

## MEDIDAS DE RUIDO Y VIBRACIONES EN EL INTERIOR DE UN VEHÍCULO RELEVANTES PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA CAR MULTICANAL

P. Cobo<sup>(1)</sup> y J.M. Martín<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Instituto de Acústica. CSIC. C/ Serrano Nº 144, 28006 Madrid. Tel: 91 561 88 06. Fax: 91 411 76 51. E-mail: iacpc24@fresno.csic.es

<sup>(2)</sup> Nissan European Technology Center-España (NECT-E). Zona Franca, Sector B, C/3, 77-111. 08040 Barcelona

### SUMMARY

The performance of an Active Noise Control is limited by the location of the control sources and sensors, and by the quality of the reference signal. This paper deals with the measurements of noise and vibration in a van relevant to the design of an active system to reduce the periodic engine noise.

### INTRODUCCION

Las fuentes principales de ruido de baja frecuencia en el interior de un automóvil son el motor y la rodadura. El ruido del motor predomina a velocidades lentas (tráfico urbano), mientras que el ruido de rodadura es más importante a velocidades altas (vías rápidas). El ruido del motor es tonal, a la frecuencia principal de ignición del motor, con una serie de armónicos. El ruido de rodadura es alcatorio (y por tanto, de banda ancha). El orden dominante en el ruido del motor en motores de cuatro cilindros es el 2N. La frecuencia de este armónico crece linealmente con las rpm, mientras que la amplitud de la fuerza a que da lugar crece con el cuadrado de las rpm. Es difícil aislar a los pasajeros del orden 2N del motor. El margen que recorre el orden 2N durante la operación del motor está completamente dentro de las frecuencias bajas (pongamos entre 50 y 200 Hz, para velocidades de motor entre 1500 y 6000 rpm). Como estas frecuencias se atenúan poco en los sistemas de control pasivo del vehículo, alcanzan el habitáculo con facilidad. El habitáculo es un recinto cerrado, y el campo acústico en su interior posee unos modos normales. Cuando el ruido del motor y/o sus vibraciones excitan uno de los modos normales de la cavidad se produce el fenómeno conocido como *booming*.

Afortunadamente, el ruido de baja frecuencia se puede controlar por métodos activos. El Control Activo del Ruido (CAR) consiste en la generación de un campo acústico secundario que interactúe con el campo existente, de tal modo que el campo resultante tenga un nivel inferior al campo primario. En su implementación más elemental, el campo secundario es una versión desfasada 180° del campo primario (principio de interferencia destructiva). Un sistema CAR consta de una serie de sensores del campo primario, de una serie de fuentes del campo secundario, y de un sistema electrónico, el controlador, que pilota el proceso de cancelación. En su versión más sofisticada, el controlador es un filtro adaptativo que es capaz de manejar variaciones en el problema de ruido. Un filtro adaptativo se implementa en un DSP (Procesador Digital de Señales). Existen antecedentes en la aplicación del CAR para el ruido del motor en el interior del habitáculo (Karkkainen, 1991; Sutton et al, 1993; Bermigan et al, 1995; Shouresi and Kaurek, 1996; Winkler et al, 1997).

El rendimiento de un sistema CAR depende críticamente de la correcta interrelación entre factores acústicos y factores de control. El primer factor que limita el funcionamiento de un sistema CAR es la disposición de las fuentes de control. Una vez que se ha optimizado esta disposición, es necesario considerar la localización de los sensores de error. El siguiente factor es la calidad de la señal de referencia. Y, por supuesto, es necesario considerar también las prestaciones del sistema de control. Si todos estos factores estuvieran optimizados, la máxima cancelación que se puede conseguir con el sistema CAR estaría determinada por la señal de referencia.

De todas las consideraciones anteriores, concluimos que el primer paso para un diseño correcto de un sistema CAR es la caracterización más completa posible de la fuente de ruido.

### SEÑAL DE REFERENCIA

Se ensayaron tres posibles candidatas a señales de referencia no acústicas:

- La señal rpm que proporciona el propio tacómetro del vehículo (lado bastidor).
- La vibración en la dirección  $z$  (vertical) captada con un acelerómetro en el soporte izquierdo del motor.
- La vibración en la dirección  $y$  (longitudinal) captada por un acelerómetro en el eje trasero del grupo diferencial.

