

Control activo de ruido en un conducto en presencia de ondas estacionarias

43.50.Ki

Romeu J., Salueña X., Coll Ll., Jiménez S., Capdevila R.
 Laboratorio de Mecánica e Ingeniería Acústica
 E.T.S. Ingenieros Industriales de Terrassa UPC
 C/ Colom, 11 Terrassa 08222 Barcelona

ABSTRACT

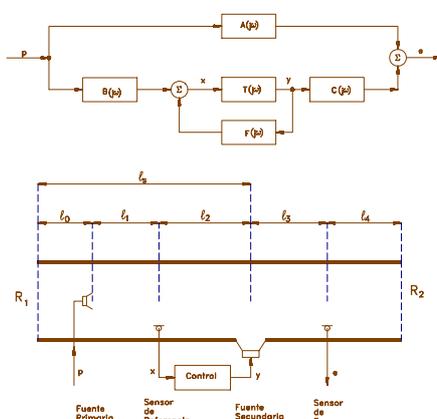
This work is focussed on considering the influence of the standing wave on the active noise control system. One of the main problems that active control devices present is the acoustic feedback, when the reference signal is picked up with a microphone placed upstream the secondary source. This work shows how the stability of the systems depends on the position of the elements of the system regarding the pattern of the standing wave.

INTRODUCCIÓN

Históricamente, el control activo de ruido ha sido aplicado con profusión en el caso de conductos, sin duda por la simplicidad del campo acústico unidireccional que se forma, si se trabaja por debajo de la frecuencia de corte del conducto, así como su fácil aplicabilidad en casos reales. La gran mayoría de estos trabajos consideran que el campo acústico está formado por una onda plana progresiva, considerando una terminación anecoica. Sin embargo, pensando en posibles aplicaciones industriales, hay que pensar que el conducto tendrá una terminación abierta o cuanto menos, con una cierta impedancia, lo que provocará una reflexión de esta onda, formándose entonces una onda estacionaria en el interior del conducto. Sin embargo hay muy pocos trabajos que consideren este hecho.

De este modo, La Fontaine et al¹ investigaron la influencia de las reflexiones ocasionadas por las terminaciones de un conducto, demostrando que ciertas configuraciones disminuían el rendimiento del sistema. Munjal y Eriksson² desarrollaron un modelo analítico del sistema de control activo en conductos, en donde se incluían terminaciones no anecoicas. Enderle y Batta³ reconocieron también que la presencia de ondas estacionarias en el conducto podrían modificar la estabilidad del sistema de control.

DESARROLLO DEL MODELO ACÚSTICO DE UN CONDUCTO



Se parte de un modelo de control activo en un conducto como el que se muestra en la fig. 1. Éste se puede modelizar considerando sólo el sistema electroacústico, suponiendo que el poder de la fuente primaria es

proporcional al voltaje p que la alimenta. De este modo, el sistema que representa al conducto cuenta con dos entradas de señal, p e y , y con dos salidas: x y e . Según esto, se puede describir el sistema de control activo con el diagrama de bloques de la fig. 2, en la que aparecen las funciones de transferencia entre las entradas y las salidas. Los valores de estas funciones de transferencia se pueden encontrar en la bibliografía⁴

Modelo del laboratorio

Para el modelo empleado en el laboratorio, se asumen una serie de simplificaciones que permiten reescribir aquéllas funciones como⁵:

$$B(j\omega) = H e^{-jk\ell_1} + R_2 H e^{-jk(2\ell - \ell_1)}$$

$$C(j\omega) = H e^{-jk\ell_3} + R_2 H e^{-jk((2\ell - 2\ell_s) - \ell_3)}$$

$$A(j\omega) = H e^{-jk(\ell_e)} + R_2 H e^{-jk(2\ell - \ell_e)}$$

$$F(j\omega) = H e^{-jk\ell_2} + R_2 H e^{-jk((2\ell - 2\ell_s) + \ell_2)}$$

Las funciones $B(j\omega)$, $A(j\omega)$ y $C(j\omega)$ presentan la forma

$$f(j\omega) = H e^{-jkx} + R_2 H e^{-jk(2\beta - x)}$$

que es representativa de una onda estacionaria; cuestión lógica por cuanto estas funciones describen el campo acústico creado por una onda generada por las fuentes, que se propaga aguas abajo y su reflejada, que se propaga aguas arriba.

