

## CONTROL ACTIVO DEL RUIDO DE ESCAPE DE UNA FUENTE ENCAPSULADA

M. Cuesta, J.M. Moreno, J. Pons, y P. Cobo

Instituto de Acústica. CSIC.  
C/ Serrano N° 144, 28006 Madrid.  
Tel: 91 561 88 06. Fax: 91 411 76 51.  
E-mail: iaccr52@fresno.csic.es

### SUMMARY

This paper deals with laboratory tests carried out in order to actively cancel the low frequency periodic noise radiated through the exhaust of an enclosed source.

### INTRODUCCION

El ruido se considera un agente contaminante y como tal debe ser controlado. Las técnicas pasivas para control del ruido aprovechan las propiedades de ciertos materiales para absorber energía o cambiar la impedancia del medio para dificultar la propagación acústica, y proporcionan grandes resultados a frecuencias medias y altas sin costes muy elevados (Beranek y Vér, 1992). En el margen de bajas frecuencias, los métodos pasivos son inviables porque implican unos dispositivos de gran tamaño. Se recurre entonces a técnicas de control activo (Nelson y Elliott, 1992), que permiten reducir una perturbación acústica (señal de entrada) introduciendo una segunda perturbación en contrafase (señal de control) generada electrónicamente. A pesar de ser una técnica propuesta hace sesenta años, es en la última década cuando ha sido posible implementar los sistemas CAR gracias a las nuevas tecnologías de los microprocesadores. Estos sistemas constan de una parte electrónica o hardware que básicamente integra una DSP para el procesamiento digital de señales y una parte de control o software, que toma las señales de entrada, las procesa en la DSP y calcula las señales de salida. En definitiva el control activo es un sistema asistido por ordenador (Cobo, 1997).

### DESCRIPCION DEL EXPERIMENTO

El objetivo de nuestro experimento es cancelar el ruido de escape de una fuente encapsulada (un grupo electrógeno Honda EG1900) mediante control activo. El grupo electrógeno está recubierto de un encapsulamiento pasivo que permite reducir las frecuencias medias y altas. Los humos que se generan en su interior, son extraídos por un ventilador situado en el extremo del tubo de escape, evitándose así que se alcancen altas temperaturas. Se dispone además de un regulador automático de temperatura como medida de seguridad. En el tubo de escape situamos la fuente secundaria, que es un altavoz MOTRAN HTL6 capaz de soportar hasta una temperatura de 174°C y un micrófono de electrete como sensor de error. La Figura 1 muestra la curva de sensibilidad del altavoz en una caja de madera de 16 litros, rellena de lana mineral.

