalmente los sistemas de control activo del ruido se basan en la minimización de la suma de las presiones cuadráticas medias medidas por una matriz de micrófonos en un campo acústico primario (ruido a cancelar) mediante la acción de un conjunto de fuentes acústicas secundarias debidamente ajustadas en fase y amplitud. En el caso particular de un sistema de control activo local de un canal, la presión acústica medida por el micrófono de error, normalmente situado en el campo cercano de la fuente secundaria, es cancelada por la acción de dicha fuente con el fin de generar una zona de silencio alrededor del micrófono. El tamaño y la forma de esta zona de silencio están determinados por la posición relativa del micrófono de error con respecto al altavoz secundario y la distribución espacial del campo acústico primario y secundario en las proximidades de dicho micrófono.

Este artículo explora la estrategia de cancelar la presión y la velocidad acústica total en un punto de un campo acústico primario y en una dirección determinada para generar una zona de silencio. Se demuestra que esta técnica permite aumentar las dimensiones de las zonas de silencio que se pueden generar en el campo cercano de una fuente secundaria en un sistema local de control activo del ruido, con respecto a la estrategia de cancelar sólo la presión acústica en el mismo punto. Si en lugar de cancelar la velocidad acústica total se cancela la velocidad producida por la fuente secundaria, es decir, la fuente secundaria se diseña de tal forma que su velocidad acústica sea cero en el punto donde se cancela la presión, los resultados son muy parecidos a los anteriores. Esto sugiere que la cancelación simultánea de la presión y la velocidad acústica secundaria en un punto cercano a la fuente de control puede ofrecer importantes aplicaciones prácticas.

### CANCELACION DE LA PRESION Y LA VELOCIDAD ACUSTICA

En esta sección investigamos el efecto que la cancelación simultánea de la presión y la velocidad acústica total en un punto tiene sobre las dimensiones de las zonas de silencio en un campo acústico primario difuso [1]. Con el fin de simplificar la presentación, la fuente secundaria se ha modelizado como un conjunto de 2 monopolos cuyas velocidades de volumen,  $q_{s1}$  y  $q_{s2}$ , pueden ser ajustadas para cancelar la presión y una componente de la velocidad acústica total en un mismo punto. La figura 1 muestra la geometría supuesta en este problema, donde se muestran los dos monopolos sobre el eje  $x$ , separados por una distancia  $d$ , y el sensor de error (midiendo presión y velocidad acústica en la dirección  $x$ ) que está situado en el punto de coordenadas  $(L,0)$ , donde  $L$  denota la distancia entre el origen del sistema de referencia y el micrófono de error. La presión y la velocidad acústica total en un punto  $(r, \theta)$ ,  $p_T$  y  $u_{xT}$ , se pueden expresar como

$$p_T(r, \theta) = p_p(r, \theta) + q_{s1} \cdot Z_{ps1}(r, \theta) + q_{s2} \cdot Z_{ps2}(r, \theta), \quad (1)$$

$$u_{xT}(r, \theta) = u_{xp}(r, \theta) + q_{s1} \cdot T_{u_{xs1}}(r, \theta) + q_{s2} \cdot T_{u_{xs2}}(r, \theta), \quad (2)$$

donde  $p_p$  y  $u_{xp}$  representan la presión y la componente en la dirección  $x$  de la velocidad acústica asociadas al campo primario;  $Z_{ps1}$  y  $Z_{ps2}$  son las impedancias acústicas de transferencia desde el monopolo 1 y 2 al punto  $(r, \theta)$  respectivamente y,  $T_{u_{xs1}}$  y  $T_{u_{xs2}}$  denotan las funciones de transferencia que relacionan la velocidad de volumen de cada monopolo con la componente en la dirección  $x$  de la velocidad acústica en el punto  $(L,0)$  producida por cada uno de ellos.

