

Control activo de la impedancia de entrada en absorbentes multicapa



Fernández, A., Cobo, P., Cuesta, M., y Pageaud, A.
Instituto de Acústica-CSIC
Serrano 144
28006 Madrid. España
Tfn: 915 618 806
Fax: 914 117 651
Email: iaccr52@ia.cetef.csic.espacs

PACS: 43.55.Ev

Resumen

Este trabajo versa sobre el diseño experimental de absorbentes híbridos para reducir el ruido de banda ancha en conductos. La estrategia seguida es el control de la impedancia de entrada al sistema multicapa en un amplio margen de frecuencias combinando técnicas pasivas y activas. Las medias y altas frecuencias se controlan con un material poroso seguido de una capa de aire, mientras que en baja frecuencia se implementan técnicas de control activo. Se estudian tres estrategias activas: liberación de la presión acústica en la capa trasera del material poroso, adaptación de impedancias y condición de reflexión nula. Se muestran los primeros resultados experimentales obtenidos con el prototipo desarrollado.

Abstract

This work deals with the experimental design of hybrid absorbers for broadband noise control in ducts. The followed strategy is the control of input impedance of the multilayer system over a large frequency bandwidth, combining both passive and active technologies. Control of medium and high frequencies is afforded by a porous material backed with an air gap, while low frequencies are reduced with active control. Three active techniques are investigated: pressure-release in the back face of the porous layer, impedance-matching and zero-reflection condition. First experimental results of the developed prototype are shown.

Introducción

Para controlar el ruido de banda ancha es imprescindible combinar técnicas pasivas y activas. Los métodos pasivos son los más tradicionales y se basan en la utilización de materiales absorbentes. La efectividad de estos dispositivos está directamente relacionada con su envergadura, lo que restringe su margen de aplicación a las frecuencias medias y altas. Para extender el control en baja frecuencia se requieren técnicas activas (Cobo, 1997).

Los recubrimientos híbridos multicapa aparecen como una alternativa interesante para controlar el ruido de banda ancha en diversas aplicaciones (conductos, recintos, etc.). Se trata de absorbentes sintonizados en una determinada banda de frecuencias y cuyo principio de funcionamiento es la adaptación de su impedancia acústica de entrada a la impedancia del medio de propagación. Si no hay contraste de impedancia el coeficiente de reflexión tiende a cero y por tanto la absorción se hace máxima. La absorción pasiva la proporciona la capa de material poroso seguida de una de aire, y está gobernada fundamentalmente por la resistividad al flujo del material y los espesores de dichas capas (Sellen et al., 2003). Para extender la absorción en las frecuencias más bajas sin utilizar capas excesivamente gruesas, se debe utilizar un sistema de control activo, insertando sensores que midan la presión acústica en alguna de estas capas y actuadores que generen un campo secundario pilotado con un algoritmo de minimización. Dependiendo de cual sea la señal de error utilizada en el sistema, se definirán diferentes estrategias CAR (Beyene y Burdisso, 1997; Cobo et al., 2003).