CANCELACIÓN DE LA REALIMENTACIÓN

Cuando el sistema de control no actúa, entonces la señal de referencia es

$$x = B(j\omega)p$$

Si se considera ahora la aproximación de R_2 igual a -1 ⁶, y que el valor útil es la parte real de la expresión compleja de la presión, la señal de referencia es

$$x = [2H \operatorname{sen} k(\ell_1 - \ell) \operatorname{sen} k\ell]p$$

Considérese ahora la situación de control estacionario, en este caso, la señal de referencia será

$$x = B(j\omega)p + F(j\omega)y$$

y si se considera que la función de control es la ideal $T_i(j\omega)$, entonces resulta que el valor real de la señal de referencia se puede escribir como

$$x = [2H \operatorname{sen} k(\ell_1 - \ell_s) \operatorname{sen} k\ell_s]p$$

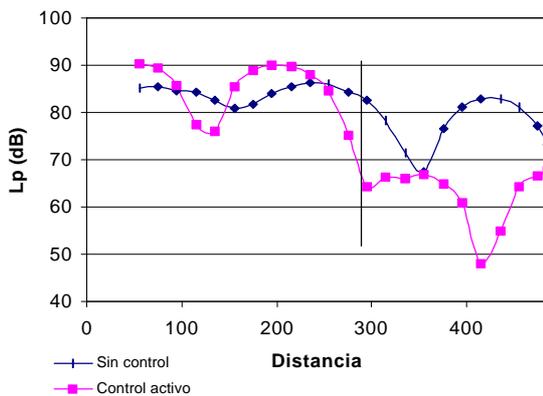
Si no se desea realimentación, entonces la señal de referencia del sistema sin controlar deber ser igual a la señal de referencia del sistema controlado, y esto se da en el caso que



$$l_s = l - n\lambda/2$$

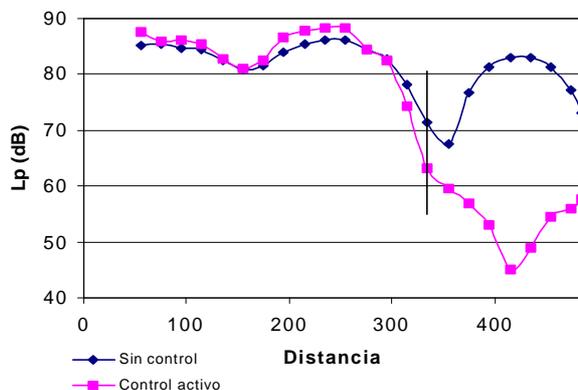
El resultado de esta condición significa que no se producirá realimentación cuando la fuente secundaria se sitúe en un punto localizado a una distancia equivalente a un múltiplo entero de la semilongitud de onda de la frecuencia de control, en el caso que el conducto cuente con un final abierto. Esto es que la fuente secundaria debe situarse en un nodo de la onda estacionaria longitudinal que se forma.

RESULTADOS EXPERIMENTALES



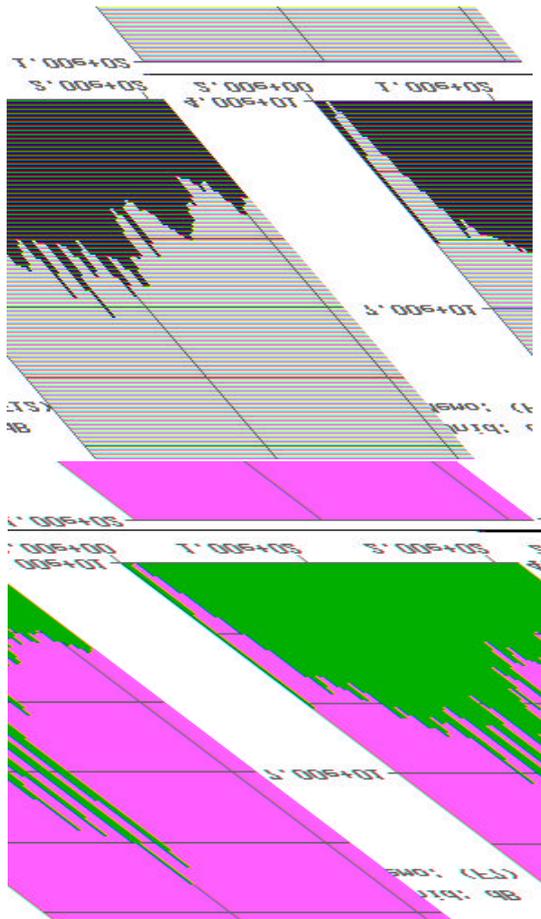
Con el fin de determinar la validez del resultado anterior, se han llevado a cabo diversas experiencias de control activo en un conducto de longitud 485 cm de un tono puro a 110 Hz., para poder determinar los campos acústicos que se forman. En estas experiencias, la señal de referencia era suministrada por un generador de funciones, por lo que la realimentación era imposible.

