

## **APLICACIÓN DEL CONTROL ACTIVO A LA REDUCCIÓN DEL RUIDO EN LA CABINA DE UN AVIÓN LIGERO**

PACS: 40.50.ki

Bonnot M, Romeu J., Capdevila R., Sánchez A.  
Laboratorio de Ingeniería Acústica y Mecánica, LEAM.  
Universitat Politècnica de Catalunya.  
Doctor Pearson, 12  
08222 Terrassa  
Tel: 00 34 656 895 720  
E-mail: [marion\\_bonnot@yahoo.fr](mailto:marion_bonnot@yahoo.fr)

### **ABSTRACT**

The objective of this project is to study and to obtain an assembly of active control of sound, combining a local control, to high frequencies from 260 Hz (in diffuse field), at the level of the ears passengers, and a global control in overall the cabin, for low frequencies (from 0 to 260Hz).

The procedure is the following one:

To obtain a global control we must make a study of the acoustic field that reigns in the enclosure. This allows, first, to know exactly until as frequency can be worked in global control, and secondly, to know what amplitude to apply to the sources to optimize the reduction of the noise with active control in the cabin. To determine it, the technique of finite element analysis and contour will be used, whose results will be tested by means of experimental measures.

### **RESUMEN**

En este trabajo se trata de estudiar y de conseguir un montaje de control activo de reducción del ruido, combinando un control local, a altas frecuencias a partir de 260Hz (en campo difuso), al nivel de las orejas de los pasajeros, y un control global en toda la cabina, en baja frecuencias (desde 0 hasta 260 Hz).

El planteamiento propuesto es el siguiente:

Para conseguir un control global, tenemos que hacer un estudio del campo acústico que reina en el recinto. Esto nos permite, primero, saber exactamente hasta cual frecuencia se puede trabajar en control activo global, y segundo, saber dónde colocar las fuentes secundarias y que amplitud aplicarlas para optimizar, por control activo, la reducción del ruido en la cabina. Para ello se utilizará la técnica de análisis por elementos finitos y de contorno, cuyos resultados se contrastarán mediante medidas experimentales.

## INTRODUCCIÓN

El control activo de ruido es un tema de constante interés e investigación, debido ciertamente a las mejoras en cuanto a peso y volumen que pueden ofrecer esta técnica en el diseño de aeronaves respecto a las técnicas pasivas de control. En efecto, tales mejoras conllevan, entre otras cosas, un considerable ahorro de combustible por lo que no tardarán en implementarse en los nuevos modelos de avión (1).

Aunque el control activo presenta muchas ventajas y ha sido objeto de numerosos estudios y análisis durante los últimos años, no está todavía introducido en el mercado y se queda en vía de investigación. Sin embargo, hoy en día existen ya diferentes aplicaciones y montajes de prueba que ya obtienen resultados interesantes de reducción del ruido (ruido de baja frecuencia en conductos, en recintos, ruido estructural) (2).

Este artículo consiste en establecer un control activo global en la cabina para una frecuencia determinada, que se combinará luego con un control local. Esto equivale, por una parte con el control local, a crear zonas de silencio concretas alrededor de los reposacabezas de los pasajeros, y por otra parte con el control global, a atenuar el nivel de presión acústica del ruido de forma global, lo que necesita un diseño del sistema de control bastante complejo que toma en cuenta el campo acústico de la cabina.

## ESTRATEGIA DE CONTROL DE RUIDO: CONTROL LOCAL Y GLOBAL DEL RUIDO

La anulación del ruido por control activo se generaliza generando un nuevo ruido (*antirruído*) mediante dispositivos electroacústicos de tal forma que en una zona de interés del medio acústico, se produzca una interferencia destructiva (ondas de presión en oposición de fase).

Con tal dispositivo se intenta conseguir una disminución de nivel de presión sonora en una determinada zona del espacio (*control activo local*). El sistema puede generalizarse para un sistema múltiple, es decir, para conseguir la atenuación de varias zonas espaciales de un determinado recinto (*control activo global*). En este caso, se necesitan al menos tantos altavoces como zonas a cancelar. (3)

## METODOLOGÍA

La estrategia seguida consiste en primer parte en definir una modelización de la cabina y mallarla al fin de explotarla con programas de análisis acústica. A partir de medidas experimentales del ruido del avión, caracterizamos por simulación el campo acústico que tenemos en la cabina para un pico de frecuencia que queremos atenuar. Para esto, sustituiremos las fuentes de ruido dentro del habitáculo por fuentes puntuales equivalentes, de magnitud a determinar como sigue en el procedimiento.

