

## **CONTROL ACTIVO DE TRANSMISIÓN DE RUIDO CAUSADO POR SOBREVEUELO DE AERONAVES TRANSMITIDO POR UNA APERTURA EN FACHADA**

PACS: 43.50.Ki

Pàmies, Teresa; Romeu, Jordi; Genescà, Meritxell; Arcos, Robert  
Laboratorio de Ingeniería Acústica y Mecánica (LEAM)  
Departamento de Ingeniería Mecánica  
Universidad Politécnica de Catalunya  
Colom 11  
08222 Terrassa, España.  
E-mail: jordi.romeu@upc.edu

### **ABSTRACT**

This paper presents an experimental study based on the active control of sound transmission through narrow opening of a casement window below. the main objective of the paper is to demonstrate the feasibility of the technique used to limit the loss of attenuation opening windows and its application to the noise produced by overflying aircraft. the experimental window is placed on the facade of a house near an airport and active control is configured to drop the pressure in the opening using and adaptive feedforward only input and output, getting reduced sound transmission whithout increase noise levels elsewhere.

### **RESUMEN**

Este artículo presenta un trabajo experimental basado en el control activo de la transmisión del sonido mediante la apertura restringida de una ventana abatible inferior. se desea demostrar que la viabilidad de la técnica activa para limitar la pérdida de atenuación debida a la abertura de ventanas y su aplicación sobre el ruido que produce el sobrevuelo de aeronaves. la ventana experimental se coloca en la fachada de una vivienda cerca de un aeropuerto que esté sujeta a dicho ruido mientras que el control activo está configurado para cancelar la presión en la abertura utilizando un sistema adaptativo de alimentación directa de entrada y salida única.

### **INTRODUCCIÓN**

Uno de los procedimientos habituales para reducir el impacto del ruido producido por las aeronaves de un aeropuerto y sus alrededores es aumentar el aislamiento acústico de las viviendas afectadas. Lo más común es remplazando las ventanas pero el inconveniente de esta solución es que sólo funciona cuando las ventanas están cerradas, lo cual es incompatible con la necesidad de ventilación natural en muchas áreas de las habitaciones [1]. La ventilación necesaria puede lograrse mediante aberturas en las paredes, pero esto debilita aún más el aislamiento acústico de estas.

El control activo puede considerarse como una opción viable. Algunos enfoques teóricos consideran dicha abertura como un conducto, reduciendo el problema a una cancelación de ondas planas [2]. Algunos experimentos basados en este principio han dado una atenuación exitosa, pero los dispositivos activos requeridos son relativamente voluminosos [3,4].

Este trabajo presenta los resultados de una aplicación experimental basada en la técnica de control activo sobre una ventana abatible inferior, comercial y situada en una vivienda afectada por el ruido del sobrevuelo de aviones.

## 2. METODOLOGÍA

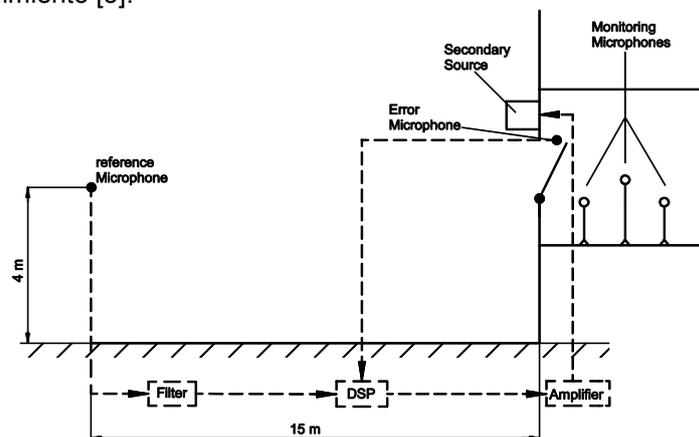
### 2.1. DESCRIPCIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

El sitio experimental se encuentra en las proximidades del aeropuerto de Malpensa (Milán), en una vivienda ubicada a 550 metros de la línea central de la pista principal. El nivel de ruido en la vivienda durante el evento de sobrevuelo por lo general alcanza un valor máximo de  $L_{max}$  de 70 dB (A) y el tiempo medio del sonido es de unos 30 segundos.

La ventana de prueba se encuentra en la fachada de vivienda orientada a la pista de aterrizaje y la prueba se llevó a cabo sólo en condiciones de despegue de aviones.

### 2.2 SISTEMA DE CONTROL ACTIVO DE RUIDO

Para reducir la transmisión de ruido a través de la sección abierta de la ventana se elige una estrategia *feedforward* de control adaptativo (Figura 1) con el algoritmo FXLMS. Este algoritmo puede rastrear rápidamente los cambios en la señal primaria, es bastante robusto a errores y es relativamente fácil de implementar. Además, ha demostrado ser eficaz en el caso de fuentes de sonido en movimiento [5].



