



VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008
Buenos Aires, 5, 6 y 7 de noviembre de 2008

FIA2008-A001

Claves en el diseño acústico de ventilación transversal subterránea

José Luis Sánchez Ayuso^(a)

(a) Greenback, Vivero de Empresas del Parque Científico de la Universidad Carlos III. Av. del Mar Mediterraneo 22, Leganés, Madrid, España. www.greenback.es E-mail: jl.sanchez@coitt.es

Abstract

For several years, the ventilation of great volumes associated with the underground transport more and more is extended. Or it is for rolled traffic or railroad is necessary to extract and to introduce air in the tunnels. This operation force mechanically by means of great ventilators. This ventilators are great sources of noise that propagates by the tunnel, but also by the galleries until the street. The annoyances originated in the surroundings of the unloading grids are evident, and the norm is more and more strict. The solutions to attenuate the noise have evolved, but a sensibilización with the real necessities that does not exist it imposes the always conditional technique by the costs and the existing physical space. In this communication we will try to expose our experience of more than 15 years in solving this problematic one, than 300 cases more studied. In special, the different characteristic parameters that they can determine the benefits of a passive silencer of parallel baffles. As well as the new developments in active control of noise that we have experimented.

Resumen

Desde hace varios años, la ventilación de grandes caudales asociada al transporte subterráneo está cada vez más extendida. Bien sea para tráfico rodado o ferrocarril es necesario extraer e introducir aire en los túneles. Dicha operación se fuerza mecánicamente mediante grandes ventiladores. Esto ventiladores son grandes fuentes de ruido que se propaga por el túnel, pero también por las galerías hasta la calle. Las molestias originadas en el entorno de las rejillas de descarga son evidentes, y la normativa es cada vez más estricta. Las soluciones para atenuar el ruido han evolucionado, pero no existe una sensibilización con las necesidades reales que impone la técnica siempre condicionada por los costes y el espacio físico existente. En esta comunicación intentaremos exponer nuestra experiencia de más de 15 años en resolver esta problemática, más de 300 casos estudiados. En especial, los diferentes parámetros característicos que pueden determinar las prestaciones de un silenciador pasivo de baffles paralelos. Así como los nuevos desarrollos en control activo de ruido que hemos experimentado.

1 Introducción

El ruido ambiental es uno de los problemas de contaminación a los que se enfrenta la Sociedad moderna, especialmente en las grandes ciudades. El transporte constituye una de las fuentes de ruido más importantes.

En un análisis somero pudiéramos pensar que al enterrar el tráfico, solucionamos el problema del ruido. Pero esto no es del todo cierto, apareciendo dos caminos de transmisión:

- vía sólida alcanzando los cimientos de los edificios cercanos: generando vibraciones y ruido aéreo en el interior de los recintos.
- vía aérea a través de los sistemas de ventilación que conectan el túnel con la superficie.

En esta exposición nos centraremos en el segundo camino, y en particular, cuando la ventilación se fuerza mecánicamente mediante ventiladores, constituyéndose así en una nueva fuente aún más importante que el propio tráfico soterrado.

2 El horario de funcionamiento

Estas consideraciones pueden ser aplicadas a sistemas ferroviarios o de tráfico rodado. En el caso del ferrocarril el horario puede ser restringido durante la noche sin afectar en mayor medida a la explotación del servicio, que normalmente habrá disminuido o suprimido a efectos de mantenimiento. En cambio, en tráfico rodado es habitual detectar horas punta en las primeras horas del día, que requieran gran capacidad de dilución en bandas horarias aún nocturnas. Este elemento es importante pues puede haber 10 dB de diferencia entre el requerimiento de niveles sonoros máximos nocturnos y diurnos. Permitiendo la primera solución posible mediante un protocolo automático de utilización de la instalación que garantice de forma inequívoca y automática, el paro o el uso en velocidades poco ruidosas en horario nocturno.

3 El punto de descarga

La elección del encuentro entre el pozo y la calle es también vital. En la fase de diseño es relativamente fácil desplazar el pozo de ataque al túnel en el entorno del punto kilométrico que garantiza un barrido adecuado del mismo. Se deben evitar colocarlos: muy cerca de edificios sensibles y en tramas urbanas estrechas. Por el contrario, resulta adecuado implantarlos en zonas:

- con ruido de fondo elevado de otro origen (tráfico, industria, fuentes de agua ornamentales, etc).
- Con trama urbana despejada: calzadas y plazas amplias.
- Dotadas de firmes blandos y absorbentes.