La primera prueba de control activo se realizó con la fuente secundaria situada en la $l_s = 285$ cm, que se corresponde con una zona próxima a un máximo del campo acústico primaria. El error estaba situado en una posición $l_s + l_3 = 415$ cm. La fig. 3 muestra el campo acústico medido en el interior del conducto con la fuente primaria, en comparación con campo acústico medido en situación de control activo, y se observa como el nivel de presión sonora disminuye en la posición del altavoz de control, por lo que disminuye la impedancia en esta zona y se produce una reflexión de la onda, como sucede al final del conducto. Aguas arriba se sigue formando una onda estacionaria, pero se desplaza a la izquierda respecto a la onda estacionaria primaria. Entonces, el efecto neto del sistema de control activo es reflejar la onda, por lo que, en cierta manera, el lugar donde se ubica la fuente secundaria, se correspondería con un "final acústico" del conducto. La consecuencia de esta ubicación de la fuente secundaria estriba en que el nivel de presión sonora entre la fuente primaria y la secundaria varía en cada punto entre la situación de control y no control, lo que alteraría la señal de referencia.

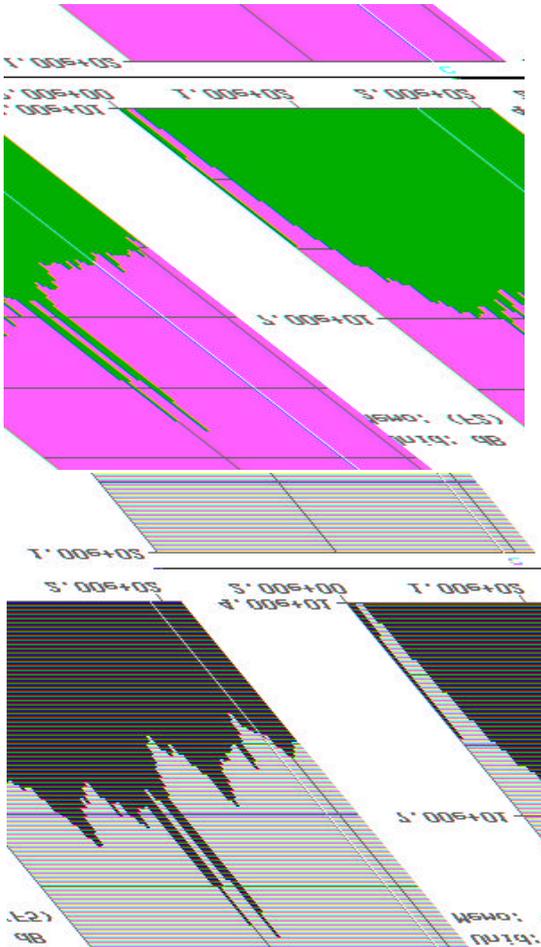


En la segunda experiencia, la fuente de control se situó en el nodo más cercano a la salida del conducto, y el resultado se muestra en la fig.4, en el que se ve como, tal como se determinó siguiendo el modelo propuesto, el campo acústico entre la fuente secundaria y la primaria prácticamente no varía, por lo que no se produciría realimentación del micrófono de error situado en esa zona.