La segunda parte consiste en utilizar estos resultados para realizar el control global.

### Simulación del campo acústico de la cabina

#### Procedimiento

La presión acústica se define por:

$$\{p_n(x_n)\} = \sum_j \sum_i \frac{\omega \rho_0 c_0^2}{V[\omega c_0 D_i + j(\omega^2 - \omega_i^2)]} \Psi_i^n(x_n) \Psi_k^i(y_j) q_j, \text{ i modos, j fuentes}$$

o sea

$$\{p\} = [\alpha_i \Phi_i] [\Phi_j] \{a\}$$

$$n \times 1 = [n \times k] [k \times N] [N \times 1] \text{ con } k \text{ modos, } N \text{ fuentes y } n \text{ puntos}$$

así que tenemos:

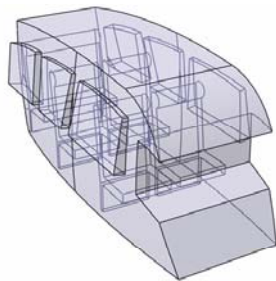
$$\begin{Bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha_1 \phi_{11}^p \alpha_2 \phi_{12}^p \dots \alpha_k \phi_{1k}^p & \phi_{11}^q \phi_{12}^q \dots \phi_{1N}^q \\ \alpha_1 \phi_{21}^p \dots \alpha_k \phi_{2k}^p & \phi_{21}^q \dots \phi_{2N}^q \\ \alpha_1 \phi_{31}^p & \phi_{31}^q \\ \vdots & \vdots \\ \alpha_1 \phi_{n1}^p \alpha_2 \phi_{n2}^p \dots \alpha_k \phi_{nk}^p & \phi_{k1}^q \phi_{k2}^q \dots \phi_{kN}^q \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_N \end{Bmatrix} \quad [1]$$

*receptores*
*fuentes*

Lo que tenemos que calcular es la matriz de las amplitudes  $\{a\}$  para conocer exactamente los niveles de presión que hay en la cabina para una cierta frecuencia con el fin de optimizar la colocación de las fuentes para un control global a esta frecuencia. Por eso tenemos que definir por simulación y medidas experimentales las matrices de la ecuación [1]. Obtenemos, por simulación con Nastran, las matrices de los receptores y las de las fuentes, y por parte experimental el vector de las presiones.

Modelización y malla de la cabina

En primer lugar, realizamos con **CATIA** una modelización de la cabina del avión que importamos luego al programa **ANSA** para hacer la grid de la cabina con el fin de extraer los modos propios de la cabina y simular con **Virtual\_Lab** el campo acústico de la cabina.