4 La velocidad de trasiego

La velocidad a la que movemos el aire va a ser el siguiente elemento clave. No debemos olvidar que un flujo al atravesar cualquier accidente de una conducción (rejilla, estrechamiento, expansión, cambio de dirección, etc.) regenera ruido. Hay dos puntos que van a condicionar el nivel mínimo de ruido que podemos alcanzar:

- La rejilla de descarga a la calle, donde es habitual alcanzar velocidades de 5 m/s y, por lo tanto, niveles sonoros de unos 45 dBA en el entorno próximo.
- La salida del silenciador pasivo que estudiaremos a continuación, donde es habitual alcanzar velocidades de 15 m/s y, por lo tanto, niveles sonoros de unos 65 dBA en el entorno próximo.

Velocidades inferiores son difícilmente conseguibles por problemas económicos pues requieren grandes secciones de galerías y de pozos. En las rejillas de calle no suelen resultar efectivos los ensanchamientos en el recorrido final, salvo que se aborde desde más de 8 metros de la cota de calle. Velocidades superiores en los silenciadores implican disparar la pérdida de presión disponible, proporcional a la relación cuadrática de velocidades. Y por lo tanto, elevar la potencia sonora de la fuente que proporciona empuje al aire: el ventilador.

5 La fuente de ruido: los ventiladores

Resulta fundamental seleccionar un ventilador de forma adecuada. Normalmente se trabaja con axiales, pues presentan mejor rendimiento que los centrífugos para igual caudal y presión. Para ello se pueden tener en cuenta las siguientes pautas para conseguir un equipo con una potencia acústica adecuada:

- Reducir el régimen de vueltas al mínimo posible para alcanzar el punto de trabajo. Si es necesaria una velocidad de emergencia, debemos recordar que su emisión sonora no debe preocuparnos pues la normativa no debe sancionarla. Puede ser muy útil un control de la velocidad.
- Reducir la potencia del motor, que unido a lo anterior conduce a un diseño cuidado del equipo y sobredimensionado del mismo.
- Es difícil evitar que la frecuencia propia del ventilador ($f_p = \text{rpm} \cdot n^\circ\text{palas} / 60$) se encuentre en zonas de baja atenuación o especial sensibilidad (100 – 200 Hz). Un número de palas primo puede redundar en no amplificar los armónicos. Los enderezadores de flujo, conos difusores absorbentes y núcleos resonadores pueden reducir notablemente la emisión sonora.

Muchas veces es tan importante la reducción de nivel como el espectro en frecuencia resultante, que facilite su atenuación posterior.

6 La conducción, forma y dimensiones

Aunque tiene menor relevancia y estará supeditada a las necesidades de diseño del propio túnel, conviene saber que:

- Las formas rectangulares pueden generar modos propios que caso de coincidir con las frecuencias del ventilador los amplifiquen.
- A mayor longitud y dimensiones mayor atenuación.

7 El silenciador pasivo

Sin lugar a dudas se trata del elemento fundamental para corregir la emisión sonora de la fuente. Normalmente se recurre a un sistema de baffles paralelos de material absorbente (fibra mineral o similar) donde en diseño podemos variar:

- Paso de aire: mejora la atenuación en todas las bandas al aumentarlo.
- Longitud: mejora la atenuación en todas las bandas al aumentarlo.
- Espesor del baffle: mejora la atenuación en baja frecuencia al aumentarlo.
- Composición del baffle: mayor atenuación en baja frecuencia a menor densidad.
- Terminación del baffle en el paso:
- Membrana lisa de espesor menor de 0.5 mm, mejora la atenuación en baja frecuencia.
- Panel perforado en presentaciones comerciales no se detecta variaciones de la atenuación, pero protege el baffle y resulta aconsejable a más de 14 m/s para evitar la pérdida de partículas y arrastre del material absorbente. Indispensable a más de 17 m/s.
- Terminación del baffle en la colisa frontal, reduce el ruido aerodinámico y la pérdida de presión disponible. El corte seccional del baffle, se debe asemejar en la medida de lo posible a la forma de una gota de agua: redondeado en la entrada y puntiagudo en la salida.