**Figura 1:** Esquema del sistema de control activo de ruido.

El micrófono de referencia se encuentra a una distancia de 15 metros por delante de la fachada de la vivienda, hacia la fuente de ruido, y la fuente secundaria y micrófono de error se colocan cerca de la ventana. La distancia entre el micrófono de referencia y la fuente secundaria asegura que el sistema sea causal, en virtud del tiempo de propagación (suponiendo que la fuente es casi perpendicular a la fachada) del sonido entre el micrófono de referencia y el altavoz secundario siendo mayor que el tiempo necesario por el DSP para procesar la señal de aproximadamente 6 ms (de acuerdo con las instrucciones del fabricante). Esta distancia es claramente mayor que la de la fuente secundaria hasta el micrófono de error, asegurándose de que no hay efecto de retroalimentación. El micrófono de referencia está colocado a 4 m de

altura, a fin de reducir el efecto de reflexión en el suelo aunque, debido al bajo ángulo de elevación de la aeronave en su ruta, algún efecto es inevitable [6].

### 2.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La evaluación de la atenuación proporcionada por el sistema de control activo podría hacerse siguiendo los procedimientos experimentales estándar basados en una fuente de sonido fija (altavoz) para determinar experimentalmente el aislamiento de la fachada [7]. No obstante, los resultados no representarían el verdadero rendimiento del sistema activo. En primer lugar, el ángulo de incidencia del ruido (primario) no es constante. En segundo lugar, los espectros de frecuencia del ruido cambian en función del tipo de aeronave. En tercer lugar, hay diferentes trayectorias de propagación del ruido en el ambiente [8, 9]. Teniendo en cuenta estos factores, la Diferencia del nivel de exposición sonora estandarizado,  $D_{at,E2m,nT}$  [13] se utiliza como criterio de evaluación para el aislamiento acústico al ruido aéreo y el rendimiento del control activo.  $D_{at,E2m,nT}$  se define como:

$$D_{at,E2m,nT} = L_{E1,2m} - L_{E2} + 10 \log(T/T_0)$$

Donde  $L_{E1,2m}$  es el nivel de exposición al ruido exterior 2 m por delante de la fachada;  $L_{E2}$  es el nivel de exposición sonora promediada en espacio en la sala de recepción.  $T$  es el tiempo de reverberación en la sala de recepción y  $T_0 = 0.5$  s. El nivel de exposición de sonido ( $L_E$ ) se define como el nivel de sonido constante que tiene la misma cantidad de energía en un segundo que el evento de ruido original, y se calcula mediante la integración de la energía del sonido total sobre el período del evento:

$$L_E = 10 \log \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt$$

Donde  $p(t)$  es la presión acústica instantánea,  $t_2 - t_1$  es el intervalo de tiempo en el que el evento es significativo y  $p_0$  es el valor de referencia  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa. Los resultados obtenidos son compatibles con la métrica  $L_{eq}$  (la única diferencia es el tiempo de promedio).

El nivel de ruido exterior se mide por el micrófono de referencia. La medición de la presión de sonido en la sala se llevó a cabo siguiendo el procedimiento estándar [7]: grabando la señal de audio simultáneamente con 3 micrófonos interiores dispuestos en diferentes posiciones y alturas dentro de la sala de recepción. Los valores representativos de  $D_{at,E2m,nT}$  están calculados para los casos de referencia con la ventana cerrada  $D_{at,E2m,nT,c}$  y parcialmente abierta  $D_{at,E2m,nT,o}$ .

El rendimiento del sistema de control activo se evalúa en términos de la pérdida de transmisión incrementales ( $TL$ ) en relación con el caso de la ventana parcialmente abierta, que se define por la expresión

$$TL_{anc} = D_{at,E2m,nT,anc} - D_{at,E2m,nT,o}$$

Donde  $D_{at,E2m,nT,anc}$  es la diferencia de nivel estandarizada cuando la ventana está parcialmente abierta y el sistema de control está funcionando.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados promediados de la diferencia de nivel normalizado para diferentes situaciones se presentan en la Tabla 1. Los valores de  $D_{at,E2m,nT,anc}$  son mayores que el  $D_{at,E2m,nT,o}$  en todo el rango de frecuencia de interés.