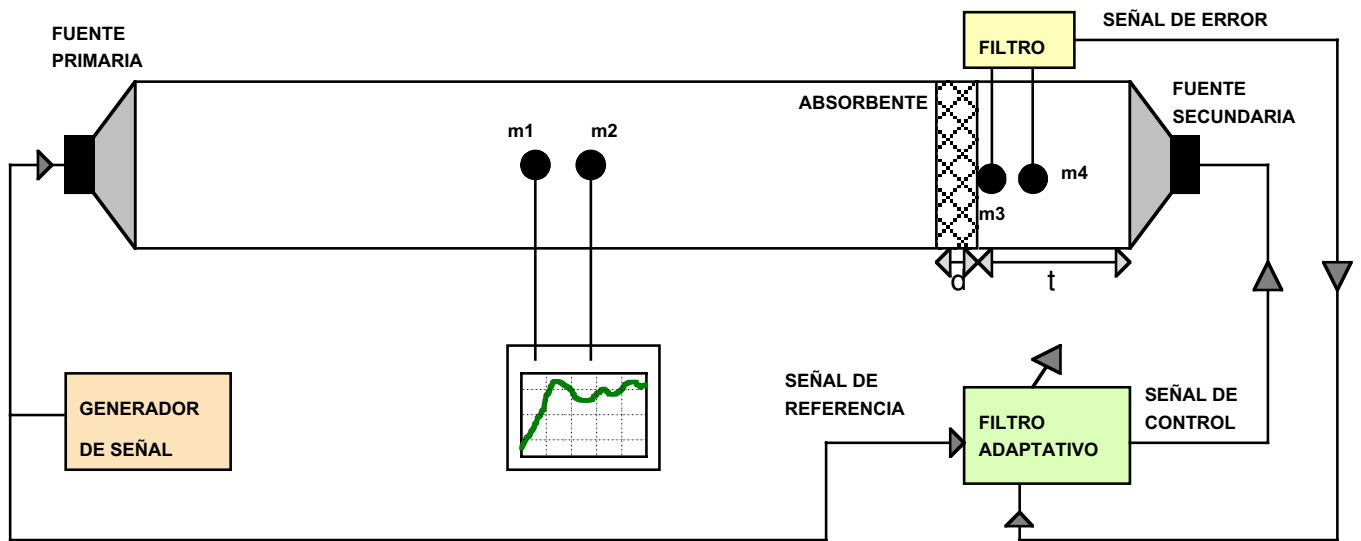


Fig.1. Prototipo de absorbente híbrido en un tubo de impedancia

Condiciones de control

En este trabajo se presenta el prototipo de absorbente híbrido desarrollado para reducir el ruido de banda ancha en un tubo de impedancia (incidencia normal), como el de la Figura 1.

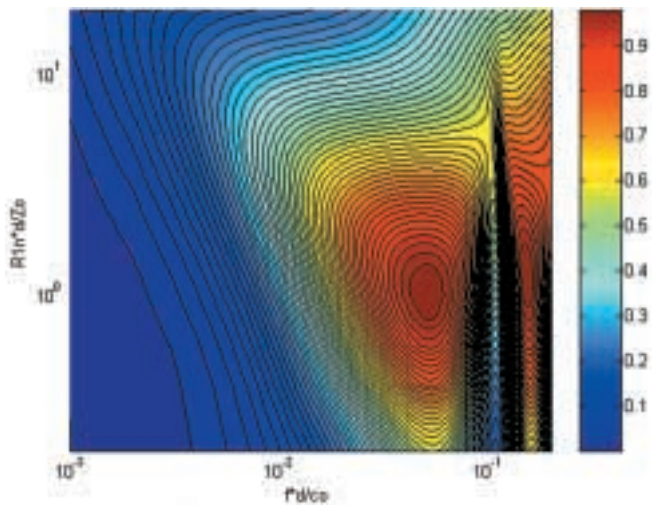
Por el conducto se propagan las ondas planas generadas por la fuente primaria que está colocada en uno de sus extremos. En el extremo opuesto se sitúa el sistema absorbente compuesto de dos capas, una de material poroso de espesor d seguida de una capa de aire de espesor t . Midiendo la función de transferencia entre los micrófonos m_1 y m_2 puede determinarse la absorción del sistema multicapa (Chung y Blaser, 1980). El sistema CAR implementado, consta de una fuente secundaria localizada detrás de la muestra, y unos micrófonos m_3 y m_4 que servirán para detectar la señal a minimizar (señal de error) por el filtro adaptativo. Dependiendo de las características de esta señal de error se definen las siguientes estrategias de control activo:

- Liberación de la presión (Beyene y Burdisso, 1997): hacer que la impedancia de entrada en la capa de aire tienda a cero. Es la misma condición que se cumple en el caso pasivo a las frecuencias correspondientes a un espesor $\lambda/4$. Es la estrategia más fácil de implementar pues consiste en anular la presión acústica en el micrófono más próximo a la capa trasera del material (m_3).
- Adaptación de impedancias (Beyene y Burdisso, 1997): en una aproximación de baja frecuencia y para espesores y resistividades al flujo pequeñas, se puede mover el actuador de manera que la impedancia de

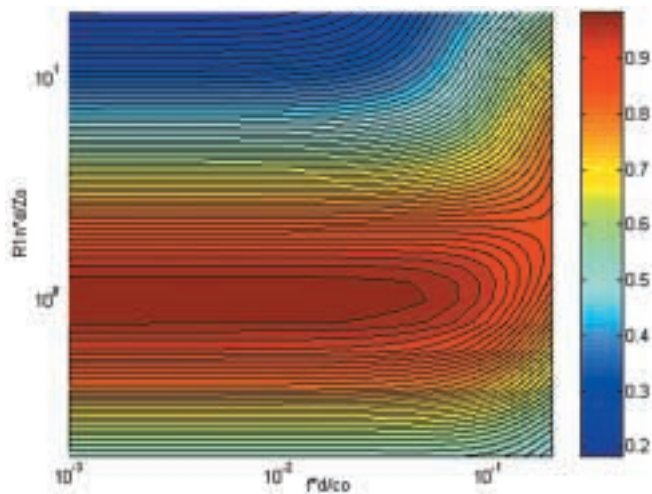
entrada al sistema tienda a la del aire, lo que ocurre si no hay reflexión en la capa trasera del material. Para implementar esta condición hay que separar las ondas incidente y reflejada utilizando los dos micrófonos m_3 y m_4 (circuito deconvolucionador), e implementar la onda reflejada como señal de error.