No debemos olvidarnos que la pérdida de presión disponible que introduce en el sistema guarda relación inversa con las variables que introducen atenuación. Será necesaria potenciar la fuente y generar más ruido, si la selección es muy exigente.

Resulta clave que los paramentos divisorios y los accesos presenten aislamientos, al menos 10 dB superiores a los esperados para el silenciador. Esto hace aconsejable la instalación de sendas puertas acústicas separadas por un vestíbulo a la entrada y salida del silenciador. La estanqueidad de los paramentos respecto a la galería debe ser cuidada respetando otras instalaciones: columna seca, desagües, etc y su composición al menos debe ser de fábrica de ladrillo de ½ pie o panel sándwich de elevadas prestaciones acústicas.

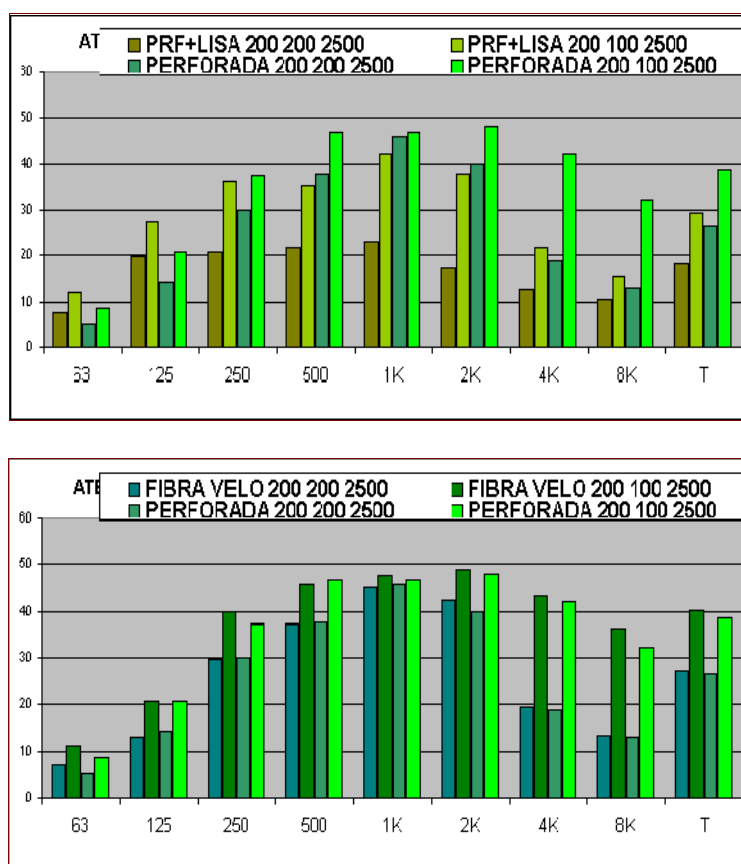


Figura 1. Atenuación de diferentes configuraciones de silenciador de baffles paralelos presentadas en bandas de frecuencia de octava (eje horizontal) y expresada en dB (eje vertical).

8 Tratamientos absorbentes

Se pueden utilizar como soluciones correctoras, pero su eficacia sólo se manifiesta en media y alta frecuencia, aguas abajo del silenciador. Es decir, zonas del espectro donde no radica finalmente el problema. La atenuación no mejorará en más de 2 dB, salvo que se realice en el pozo de forma intensiva. Normalmente se recurre a un sistema de baffles paralelos de paneles absorbentes (fibra mineral o similar) protegidos con bandejas perforada donde podemos aplicarlo en las salas anterior y, mejor aún, posterior al silenciador. Cuando la atenuación del silenciador es baja pues la relación paso/baffle es poco exigente (50%), está bien prescrito pudiendo mejorar hasta en 6/8 dB el resultado final. Una ejecución detallista no tiene mayores resultados, pudiendo prescindir de aquellas superficies que compliquen la ejecución si no son comparables a la superficie total tratada.

9 Control activo de ruido

El avance normativo plantea un horizonte donde se penalice la tonalidad (resalte de unas frecuencias respecto a las laterales) y el contenido en baja frecuencia. La capacidad de

estos sistemas para cancelar los efectos de la frecuencia propia del ventilador en la banda de 125 Hz les convierte en complementos ideales de la solución pasiva. Pudiendo mejorar la situación hasta en 12 dB.