Los valores de  $q_{s10}$  y  $q_{s20}$  que cancelan  $p_T$  y  $u_{xT}$  en un punto de coordenadas  $(L,0)$  pueden ser calculados resolviendo el sistema de ecuaciones (1)-(2). Sustituyendo estos valores de  $q_{s10}$  y  $q_{s20}$  en (1) y (2), se obtiene el campo acústico controlado que puede ser comparado con el campo acústico primario para calcular las 'zonas de silencio' generadas al cancelar la presión y la componente en la dirección  $x$  de la velocidad acústica total en el punto  $(L,0)$ . Estas zonas de silencio pueden ser comparadas con las que se obtendrían si únicamente se cancelara la presión en  $(L,0)$  mediante la acción de un solo monopolo situado en el punto  $(0,0)$  de la figura 1. La figura 2-(a) muestra las zonas de silencio generadas por un sistema activo local en un campo primario difuso cuando un monopolo en  $(0,0)$ , '\*', es regulado para cancelar la presión en el punto  $(L,0)$ , '+'. Podemos observar que a bajas frecuencias,  $kL = 0.2$  (donde  $k$  es el número de onda), la zona de silencio tiene una forma esférica que rodea a la propia fuente secundaria. A altas frecuencias,  $kL = 1$ , la zona de silencio es considerablemente menor y se localiza en las proximidades del micrófono de error. La figura 2-(b) muestra el efecto que la cancelación de la presión y la componente  $x$  de la velocidad acústica total en el mismo punto anterior tiene sobre la forma y tamaño de las zonas de silencio. En este caso se necesita la acción de dos fuentes secundarias (representadas con '\*') para poder cancelar ambas magnitudes acústicas. Podemos observar que esta nueva estrategia aumenta considerablemente las dimensiones de la zona de silencio, especialmente a lo largo de la dirección de la componente de la velocidad cancelada. Sin embargo, esta estrategia presenta la dificultad práctica de tener que medir la velocidad acústica en el punto de cancelación, lo cual dificulta su utilización en sistemas activos locales [2, 3]. Si el punto de cancelación se encuentra en el campo cercano de la fuente secundaria, la contribución del campo primario en el valor de la velocidad acústica total es pequeña y la cancelación de la velocidad acústica total en una dirección es prácticamente equivalente a la cancelación de la velocidad acústica secundaria en la misma dirección y en el mismo punto. En este caso, la medición de la velocidad acústica secundaria no sería necesaria y un sistema práctico sólo necesitaría un micrófono de error para medir la presión acústica [4]. La figura 2-(c) muestra las zonas de silencio generadas cuando los dos monopolos,  $q_{s1}$  y  $q_{s2}$ , son ajustados para cancelar la presión y la velocidad acústica secundaria en la dirección  $x$  en el punto  $(L,0)$ . Se observa que los resultados son muy parecidos a los obtenidos en (b).

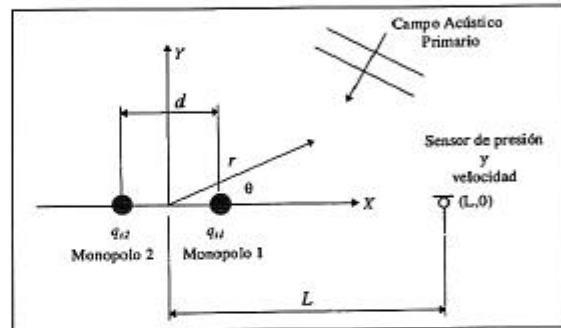


Figura 1: Geometría del problema para el estudio de las zonas de silencio generadas por un sistema activo local que cancela la presión y la velocidad acústica en la dirección  $x$  en el punto de coordenadas  $(x,y) = (L,0)$

### LIMITACIONES PRACTICAS PARA LA CANCELACION DE LA VELOCIDAD ACUSTICA SECUNDARIA

En el caso de una fuente secundaria formada por dos monopolos (ver figura 1), la cancelación de la componente en la dirección  $x$  de la velocidad secundaria en un punto de coordenadas  $(L,0)$  requiere el cumplimiento de la siguiente expresión [5],

$$q_{s1} \cdot T_{u_{x1}}(L,0) + q_{s2} \cdot T_{u_{x2}}(L,0) = 0, \quad (3)$$

cuyos términos han sido definidos en (2). La ecuación (3) nos permite calcular la relación entre las velocidades de volumen  $q_{s1}$  y  $q_{s2}$  para la cancelación de la velocidad secundaria en el punto  $(L,0)$ , es decir,

$$q_{s2} / q_{s1} = -[(L + d/2) / (L - d/2)]^2 \cdot e^{jkd} \cdot [1 + jk(L - d/2) / 1 + jk(L + d/2)]. \quad (4)$$

La figura 3 muestra el módulo y la fase de esta expresión para el caso en que  $L = d = 0.1$  m. Es interesante observar que a bajas frecuencias  $q_{s1} \approx -q_{s2}$  y que esta relación es válida para una banda de frecuencias relativamente ancha. Estos resultados sugieren que para cancelar la velocidad secundaria en el campo cercano de una fuente acústica formada por dos altavoces, por ejemplo, el altavoz más alejado del punto de cancelación debe ser excitado con una señal considerablemente mayor que el altavoz más próximo al punto de cancelación, lo que puede presentar dificultades prácticas.

