

ATENUACION DE RUIDO EN SISTEMAS DE VENTILACION: UNA EXPERIENCIA PRACTICA

PACS: 43.50.Gf

J.L. Eguiguren, Manuel Vázquez y Jesús Diéz
LABEIN (Centro Tecnológico)
Cuesta de Olaveaga 16, Apt.1234
48.080 Bilbao
Tel: 944 892 400
Fax: 944 892 460
E-mail: eguiguren@labein.es

ABSTRACT

The extraction and emergency ventilation system of Metro Bilbao are communicated to the ground level (City Street) through several steel grille, with a distribution all along the line, and sometimes located close to the neighbour buildings.

The train Metro and extraction systems noise is transmitted from the metro line to the street easily.

The actual communication presents the solution study step by step, from the theoretic computational model to the final verify of the implemented solutions.

RESUMEN

Los sistemas de extracción bajo andén (EBAs) y de ventilación de emergencia del Metro Bilbao disponen de salidas al exterior, a través de rejillas situadas a nivel de calle, distribuidas a lo largo de toda la línea y que inevitablemente en ocasiones se localizan próximas a bloques de viviendas.

El ruido originado por las propias unidades de Metro y por los equipos de extracción de aire se transmite con facilidad.

La experiencia y conclusiones que se presentan en esta comunicación se han obtenido en el desarrollo de un estudio de soluciones en el que se ha contemplado la modelización teórica, la implantación de las soluciones diseñadas y la verificación final de los resultados obtenidos.

ATENUACION DE RUIDO EN SISTEMAS DE VENTILACION: UNA EXPERIENCIA PRACTICA

En pocas ocasiones en el estudio integral: acústico – constructivo de un sistema de reducción de ruido se dispone de las adecuadas condiciones para que el óptimo diseño acústico y el óptimo diseño constructivo no se encuentren en contraposición. Cuando esto ocurre se pueden obtener resultados realmente interesantes. Lógicamente, siempre existirán, aunque sea en un

grado mínimo, las limitaciones que son inevitables derivadas de las propias especificaciones que imponen, por su funcionamiento, la instalación generadora del ruido, o la disposición particular del recinto que compone el conjunto del área de estudio.

Para uno de estos casos se presenta a continuación la solución planteada por Labein en un problema concreto de transmisión de ruido en la Línea 1 del Metro de Bilbao, una vez comenzada su explotación. Esta solución se ha realizado con la dirección y coordinación de la Oficina Técnica de Metro Bilbao.

Los sistemas de extracción bajo andén (EBAs) y de ventilación de emergencia del Metro de Bilbao disponen de salidas al exterior, a través de rejillas situadas a nivel de calle, distribuidas a lo largo de toda la línea y que inevitablemente en ocasiones se localizan próximas a bloques de viviendas.

Los dos tipos de conductos de ventilación suponen una conexión directa entre la línea de Metro y el ambiente exterior de la ciudad, por lo que el ruido originado por las propias unidades de Metro y por los equipos de extracción de aire se transmite con facilidad.

PATOLOGÍA DETECTADA

Terminada la obra civil del metro y comenzado el período de explotación, se detectó que el ruido producido por la circulación de las unidades del metro, sólo procedente de una de las rejillas de la ventilación de emergencia superaba los límites propuestos por la Ordenanza Municipal de Protección del Medio Ambiente de Bilbao.

En concreto los niveles sonoros medidos fueron de 58 - 59 dBA en fachada de los edificios más próximos y de 37 - 38 dBA en el interior de vivienda.