Su implantación requiere de un estudio pormenorizado, riguroso y particular de cada estación de ventilación, pudiendo incorporarlo el propio ventilador o como medida correctora. Resulta clave la selección de los transductores como primer elemento de la cadena para conseguir una cancelación efectiva en todo el frente de onda: calidad de la respuesta, ubicación, comportamiento en el medio hostil, etc. Pueden ser necesarios varios altavoces y micrófonos de error, así como diseños resonadores. La coherencia entre señales y los posibles recorridos en estaciones con más de una fuente de ruido idéntica dificulta los resultados a obtener.

10 Soluciones reactivas

Mediante cambios de sección es posible combatir las bajas frecuencias de forma selectiva, donde podemos reducir hasta 15 dB. Su principal obstáculo es la pérdida de presión añadida y la especificidad de su aplicación a cada ventilador, requiriendo a veces el espacio que necesita el silenciador pasivo, sin llegar a sustituirle por completo.

11 Conclusiones

En resumen, las principales mejoras que podremos conseguir serían:

- Temporizar el uso nocturno hasta 10 dB por menor restricción normativa.
- Elegir el punto de descarga en tramas urbanas amplias hasta 6 dB al evitar reflexiones.
- Elegir el punto de descarga en zonas ruidosas calificadas hasta 15 dB por menor restricción normativa
- Elegir el punto de descarga en zonas ruidosas no calificadas permite enmascarar la emisión y paliar la molestia.
- Reducir la velocidad de descarga en rejilla por debajo de 5 m/s permite bajar el nivel de presión sonora por debajo de 45 dBA en su entorno próximo.
- Bajar el régimen de vueltas de 1000 a 750 rpm en un mismo equipo, reduce en unos 10 dB la emisión sonora. Ventiladores pequeños pueden emitir más ruido que ventiladores grandes.
- La atenuación por recorrido aguas arriba desde el silenciador hacia la calle es de unos 20 dB. Duplicar la profundidad desde unos 10 metros permite atenuar unos 3 dB/2r salvo tratamientos absorbentes del pozo.
- La atenuación de silenciador es de unos 20 dB para relaciones paso/bafle del 50% y 2500 mm de longitud. Relaciones más exigentes (30% paso y 5000 mm de longitud pueden mejorar la atenuación hasta 35/40 dB).
- Los tratamientos absorbentes no aportan mejoras superiores a 2 dB salvo como complemento a silenciadores de baja eficacia en cuyo caso pueden alcanzar los 8 dB.
- Mediante Control Activo de ruido como complemento a la solución pasiva hasta 12 dB por menor penalización normativa y mejora en baja frecuencia.

Los fabricantes de silenciadores acostumbran a facilitar el comportamiento de sus equipos en situaciones de laboratorio, pero en condiciones de servicio las diferencias pueden llegar a ser muy grandes. Especialmente en media y alta frecuencia no se alcanzan las atenuaciones ofrecidas, algunos las limitan a 50 dB lo cual puede parecer acertado. Esto se debe a:

- La regeneración de ruido a la salida del silenciador pues las dimensiones de la superficie radiante y el número de pasos de aire incrementan la potencia sonora.
- Las ejecuciones suelen presentar deficiencias en la estanqueidad y homogeneidad de la solución proyectada.