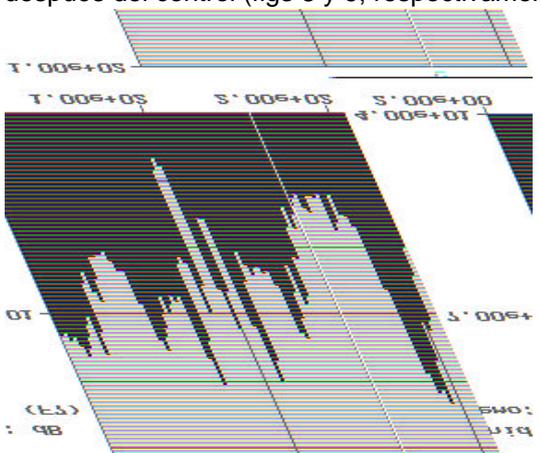
APLICACIÓN AL RUIDO GENERADO POR UN VENTILADOR

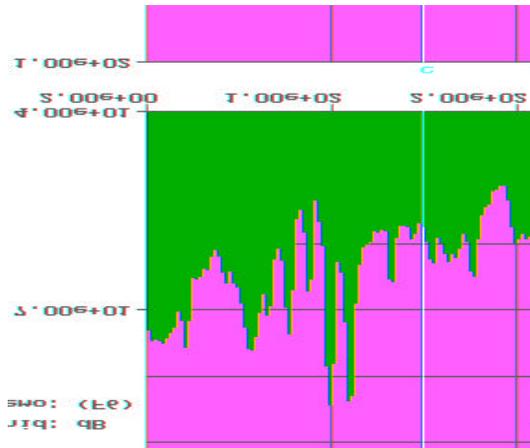


Se procedió a realizar la operación de control activo de ruido de ventilador según la siguiente configuración: la fuente secundaria en una posición l_s igual a 325 cm., el micrófono de error situado en $l_s + l_3 = 415$ cm y el micrófono de referencia a una distancia l_1 de 80 cm. La posición de la fuente secundaria se corresponde con al caso de no realimentación a 110 Hz. Los espectros de las figuras 5 y 6 muestran el nivel de presión sonora antes y después del proceso de cancelación respectivamente, pudiéndose observar considerables reducciones en las frecuencias principales. Por contra, si se analizan los espectros correspondientes a la señal de referencia antes y después del control (figs. 6 y 7, respectivamente), se puede observar que no hay apenas variación en el espectro de la señal, por lo que se concluye que no hay atisbo de realimentación, según lo esperado para esta configuración.



Se realizó otra prueba, en la que se cambiaba de lugar la fuente secundaria a una posición I_s igual a 285 cm, en la que debería existir realimentación, mientras que el micrófono de referencia se situó a $I_1 = 120$ cm, estando el micrófono de error en su posición anterior. En estas circunstancias el control ha resultado inestable y no ha sido posible obtener reducción alguna del nivel de ruido en la señal de error. Esto está causado sin duda por la contaminación de la señal de referencia que tiene lugar y que se demuestra al comparar esta señal antes y después del control (figs 8 y 9, respectivamente).





CONCLUSIONES

Se ha presentado un modelo teórico del campo acústico en un conducto en un sistema de control activo en un conducto, a partir del cual se ha determinado que la posición de la fuente secundaria para que no se produzca realimentación debe coincidir con un nodo de la función de presión primaria. En el caso concreto de una terminación abierta, la fuente secundaria debe situarse en un nodo del campo acústico primario. Se han realizado mediciones experimentales del campo acústico en un conducto durante pruebas de control activo que confirman los resultados teóricos, y se ha aplicado con éxito al caso que la fuente primaria sea un ventilador.

BIBLIOGRAFIA

- (1) R. La Fontaine, I. Shepherd, "The Influence of waveguide reflections and system configuration on the performance on an active noise attenuator", *Journal of sound and vibration*, 100, 569-579, 1985.
- (2) M. Munjal et al, "Analysis of a linear one dimensional active noise control system by means of block diagrams and transfer functions", *Journal of sound and vibration*, 129, 443-455, 1989.
- (3) P. Enderle, G. Batta, "Stability of active noise control systems in ducts", *Proc. Noise Con*, 167-171, 1990.
- (4) Elliot S., P. Nelson, "Models for Describing Active Noise Control in Ducts", ISVR Technical Report N° 127, Southampton, (1984).
- (5) Romeu J. et al, "Modelo para evitar la realimentación en un sistema de control activo de ruido en un conducto", XIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Vol. 4, 131-137, 1998.
- (6) L. Kinsler, A. Frey, A. Coppens y J. Sanders, "Fundamentos de acústica", Ed. Limusa, Mexico, 1992.