- Reflexión nula: implementar un sistema CAR que anule totalmente la reflexión en el sistema multicapa (entre m_1 y m_2) para que la absorción sea total. Guicking y Karcher (1984) implementaron esta condición con una señal de error detectada en la capa delantera del material. Lo particular de nuestra propuesta es el uso de los micrófonos situados en la capa trasera (m_3 y m_4) para definir la función de coste a minimizar. Teóricamente esta condición, aunque más eficaz, implica mayor esfuerzo de control. En la práctica esta función de coste, relacionada con las ondas incidente y reflejada en la capa trasera del material, se implementa al igual que en la condición anterior, con un filtro digital.

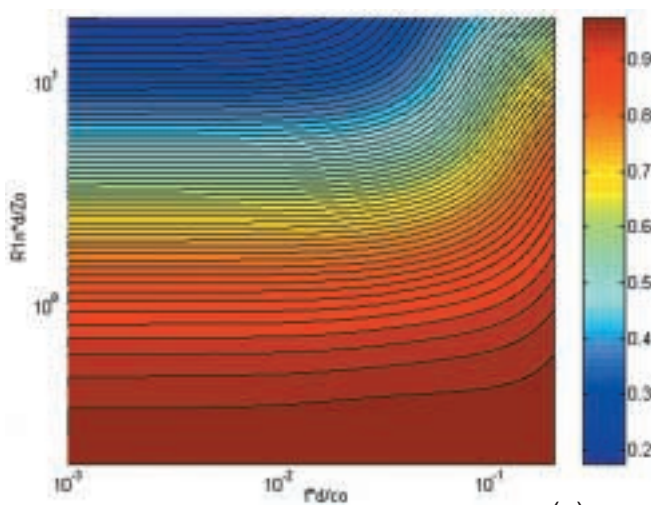
La Figura 2 representa la absorción de un sistema de dos capas (material de resistividad al flujo R_{In} y $d=2,5$ cm y capa de aire con $t=10$ cm) en el conducto de la Figura 1, para diferentes condiciones de control. Se confirma que el CAR extiende la absorción hacia las bajas frecuencias. La adaptación de impedancias funciona mejor para bajos valores de $R_{In}d/Z_0$, mientras que la liberación de la presión es más adecuada para valores medios. Esto se aprecia mejor en la Figura 3, donde se muestran tres cortes de la Figura 2 para un producto de 1,6. Para los espesores usualmente utilizados con las lanas de roca, se estaría más cerca de la condición óptima de liberación de la presión; sin embargo las espumas ($R_{In} \ll 1$) se tratarán mejor con el ajuste de impedancias.



(a)



(b)



(c)

Fig.2. Absorción en un sistema de dos capas con $t/d=4$: pasiva (a) y híbrida pasiva-activa, con liberación de la presión (b) y adaptación de impedancias (c)