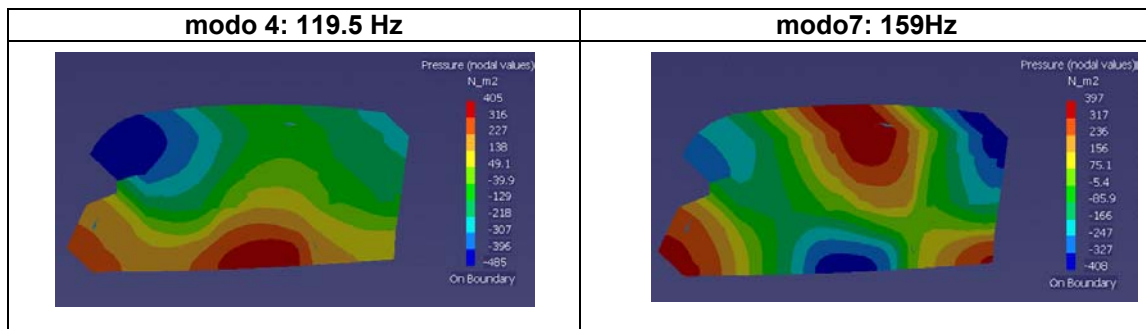
- Modelización de la cabina -



- Grid de la cabina -

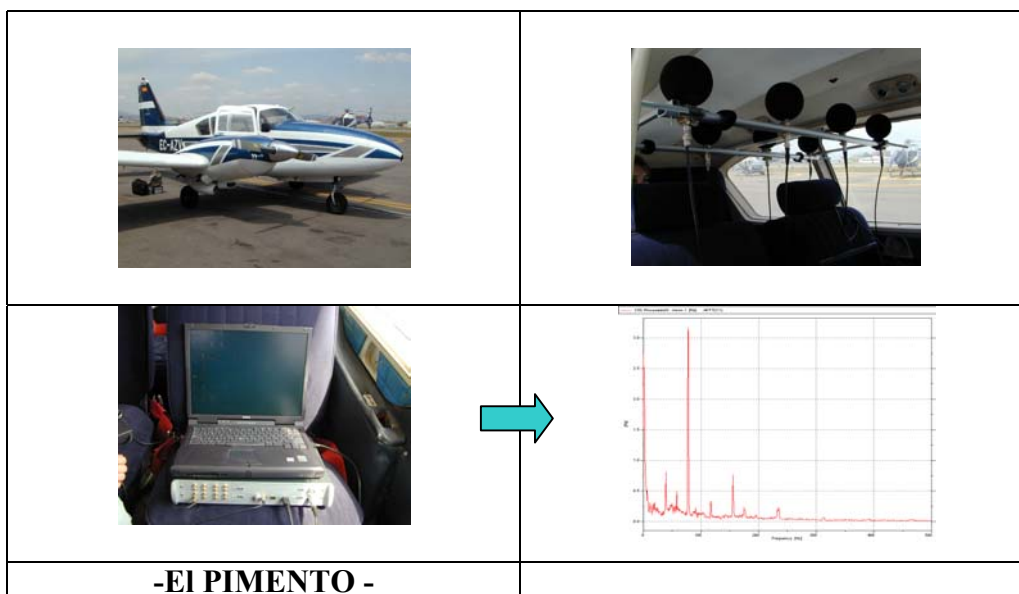
Análisis FEM

Con **Virtual\_Lab**, sacamos primero los modos propios de la cabina:



### Medida experimental de ruido del avión

Esta parte experimental consiste en medir, con micrófonos, la presión en vuelo en diferentes puntos de la cabina.



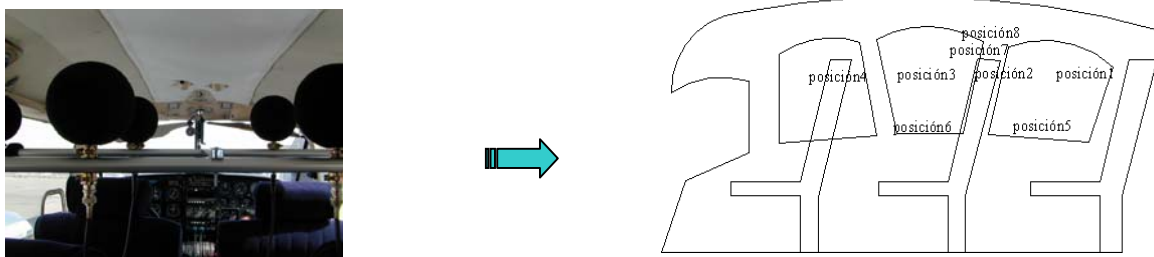
**-EI PIMENTO -**

Nos permite destacar los picos de frecuencia que tenemos que atenuar por control activo:

<b>Picos de frecuencia</b>	<b>77.5</b>	<b>116</b>	<b>155.6</b>	<b>232.5</b>	<b>389</b>
<b>Números de modos</b>	7	16	30	>40	

### Cálculo de la presión sonora

Para cubrir un máximo el espacio de la cabina disponemos de una red de micrófonos que colocamos a varias posiciones. Para analizar el señal, los micrófonos son conectados a un portátil equipado por el programa, el **PIMENTO**, que procesa los datos, lo que nos proporciona el vector de las presiones de la ecuación [1].



### Cálculo de la matriz de los receptores y de las fuentes

Los términos  $\Psi_i^n(x_n)$  y  $\Psi_k^i(y_j)$  que intervienen en la ecuación [1] son las funciones de onda del modo n en los puntos  $x_n$  y  $y_j$  respectivamente con  $y_j$  la posición de la fuente j y se obtienen a partir de los cálculos de los modos propios generado por Nastran cuando definimos la malla de la cabina.

## Realización del control activo global

Primero determinamos con Virtual\_Lab la aportación de cada modo a la frecuencia que queremos atenuar por control activo. Esta información nos la proporcionan los **Modals Participation Factors**, que representan el peso relativo de cada modo para una excitación particular.