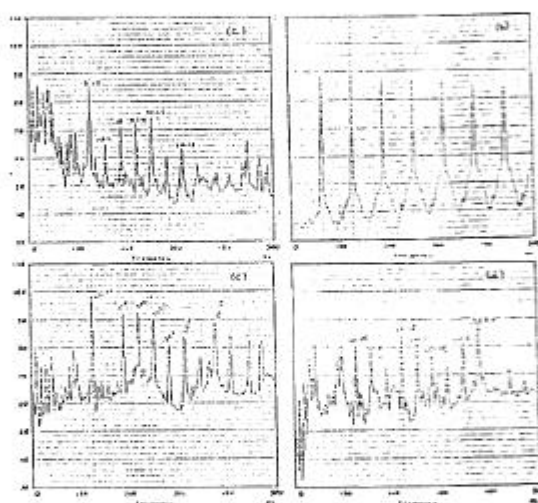


Figura 1. (a) Ruido en el asiento del conductor; (b) rpm; (c) vibración vertical del soporte izquierdo del motor; (d) vibración longitudinal del grupo diferencial

La Figura 1 muestra los espectros, promediados sobre 128 adquisiciones, del ruido en el oído derecho del asiento conductor, de la señal rpm, de la vibración vertical del soporte izquierdo del motor, y de la vibración longitudinal del grupo diferencial, en una banda de frecuencias (0, 500) Hz, para un régimen continuo de 3800 rpm. En el espectro del ruido en el interior, Figura 1a, se pueden identificar los armónicos de la frecuencia del motor, siendo el 2N el de mayor amplitud. La señal rpm, Figura 1b, contiene el fundamental y todos los armónicos enteros, con un nivel muy similar. Observando las Figuras 1c y 1d se deduce cualquiera de estas dos vibraciones, convenientemente filtrada, es una buena referencia para el sistema CAR.

### RUIDO EN EL INTERIOR DEL HABITÁCULO

Parece lógico medir a la altura de las cabezas de los ocupantes del vehículo. Para este propósito se situaron doce micrófonos, sujetos a cada lado de los reposacabezas, en cada uno de los seis asientos del vehículo. Cada uno de los micrófonos B&K iba conectado a su correspondiente preamplificador. Las señales microfónicas preamplificadas entraban a un sistema multicanal de adquisición H&P, y de aquí se derivaban a un registrador TEAC RD-200T de 16 canales. Las señales adquiridas de este modo se analizaban con el software *CADA-X* de *LMS*. El vehículo se introducía en una cámara semianecoica. En 3ª velocidad, con una carga en el banco de

pruebas, se aceleraba a fondo y se adquiría/registraba/procesaba la señal de cada uno de los micrófonos en el margen de (1000 , 4500) rpm.

Un análisis de la evolución de los órdenes con la frecuencia, del ruido medido en estas doce posiciones, determinó la mayor idoneidad las seis posiciones interiores (micrófonos de la derecha en la fila izquierda de asientos, y micrófonos de la izquierda en la fila derecha de asientos). La Figura 2 muestra *los waterfalls* de los ruidos medidos en cada una de estas seis posiciones.

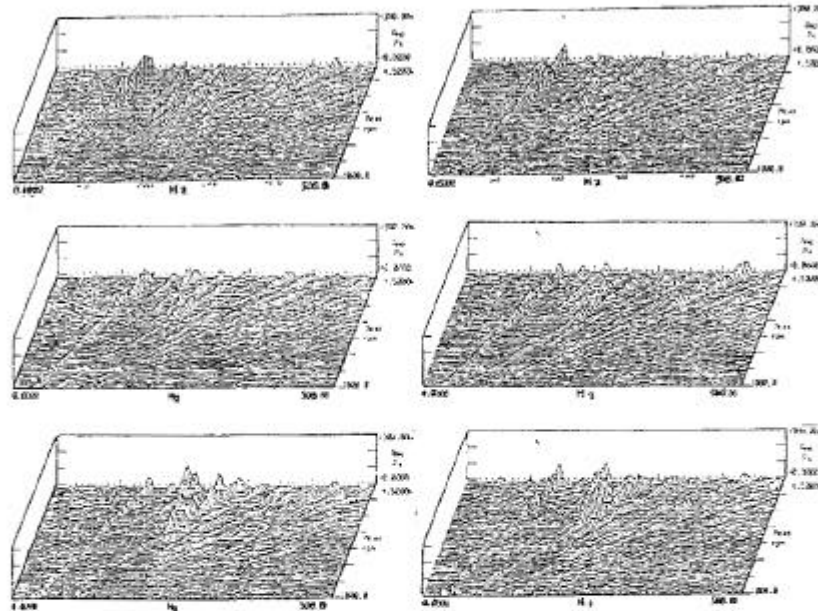


Figura 2. Waterfalls del ruido en cada uno de los seis micrófonos del interior del vehículo.

En todos ellos se identifica el *booming* cuando el orden 2N pasa a través del modo normal del habitáculo. En los asientos traseros se identifica un problema más. Se trata de una protuberancia, alrededor de los 200 Hz, asociada según parece a una resonancia en el eje trasero (grupo diferencial, eje y ballestas). Como se puede comprobar en la Figura 2, este problema se presenta a una frecuencia fija, independientemente de las rpm del motor.