Una estimación del coste energético derivado de la cancelación de la presión y la velocidad acústica (utilizando dos fuentes independientes) con respecto a la estrategia de sólo cancelar la presión acústica (utilizando una sola fuente) se puede evaluar con la función de coste  $|q_{s1}|^2 + |q_{s2}|^2 / |q_{s,mono}|^2$ , donde  $q_{s,mono}$  es la velocidad de volumen de un monopolo situado en  $(-d/2,0)$  ajustado para cancelar la presión en el punto  $(L,0)$ . Este cociente se ha representado en la figura 4 para diferentes valores de  $L$  y  $d$ . Estos resul-

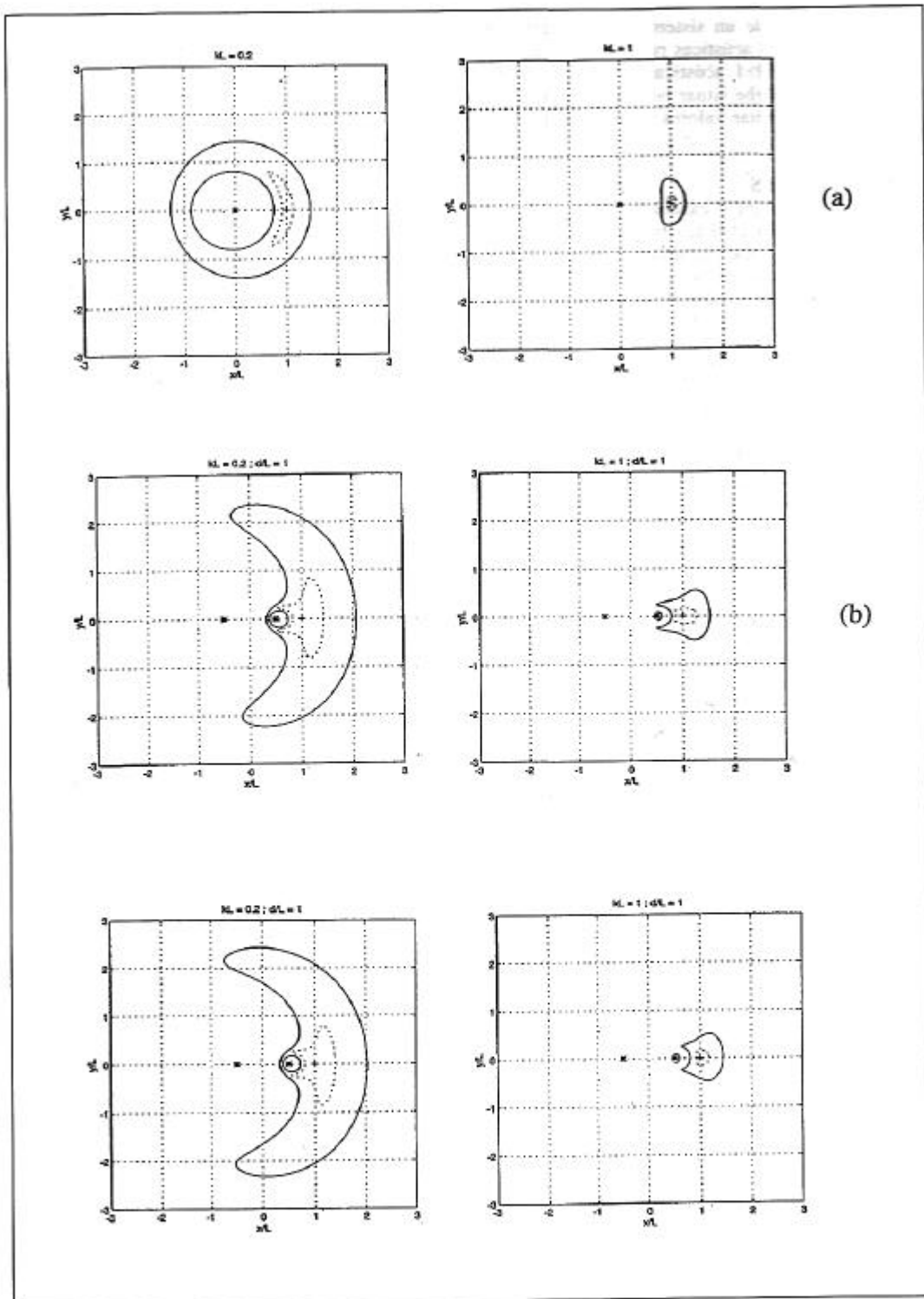


Figura 2: (a): Zonas de silencio con atenuación de 10 dB (línea continua) y 20 dB (línea discontinua) producidas al superponer un campo acústico primario difuso y el campo acústico debido a un monopolo, "•", situado en (0,0) cancelando la presión en (L,0), "•". (b): Zonas de silencio cuando dos monopolos situados en  $(\pm d/2, 0)$  se regulan para cancelar la presión y la velocidad acústica total en el punto (L,0). (c): Zonas de silencio cuando los mismos monopolos en (b) se regulan para cancelar la presión y la velocidad acústica secundaria en el punto (L,0).

tados muestran que un sistema activo local que utilice dos fuentes acústicas para cancelar la presión y la velocidad acústica secundaria en su campo cercano, debe situar las dos fuentes a una distancia para evitar valores altos de dicha función de coste.