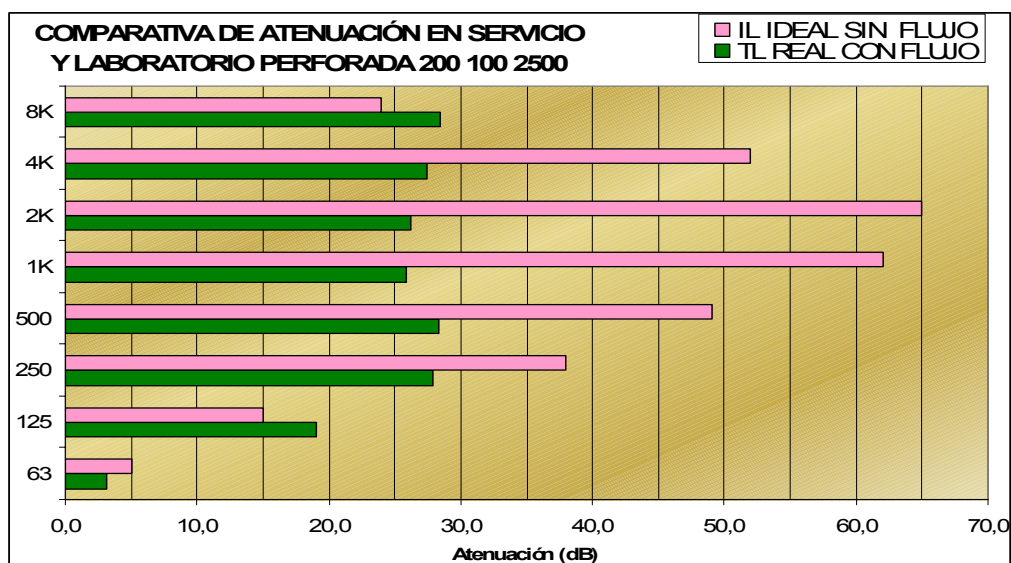


Figura 1. Atenuación de una misma configuración de silenciador de baffles paralelos presentadas en bandas de frecuencia de octava (eje horizontal) y expresada en dB (eje vertical).

PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

El conjunto de criterios expuestos es el resultado de evaluar las pérdidas de transmisión a posteriori de la ejecución de más de 300 silenciadores. Adicionalmente se han realizado 2 series de ensayos en laboratorio de pérdidas de inserción siguiendo las recomendaciones establecidas por la norma UNE-EN ISO 11.691:1995.

Las condiciones en que se han realizado las medidas de campo impiden conferir al método plena trazabilidad y repetitibilidad en todas las bandas de frecuencia. De ahí que no se haya querido correlacionar valores de atenuación con parámetros dimensionales mediante tablas numéricas.

Referencias

- J. Barrie Graham and Robert M. Hoover, (1991) Fan Noise, Chap. 41 of the Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control (ed. Cyril M. Harris), Third Edition, McGraw Hill, 1 New York.
- Robert M Hoover and Warren E. Blazier, (1991) Noise Control in Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Systems. Chap. 41 of the Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control (ed. Cyril M. Harris), Third Edition, McGraw Hill, 1 New York.
- R. Ramakrishnan and W.R. Watson (1992) "Design curves for rectangular splitter silencers," Appl. Acoust. 35, 1-24.
- Cummings and N. Sormaz (1993) "Acoustic attenuation in dissipative splitter silencers containing mean fluid flow," J. Sound Vib. 168, 209-227.
- R. Ramakrishnan and R. Stevens (1994) "Improving the accuracy of duct insertion loss predictions," J. Sound Vib. 169, 423-427.
- A. Cummings and R.J. Astley (1995) "Effects of flanking transmission on sound attenuation in lined ducts," J. Sound Vib. 179, 617-646.
- European Standard EN ISO 11691:1995 (1995) "Measurement of insertion loss of ducted silencers without. Laboratory survey method".
- European Standard EN ISO 11820:1996 (1996) "Measurement on silencers in situ".
- M.L. Munjal, (1997) Acoustics of Ducts and Mufflers John Wiley & Sons, New York.
- R. Kirby and A. Cummings, (1999) "Prediction of the bulk acoustic properties of fibrous materials at low frequencies," Appl. Acoust. 56, 101-125.
- M.L. Munjal (2000) Selection, Design and Fabrication of Quieter Fans for HVAC Systems. Air Conditioning and refrigeration Journal. Issue : July-September 2000
- S.K. Kakoty and V.K. Roy, (2002) "Bulk reaction modeling of ducts with and without mean flow," J. Acoust. Soc. Am. 112, 75-112.
- R. Kirby (2005) "The influence of baffle fairings on the acoustic performance of rectangular splitter silencers" Acoustical Society of America Journal, Volume 118, Issue 4, pp. 2302-2312.
- Faruk Emre Güngör (2003) "Computer aided noise prediction in HVAC systems". Thesis submitted to the Graduate School of natural and applied sciences of the middle east technical university.
- European Standard EN ISO 7235:2003 (2003) "Measurement procedures for ducted silencers – insertion loss, flow noise and total pressure loss".
- "Trox Technik" (2005) Product Catalogue: Splitter silencers.
- M. L. Munjal, Anthony G. Galitsis, (2005) István L. Cap 9: Passive Silencers (p 279-343). Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications, 2nd Edition Edited by István L. Vér - Leo L. Beranek.