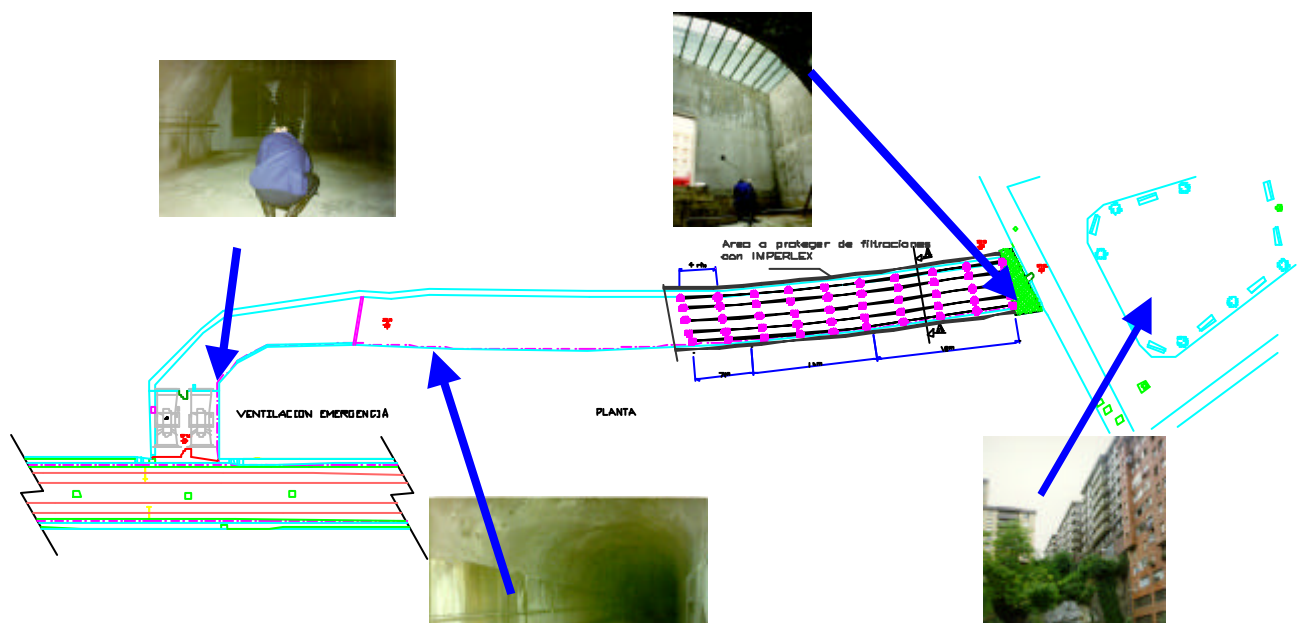
El ruido se transmitía a través de la sala de ventiladores de emergencia (situada junto a la vía), y se propagaba por el túnel de ventilación hasta la calle.

La sala de ventilación de emergencia dispone de dos ventiladores axiales, reversibles de instalación horizontal capaces de dar un caudal de aire en las condiciones ambientales de 90 m³/s y una presión de 75 mm de columna de agua cada uno. Con ellos se obtiene un flujo de aire con una velocidad de 12 m/s.

Dicha sala esta conectada al exterior mediante un túnel de aproximadamente 85 m de largo salvando una diferencia de cotas de 12 m.

La disposición en planta de los elementos descritos se encuentra reflejada en la figura nº 1.

Figura nº 1: Vista en planta del túnel que conecta la línea de Metro con el ambiente exterior a través de la sala de ventilación de emergencia.



ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

La Ordenanza de Protección del Medio Ambiente de Bilbao considera como niveles límite en interior de viviendas un Leq de 40 dBA y un Lmax de 45 dBA en periodo diurno y un Leq de 30 dBA y un Lmax de 35 dBA en periodo nocturno, además establece un nivel límite exterior Leq de 55 dBA día y Leq de 45 dBA noche.

Desde el punto de vista puramente acústico y atendiendo a lo establecido por la Ordenanza, la necesidad de reducción de ruido era de 13 – 15 dB en función de los niveles medidos en la fachada de viviendas.

Como dato de partida para el diseño de la solución se partía además del nivel de ruido originado por el paso de los trenes en ambos extremos del túnel, junto a la sala de equipos de ventilación (83 dBA) y a la salida del mismo (73-77 dBA). Según se muestra en la distribución del ruido por bandas de frecuencia del gráfico nº 1 se debía tener especial cuidado en la atenuación de 4-5 dB del ruido de baja frecuencia (50 – 63 Hz).