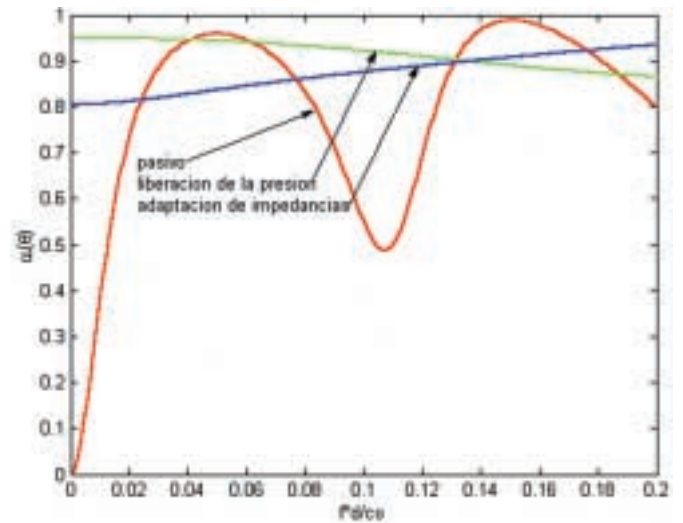


Fig.3. Comparación de las curvas de absorción para el mismo sistema de la Fig.2

Resultados

En la Figura 4 se muestra el prototipo construido para evaluar las prestaciones de los absorbentes híbridos multicapa. Se trata de un tubo de Al de longitud 101 cm y diámetro interior 10 cm, con un altavoz en cada extremo, que actúan como fuente primaria y secundaria. Sobre el tubo se localizan varios micrófonos de electret: uno o dos sensores de error detrás de la muestra y cerca del actuador, y dos en la parte delantera de la muestra que se usan para medir el coeficiente de absorción por el método de la función de transferencia. La separación entre éstos es de 9 cm, lo que limita el método a frecuencias por debajo de 1900 Hz. El controlador es un sistema multicanal basado en un DSP C40 de TI, que implementa los algoritmos FX-LMS y FU-LMS del filtrado



Fig.4. Dispositivo experimental

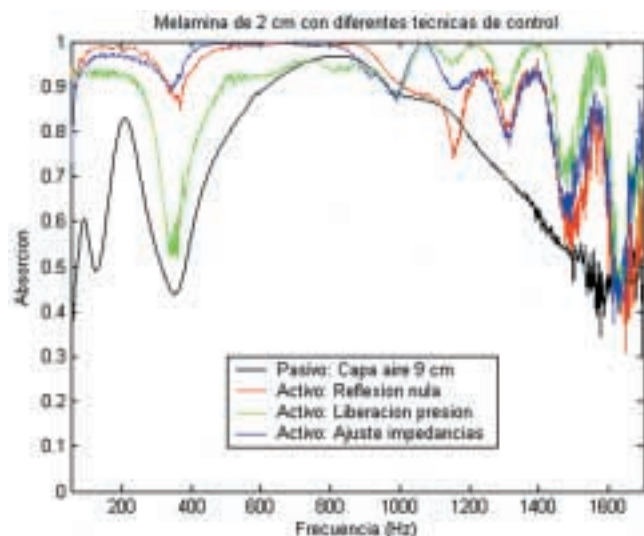


Fig.5. Absorción de una melamina de 2 cm con diferentes técnicas de control

adaptativo por anticipación. La señal primaria, generada internamente desde este controlador, es un ruido uniforme.

La Figura 5 recopila las curvas de absorción de una capa de melamina de 2 cm tratada con diferentes técnicas de control, en las que se observa claramente como el CAR refuerza el control en baja frecuencia. Como era de esperar, las técnicas de reflexión nula y de ajuste de impedancias ofrecen los mejores resultados en esta banda (por debajo de 1000 HZ), en la cual la absorción llega prácticamente a ser máxima. El proceso de optimización que queda por acometer será presentado en la comunicación.

Conclusiones

En este trabajo se presenta el prototipo inicial de un absorbente híbrido pasivo/activo para reducir el ruido de banda ancha en conductos. Se trata de un sistema multicapa formado por una muestra porosa seguida de una capa de aire en la cual se implementa un sistema de control activo que refuerza la absorción en el margen de baja frecuencia. El principio de funcionamiento es el

ajuste de la impedancia acústica de entrada a la del medio de propagación. En este trabajo se analizan diferentes técnicas de control y los primeros resultados obtenidos en la medida de la absorción del absorbente. Se consiguen absorciones próximas a la unidad por debajo de 1000 Hz.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la CICYT, a través del Proyecto DPI2001-1613-C02-01.

Referencias

- Beyene, S. and Burdisso, R.A., 1997. A new hybrid passive/active noise absorption system. *J. Acoust. Soc. Am.*, 101, 1512-1515.
- Chung, J.Y. and Blaser, D.A., 1980. Transfer function method of measuring in-duct acoustic properties. *J. Acoust. Soc. Am.*, 68, 907-921.
- Cobo, P., 1997. *Control Activo del Ruido. Principios y Aplicaciones*. CSIC, Colección Textos Universitarios, Nº26, Madrid.
- Cobo, P., Fernández, A., Doutres, O., 2003. Low frequency absorption using a two-layer system with active control of input impedance. *J. Acoust. Soc. Am.* (en revisión)
- Guicking, D. and Karcher, K., 1984. Active impedance control for one-dimensional sound. *J. Vib. Acoust. Stress Reliability Des.*, 106, 389-392.
- Sellen, N., Cuesta, M., and Galland, M.A., 2003. Passive layer optimization for active absorbers in flow duct applications. 9th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Hilton Head, South California, paper 2003-3186.