Dado que la mayoría de la atenuación se logra en el rango de baja frecuencia, donde el ruido puede ser más molesto [10], puede ser también útil evaluar la reducción del contenido en el rango de baja frecuencia usando un indicador específico como por ejemplo el procedimiento definido por el método danés nacional [11]. El contenido en la región de baja frecuencia se define por  $L_{pA,LF}$  que es la suma del nivel ponderado desde 10 Hz a 160 Hz medido por bandas de tercio de octava. Los criterios para los niveles máximos de ruido internos oscilan entre 20 y 30 dB dependiendo del período del día y el uso de la habitación. Los valores de  $L_{pA,LF}$  en caso de cierre de la ventana, ventana abierta y ventana de control activo son 22.5, 28.9 y 26 dB, respectivamente. Esto significa que la aplicación de control activo se recupera la pérdida de aislamiento alrededor de un 50% y puede ayudar a reducir la molestia debido a componentes de baja frecuencia de una manera significativa.

Teniendo en cuenta los valores de atenuación esperados, los resultados de la Tabla 1 son bastante satisfactorios, sobre todo en para baja frecuencia en las bandas de tercio de octava de 100 Hz y 125 Hz. A estas frecuencias, el efecto del control activo es la de limitar la energía transmitida a través de la abertura de la ventana a menos del 50% del caso de ventana abierta. La pérdida de transmisión en el rango de frecuencias en bandas de tercio de octava entre 160 Hz y 250 Hz es claramente más pobre y aunque se espera una reducción en el rendimiento del sistema de control activo de ruido, la reducción evidencia algunos efectos incontrolados debido a los incrementos de pérdida de transmisión de nuevo en la banda de tercio de octava de 315 Hz y en las frecuencias más altas.

Frequency	$D_{at,E2m,nT,c}$	$D_{at,E2m,nT,o}$	$D_{at,E2m,nT,anc}$	TL
80	14	8.9	10.9	2
100	16.9	7.3	12.5	5.2 <sup>F</sup>
125	17.8	8	12.1	4.1
160	14.2	8.3	9.3	1
200	16.4	8.5	9.2	0.7
250	21.6	8.5	9	0.5
315	20.9	10.7	12.8	2.1
400	29.2	12.4	15.6	3.2
500	30.8	13	16.3	3.3

**Tabla 1:** Diferencia de niveles estandarizada para diferentes situaciones y pérdida de transmisión debido al sistema de control activo.

### 4. CONCLUSIONES

El uso de la cancelación activa es especialmente eficaz en el rango de baja frecuencia (100 Hz y 125 Hz en bandas de tercio de octava), recuperando una parte significativa de pérdida de eficacia de aislamiento debido a la presencia de una abertura cuando la ventana se abre parcialmente.

El sistema de control propuesto se puede aplicar en cualquier tipo de ventana abatible con el mínimo impacto visual en la fachada y con el mínimo esfuerzo. El dispositivo propuesto debe

permitir la ventilación natural de los espacios interiores que limitan la pérdida de aislamiento del ruido debido a la apertura de las ventanas. Por lo tanto, no hay necesidad de conductos adicionales o aberturas de ventilación y el consumo de electricidad será despreciable.

## REFERENCIAS

- [1] Montazami A., Wilson M., Nicol F. Aircraft noise, overheating and poor air quality in classrooms in London primary schools. *Building and Environment* 2012; 52: 129-141.
- [2] Chen K. An adaptive active control of sound transmission through an aperture at low frequencies *Appl. Acoust.* 1995; 46: 153-174.
- [3] Cuesta M., Cobo P. Optimisation of an active control system to reduce the exhaust noise radiated by a small generator. *Appl. Acoust.* 2001; 62: 513-526.
- [4] Maillard J., Guigou-Carter C., Ducruet P., Martin C. Hybrid window for natural ventilation in buildings near airports, in the CD-ROM: *Proceedings of Euronoise 2006*. Tempere, 2006.
- [5] Roure A. Active noise control of a moving source, in *proceedings of Active 2002*, 181-190.
- [6] ISO, ISO 20906:2009. Acoustics -- Unattended monitoring of aircraft sound in the vicinity of airports, (2009).
- [7] ISO 140-5:1998. Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades.
- [8] Sanchidrian C. D. Gonzalez A. P. A comparison of two global methods of measuring the in situ airborne sound insulation of facades, using loudspeakers and air traffic noise. *ActaAcustica united with Acustica* 2004; 90: 777-780.
- [9] Myung-Jun Kim, Ha-Geun Kim, Field measurements of façade sound insulation in residential buildings with balcony windows. *Building and Environment* 2007; 42: 1026-1035.
- [10] Torija A. J., Ruiz D. P., De Coensel B., Botteldooren D., Berglund B., Ramos-Ridao A., Relationship between road and railway noise annoyance and overall indoor sound exposure. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 2011; 16: 15-22.
- [11] Jakobsen, J. Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasound and vibration. *J. Low Frequency Noise* 2001; 20: 141-148.