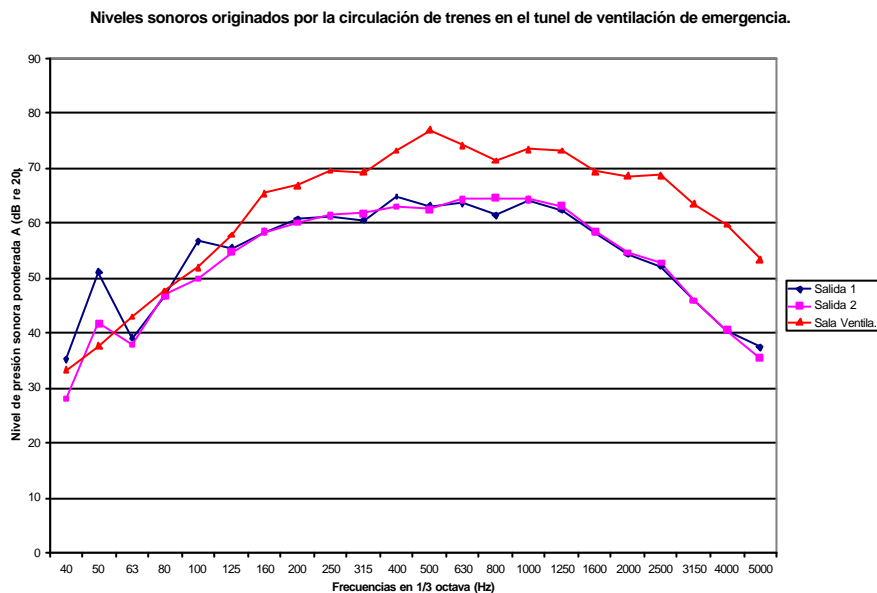


Gráfico nº 1: Nivel de ruido originado por el paso de los trenes en ambos extremos del túnel de ventilación de emergencia, junto a la sala de equipos de ventilación y a la salida.

Desde el punto de vista constructivo las principales directivas que se plantearon en el diseño se resumen en cuatro puntos:

- ✓ Era fundamental el carácter de modularidad del conjunto de la instalación con objeto de facilitar el mantenimiento y reposición de elementos dañados.
- ✓ Durante el funcionamiento de la pareja de ventiladores de emergencia el aire en el interior del túnel se desplaza con una velocidad en torno a 11-12 m/s, por lo que se debía considerar la estabilidad general de la estructura portante de la solución.
- ✓ Se debía tener en cuenta que el ambiente en el interior del túnel puede ser especialmente agresivo, por lo que se debía tener cuidado principalmente respecto a la resistencia a la corrosión en prevención de posibles filtraciones en los túneles.
- ✓ Por último, el túnel en cuestión es una conexión directa y amplia entre la línea de Metro y el exterior, por lo que en previsión de futuras utilizations se debía disponer de la posibilidad de montar y desmontar el sistema completo.

Además, implicando al diseño acústico y al diseño constructivo y como punto importante se debía garantizar la no interferencia en el correcto funcionamiento fluido dinámico del sistema de ventilación de emergencia una vez instalado el sistema silencioso.

ANÁLISIS ACÚSTICO: ESTIMACIÓN DE LA ATENUACIÓN SONORA

Como base para el estudio acústico de la solución se empleó un sistema de modelización acústica de recintos, que permite estimar las condiciones acústicas en el interior del túnel y por lo tanto a su salida.

El proceso de diseño acústico se planteó en dos etapas:

1. Se modelizó la situación existente en el túnel de ventilación, de modo que se ajustó la respuesta del modelo mediante los datos de nivel sonoro disponibles para el estudio.

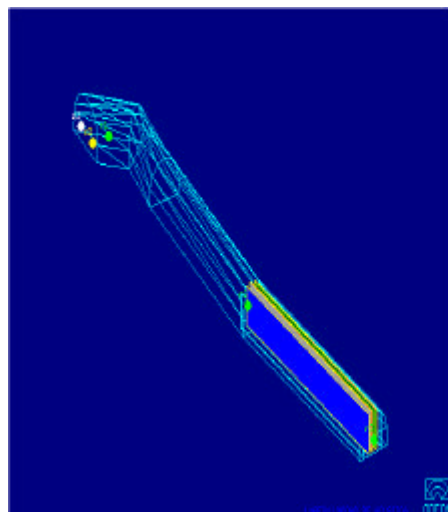
En este proceso se fijaron las fuentes de ruido y el tipo de material de las superficies del túnel que mejor se adaptan a las condiciones reales.

2. Se modelizaron diferentes distribuciones de material absorbente, tanto en las paredes del túnel, como en estructuras de lamas a modo de silencioso.