Así se pueden determinar cuales son los modos que intervienen lo más y así definir el número de sensores y captosres que tenemos que utilizar para realizar el montaje de control activo.

La simulación del control global con Virtual\_Lab, consiste luego en aplicar en las fuentes de la simulación, fuentes de misma amplitud pero desfasadas y estudiar su respuesta acústica al nivel de los micrófonos.

## RESULTADOS

### Resultados experimentales

- Medidas de vuelo procesadas con el Pimento
- Cálculos de las funciones modales con Nastran

Posición 1 micro 1		
frecuencia (Hz)	amplitud [Pa]	Phase (rad)
77,5	2,9868	-2,744704782
116	0,1341	-0,4134685
155,6	0,899	1,7821557
232,5	0,1144	-2,36858633
389	0,0294	2,62654599

modos	micro 1.1	fuentes1
1	1	1
2	-0,7304	-0,8596
3	0,2133	0,3706
4	0,326	0,4522
5	-0,3437	-0,4224
6	0,5851	0,5619

### Cálculos numéricos

- El factor  $\frac{\omega \rho_0 c_0^2}{V [\omega c_0 D_i + j(\omega^2 - \omega_i^2)]}$  de la ecuación [1] depende de los modos y varía de la manera siguiente:

modo 1	0,967-69,227
modo 2	4,473-148,853i
modo 3	1,646+90,324i
modo 4	0,509+50,258i
modo 5	0,28+37,281i
modo 6	0,124+24,762i

- Para un volumen de  $V = 4.2m^3$  de la cabina, obtenemos el vector de velocidad de volumen de las fuentes en  $m^3/s$  que sigue:

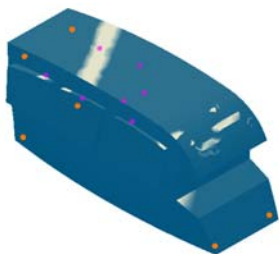
$$\begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0079 - 0.0008i \\ -0.0077 + 0.001i \\ -0.0509 - 0.0188i \\ 0.0506 + 0.0186i \\ 0.0475 + 0.0207i \\ -0.0474 - 0.0206i \end{bmatrix}$$

### **Resultados de la simulación de control activo**

- Tenemos los “Modals Participations Factors” siguiente:

	fuente1	fuente2	fuente3	fuente4	fuente5	fuente6
modo1	11,80%	11,56%	9,14%	9,15%	7,26%	7,24%
modo2	36,94%	35,79%	30,38%	30,48%	28,73%	28,61%
modo3	11,68%	12,09%	12,27%	12,35%	24,15%	24,16%
modo4	7,08%	7,42%	4,19%	4,17%	6,57%	6,54%
modo5	6,82%	7,25%	13,40%	13,45%	4,57%	4,58%
modo6	2,62%	2,39%	2,17%	2,21%	2,16%	2,18%

- Si hacemos un control con 4 fuentes secundarias, obtenemos la atenuación siguiente:



sin control	Con control	Attenuation
102,590627	100,237774	2,35285338
100,323145	100,345387	-0,02224234
108,275213	95,0228028	13,2524098
105,647838	65,7892559	39,8585823
95,5342241	86,8476684	8,68655565
107,186519	69,8867041	37,2998149

### **CONCLUSIONES**

- La simulación del campo acústico con Virtual\_Lab nos da errores aceptables de más o menos 3 dB de presión con respecto a las medidas experimentales de los micrófonos.
- Este resultado se puede extender a todos los nodos de la malla y así obtenemos el campo acústico que reina en todo el habitáculo.
- Los porcentajes obtenidos por los Modals Participation Factors nos permite concluir que sólo 4 fuentes secundarias serán necesarias para realizar un control global.
- El control global nos da una atenuación interesante, en particular en los puntos en el que el nivel de presión ya es muy alto.

## REFERENCIAS

- (1) Mínguez A., Ingeniería Avanzada para Sistemas de Control de Ruido Acústico mediante Técnicas Adaptativas, Ph. Thesis, ETSIT-UPM, Madrid 1998
- (2) Pedro Cobo Parra "Control activo del ruido. Principios y aplicaciones". Consejo Superior de Investigación Científicas. MADRID, 1997
- (3) P.A Nelson y S.J Elliott "Active Control of Sound". Institute of Sound and Vibration Research, The University, Southampton, UK.