### CONCLUSIONES

Se ha demostrado que la cancelación simultánea de la presión y la velocidad acústica total en un punto en el campo cercano de una fuente secundaria genera zonas de silencio considerablemente mayores que las obtenidas cuando sólo se cancela la presión acústica. Si en vez de cancelar la velocidad acústica total se cancela la velocidad secundaria, las zonas de silencio son muy similares. Esta última estrategia presenta posibles aplicaciones prácticas en sistemas de control activo locales.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la fundación 'La Caixa' y la CIRIT (Generalitat de Catalunya)

### REFERENCIAS

- [1] Elliott, S. J. y García Bonito, J. J. Sound and Vib. 186(4), 696-704 (1995)
- [2] García Bonito, J. y Elliott, S. J. Active 95, CA, USA, 561-572 (1995)
- [3] García Bonito, J., Elliott, S. J. y Boucher, C. C., Tecnoacústica 96
- [4] García Bonito, J. y Elliott, S. J., British Patent Application 9605783 (1996)
- [5] García Bonito, J. y Elliott, S. J., ISVR, Technical Memorandum 745 (1994)

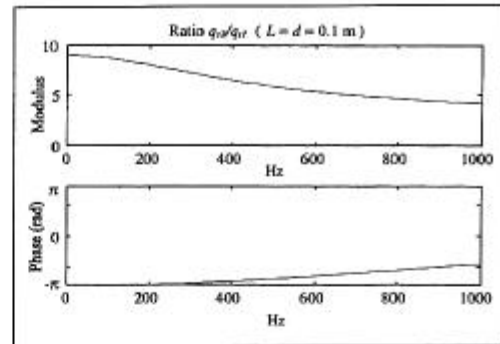


Figura 3: Valor  $q_{s1}/q_{s2}$  de para los monopolos de la figura 1, con  $d = 0.1$  m, cuando estos están regulados para generar un campo acústico secundario con velocidad acústica cero en el punto  $(L,0) = (0.1,0)$  m.

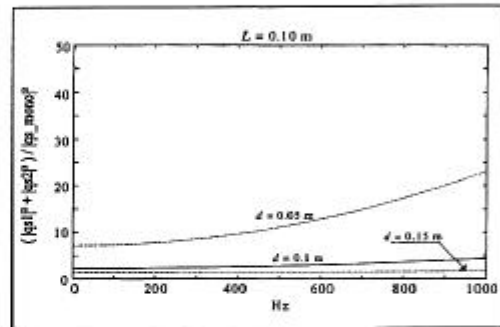


Figura 4: Valor de la expresión  $|q_{s1}|^2 + |q_{s2}|^2 / |q_{s\_mono}|^2$  para los monopolos de la figura 1 satisfaciendo la ecuación (4) y cancelando la presión y la componente x de la velocidad acústica en el punto  $(L,0)$ , para diferentes valores de  $d$ .  $q_{s\_mono}$  es la velocidad de volumen de un monopolo en  $(-d,0)$  cancelando la presión en  $(L,0)$ .