En cualquier modelo computacional es necesario hacer simplificaciones del fenómeno acústico. Se hicieron las siguientes suposiciones en todos los cálculos:

- ✓ Se cumplen las leyes de la acústica geométrica, es decir:
 1. La energía sonora viaja en línea recta.
 2. No hay fenómeno de ondas.
- ✓ Todas las superficies del recinto son planas, por tanto las curvas se deben aproximar, dividiéndolas en pequeñas superficies planas.
- ✓ Cualquier superficie absorbe energía sonora según un coeficiente de absorción energético, el cual es independiente del ángulo de incidencia.
- ✓ El sonido es tratado como una función de energía y no de presión, así:
 1. Las energías se pueden sumar directamente
 2. No hay efectos de fase

Por lo tanto, para la solución planteada, que se describe en el siguiente punto, la simulación realizada indicó una atenuación conseguida del orden de 25 dB. Esto implicaba un nivel sonoro en la salida del túnel al paso de las unidades de tren de aproximadamente 50 dBA, lo que en el exterior del túnel era equivalente al nivel de ruido ambiente durante al periodo diurno.



Modelo informático empleado para la estimación de la atenuación sonora. En color se presentan tres de los baffles absorbentes.

DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

Se consideró un sistema de paneles absorbentes verticales al uso de paredes divisorias en sentido longitudinal del túnel. En las figuras nº 1 y 2 se pueden observar la vista en planta y dos representaciones esquemáticas de la solución.

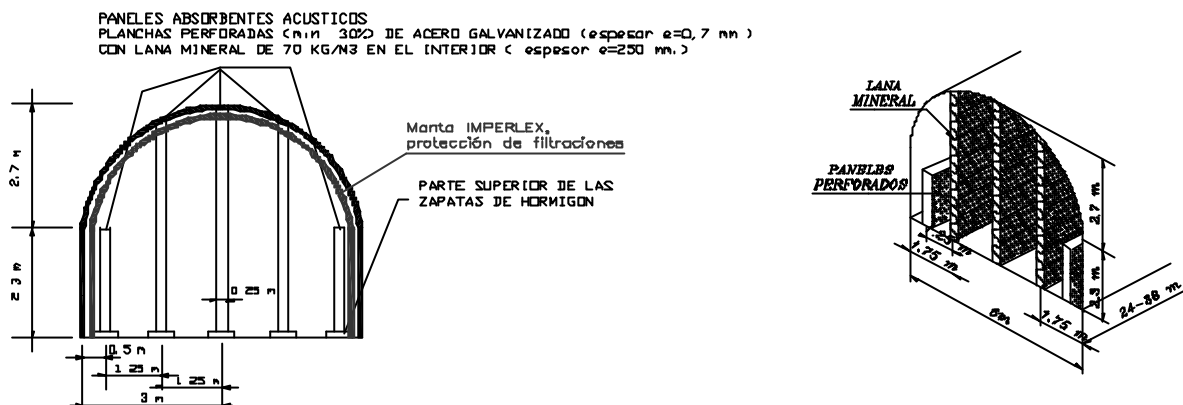


Figura nº 2: Esquemas de la solución de baffles absorbentes.

La envolvente de los paneles estaba construida en chapa de acero galvanizada, siendo el material acústico a base de lana mineral inorgánica e incombustible con un recubrimiento especial para evitar la erosión de la lana.

Cada panel (baffle) del sistema absorbente estaba basado en lana mineral, hidrófuga y clasificada MO (incombustible) en reacción al fuego (UNE 23721) de densidad media (50 – 70 kg/m³) con una anchura de 250 mm, protegida por chapa perforada, al menos un 30 % de acero galvanizado de 0,7 mm de espesor.

Se consideró el tratamiento de aproximadamente 35 m de túnel, comenzando en la parte más próxima al exterior junto a la boca del túnel.

Los baffles estaban compuestos por paneles metálicos superpuestos e insertados entre pilares. Los postes para el montaje de las pantallas se definieron mediante perfiles tubulares de sección 250x100x5 y de tres alturas diferentes.

La cartela y la placa base se soldaron a cada uno de los perfiles tubulares (figura nº 3). Igualmente se procedió a la soldadura de chapa de 300 mm de ancho por 5 mm de espesor por detrás del perfil en toda su altura.