#### FRF's ALTAVOZ-MICROFONO

Las funciones de respuesta en frecuencia (FRF) de cada pareja altavoz-micrófono tienen una utilidad doble para nuestro problema:

- Las podremos usar posteriormente en la modelización de nuestro sistema CAR multicanal.
- Nos ayudarán a decidir la mejor ubicación de los altavoces.

Se ensayaron ocho posiciones para los altavoces. Las posiciones candidatas fueron:

- Los dos instalados de serie en las puertas delanteras (altavoces 1 y 2).
- Dos encastrados en el techo, encima de los asientos intermedios, próximos a cada uno de los extremos (altavoces 3 y 4).
- Dos encastrados en el techo, encima de los asientos traseros, próximos a cada uno de los extremos (altavoces 5 y 6).
- Dos encastrados en el techo, encima de los asientos delanteros, aproximadamente encima de las cabezas (altavoces 7 y 8).

La Figura 3 muestra las FRF's en cada micrófono excitando simultáneamente con los seis altavoces en el techo. La señal eléctrica era un ruido aleatorio filtrado en (0 , 512) Hz, con una amplitud tal que se midieran 101 dBA con un sonómetro a 10 cm del altavoz 3. Nótese como la zona del *booming*, entre 105 y 120 Hz está mejor cubierta en los asientos delanteros y traseros que en los intermedios.

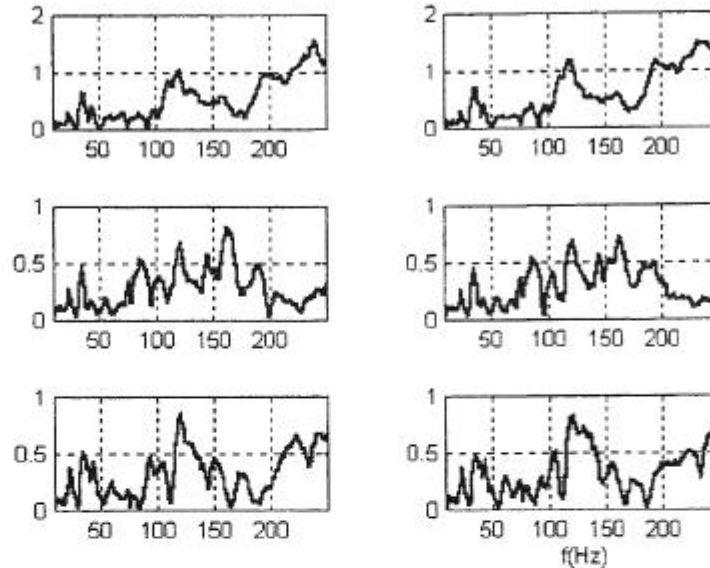


Figura 3. FRF entre los altavoces en el techo del vehículo y cada uno de los seis micrófonos del interior

#### RESUMEN Y CONCLUSIONES

Existen dos fuentes responsables del ruido en el interior del habitáculo, ambas de tipo periódico: la vibración producida por el funcionamiento (rpm) del motor y la vibración del eje trasero. Las vibraciones del motor dan lugar a una serie de armónicos enteros y no enteros, siendo el 2N el predominante. Cuando la frecuencia del orden 2N pasa a través de un modo normal del habitáculo da lugar al *booming*. En nuestro caso, el *booming* aparece entre los 105 y 125 Hz, aproximadamente, que corresponde a un régimen de rpm entre 3300 y 3800. El grupo diferencial tiene una resonancia alrededor de los 200 Hz. La señal de referencia mejor correlacionada con el ruido en el interior es la vibración longitudinal del grupo diferencial.

#### REFERENCIAS

- Bremigan, C.D., Eriksson, L.J., Eppli, R.J., and Stroup, E.S., 1995. "Future of active sound and vibration control in vehicles". In Active 95 ( Sommerfeldt and Hamada, Eds.), Noise Control Foundation, New York, pp. 791-802.
- Karkainen, H., 1991. "Active noise control system". Nissan Technology Nesline.
- Shoureshi, R., and Knurek, T., 1996. "Automotive applications of an hybrid active noise and vibration control". IEEE Control Systems, December, 72-78.
- Sutton, T.J., Elliott, S.J., Nelson, P.A., and Saunders, T.J., 1993. "The active control of harmonic and random sound in vehicles". ISVR Course Notes, University of Southampton.
- Winkler, J., Lippold, R., and Scheuren, J., 1997. "Implementation of an active noise control system in a van". In Active 97 (Elliott and Horvath, Eds), OPAFKI, Budapest, pp. 595-604.

#### AGRADECIMIENTOS

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