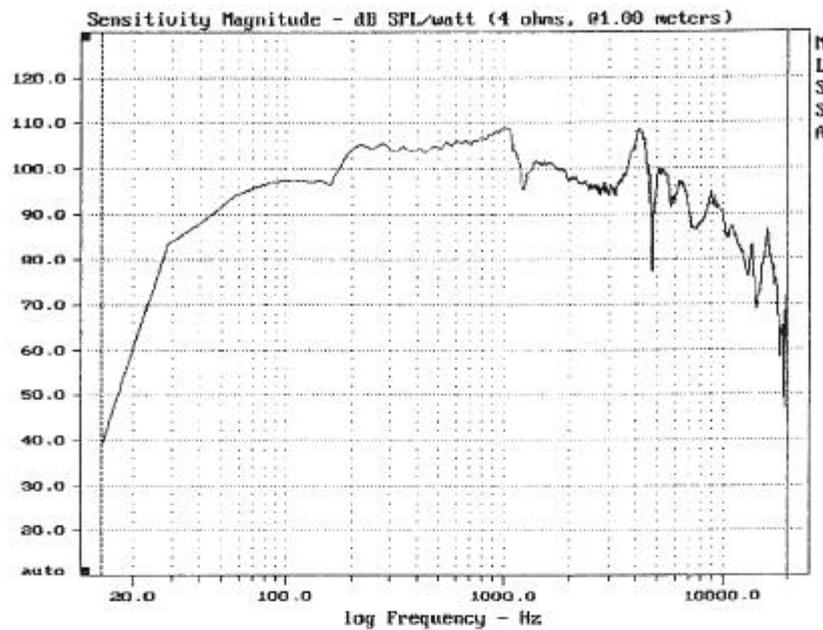


Figura 1. Curva de sensibilidad del altavoz MOTRAN HTL6 en su caja

El controlador utilizado es el EZ-ANC (Snyder y Vokalek, 1994). Es un sistema adaptativo desarrollado para el control feedforward del ruido y vibraciones. Se dice que es adaptativo porque la señal que medimos en el micrófono de error se introduce en el sistema de control para reajustarlo y obtener la máxima cancelación, y es feedforward, porque se utiliza una señal de referencia para obtener la señal de control. Es un sistema multicanal, con 6 entradas repartidas entre una señal de referencia y 5 de error, y 6 salidas de control. El hardware de este sistema CAR consta de un microprocesador ANALOG DEVICES ADSP2101 y tres codificadores ANALOG DEVICES AD1847 capaces de realizar conversiones de 16 bits. El software integra filtros digitales que calculan la función de transferencia del sistema acústico, algoritmos adaptativos que modifican los coeficientes del filtro para sintonizar al máximo la señal de entrada y salida, y por último un menú que se maneja desde el PC con todos los parámetros para configurarlo. Los parámetros del filtro de control y del sistema de identificación, entre ellos el coeficiente de convergencia y el número de coeficientes de cada uno, son los más determinantes en el sistema CAR. El primero, determina la estabilidad y velocidad del sistema, y el segundo la longitud del filtro.

Es fundamental para el éxito del control activo de una perturbación acústica, elegir adecuadamente la señal de referencia. Medimos el ruido del motor con un micrófono de intemperie, y las vibraciones en distintos puntos de éste (soporte, filtro, depósito de la gasolina,...) con un acelerómetro. Al analizar el espectro de estas medidas, observamos que en todas aparecen armónicos de la frecuencia fundamental, relacionada con las revoluciones del motor. Por consiguiente, es necesario filtrar la vibración elegida como señal de referencia. La Figura 2 muestra el espectro de la vibración captada por un acelerómetro B&K 4332 en uno de los soportes del motor, filtrada en la banda (40, 150) Hz.

La señal de referencia, preamplificada por un B&K 2651, y la de error, son introducidas en el EZ-ANC que genera la señal de control, la cual amplificada por un Optimus ART15 excita al altavoz MOTRAN que actúa como fuente secundaria. Disponemos de un osciloscopio para monitorear las señales de referencia y de error, y un analizador B&K 2033 que nos permite medir los niveles de presión sonora en el micrófono de error antes y después de conectar el sistema CAR.

## RESULTADOS EXPERIMENTALES

Una de las características esenciales de un sistema CAR feedforward es que sólo intenta cancelar el ruido del que tiene información previa a través de la señal de referencia. De aquí la importancia de conseguir una señal de referencia de buena calidad.

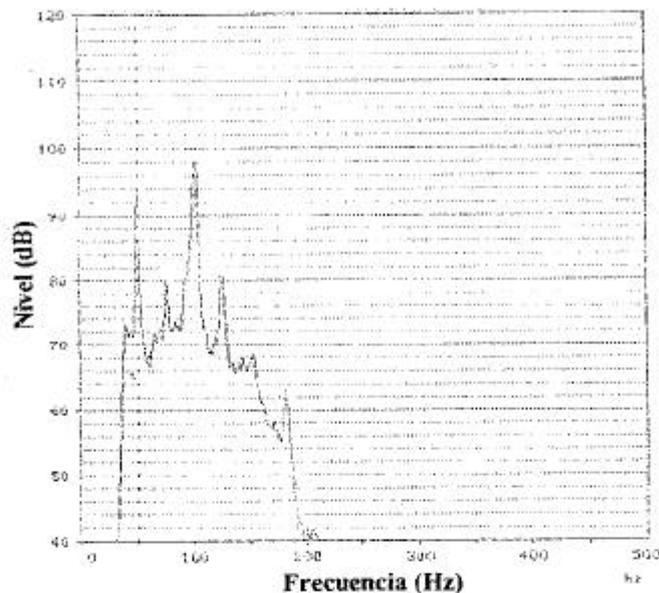


Figura 2. Señal de referencia que proporciona un acelerómetro en uno de los soportes del motor, lado bastidor, filtrada en la banda (40,150) Hz

A modo de ejemplo, la Figura 3 muestra los espectros del ruido en el micrófono de error, antes, Figura 3a, y después, Figura 3b, de la cancelación, cuando usamos una señal de referencia filtrada en una banda estrecha que deja pasar el armónico de amplitud mayor en el espectro de ruido (101.25 Hz). Como podemos observar en la Figura 3b, con una señal de referencia de buena calidad, es posible reducir este armónico en 17 dB.

Para configurar el EZ-ANC, se han utilizado filtros FIR en el sistema de control y en el prefiltrado de la señal de error. Se ha llegado a un compromiso entre la estabilidad y velocidad del sistema, tomando un coeficiente de convergencia del filtro de control relativamente pequeño y un número elevado de coeficientes del filtro. En el sistema de identificación, utilizamos como señal modelizadora una señal pseudoaleatoria de amplitud suficiente, y un coeficiente de convergencia mucho mayor que el del sistema de control. Modificaciones posteriores de otros parámetros del EZ-ANC, no producen efectos alguno en la cancelación.

#### RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los resultados anteriormente expuestos nos revelan la necesidad de seguir profundizando en este experimento para conseguir que la señal de error disminuya en el mayor rango de frecuencias posible, sin restringirse a un único armónico como vemos en los espectros de cancelación. Con este objetivo, en medidas posteriores se mejorará el dispositivo experimental y se buscará una mejor señal de referencia entre todas las que se han analizado de las vibraciones del motor. Estos últimos resultados serán presentados en el congreso.

#### REFERENCIAS

- Beraneck, L.L. and Vér, I.L., 1992. **Noise and Vibration Control Engineering. Principles and Applications.** John Wiley & Sons, New York.
- Cobo, P., 1997. **Control Activo del Ruido. Principio y Aplicaciones** Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Colección Textos Universitarios, N° 26, Madrid.
- Nelson, P.A. y Elliott, S.J., 1992. **Active Control of Sound.** Academic Press, London.
- Snyder, S.D and Vokalek, G., 1994. **EZ-ANC User's Guide.** Causal Systems Pty Ltd, Adelaide, Australia.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al soporte financiero de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (Proyecto AMB97-1175-C02-01).

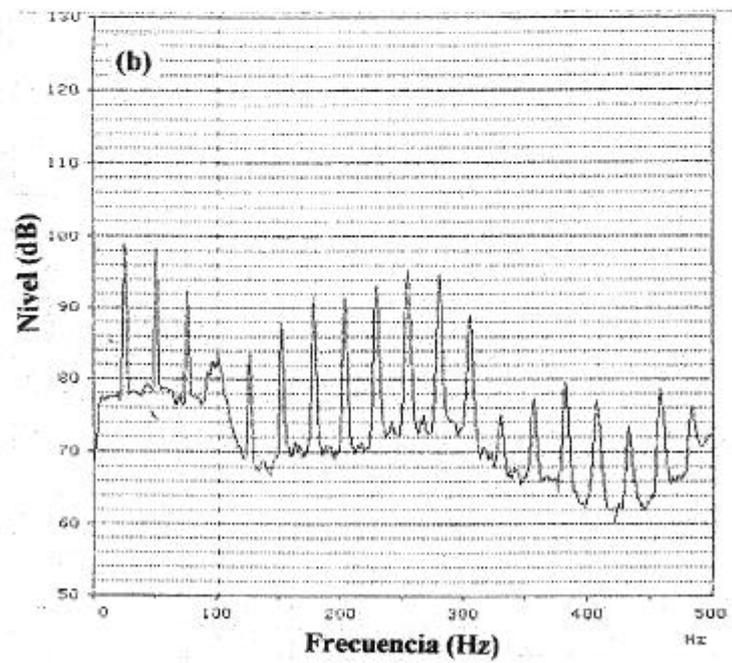
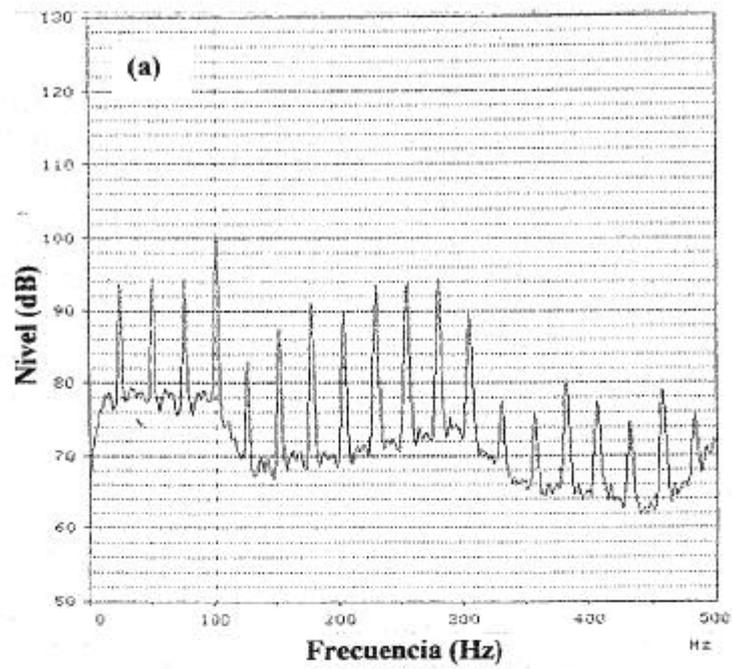


Figura 3. Espectros del ruido en el micrófono de referencia antes (a) y después (b) de conectar el sistema CAR