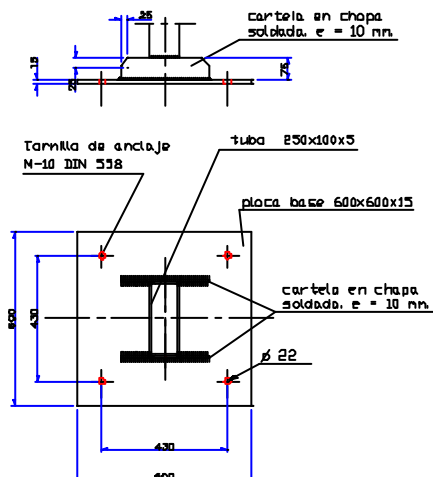


Figura nº 3: Disposición de la base de los pilares de soporte de los elementos acústicos.

A continuación se colocaba la unidad de panel acústico absorbente contra la chapa soldada, las juntas de goma o neopreno y finalmente las chapas delanteras atornillándolas mediante tornillo, tuerca y arandela de muelle (figura nº 4).

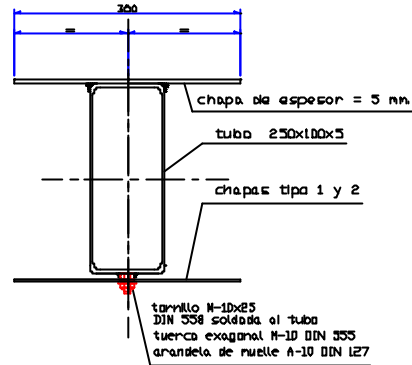


Figura nº 4: Montaje de las chapas anterior y posterior sobre el pilar.

Todo el montaje del perfil iba anclado mediante taladros en solera de 50 mm de diámetro (reellenos de resina epoxi) y barra roscada (figura nº 5). Se especificó el posicionamiento de los perfiles separados 4 m entre sí, comenzando su instalación en la vertical del inicio del túnel.

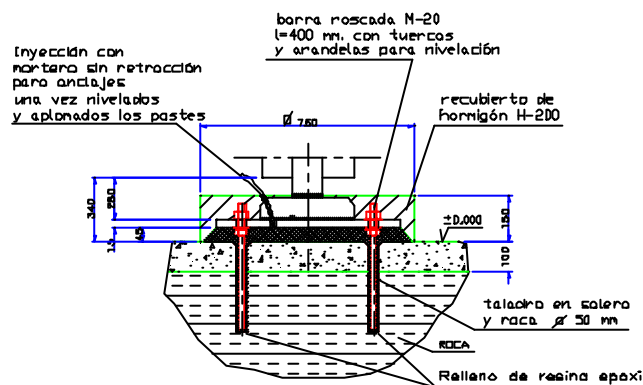


Figura nº 5: Apoyo del sistema de pilares.

Se mantuvo especial atención a la existencia de filtraciones que pudieran dañar los elementos instalados. A este efecto el montaje sobresalía la rasante del terreno, de modo que en ningún momento los módulos absorbentes tocasen en el suelo.

En cualquier caso se aseguró un contacto hermético entre módulos, de modo que no existiesen fugas de aire, ni el flujo encontrara en su camino bordes o cortes que supusieran incrementos del nivel sonoro.

Se planteó un diseño redondeado de los baffles en todo su perfil expuesto al flujo de aire, para evitar incrementos sonoros en los momentos de accionamiento de los ventiladores de emergencia.

Previo a los trabajos de montaje de los paneles absorbentes se impermeabilizaron las paredes y bóveda del tramo de túnel considerado (36 m). Se empleó el sistema de impermeabilización TUNELSEC, mediante la colocación de lámina tipo IMPERLEX.

La interposición de un elemento (Lamas absorbentes) en el flujo de aire de los Ventiladores de Emergencia ocasionaba la reducción de la sección de paso. Para asegurar el correcto

funcionamiento de los ventiladores, se calculó que la pérdida de carga inducida por la interposición del sistema no era mayor de 2 mm. c.a.

COMPROBACIÓN DE LA EFECTIVIDAD REAL DEL SISTEMA

Para evaluar la atenuación sonora conseguida se realizaron medidas simultaneas del nivel de presión sonora, en bandas de 1/3 de octava, existente a ambos lados del sistema silencioso (ver fotografías) (denominados en las gráficas de resultados como ENTRADA: del lado de los ventiladores, y SALIDA: del lado de la calle).



Vistas de los paneles acústico-absorbentes.

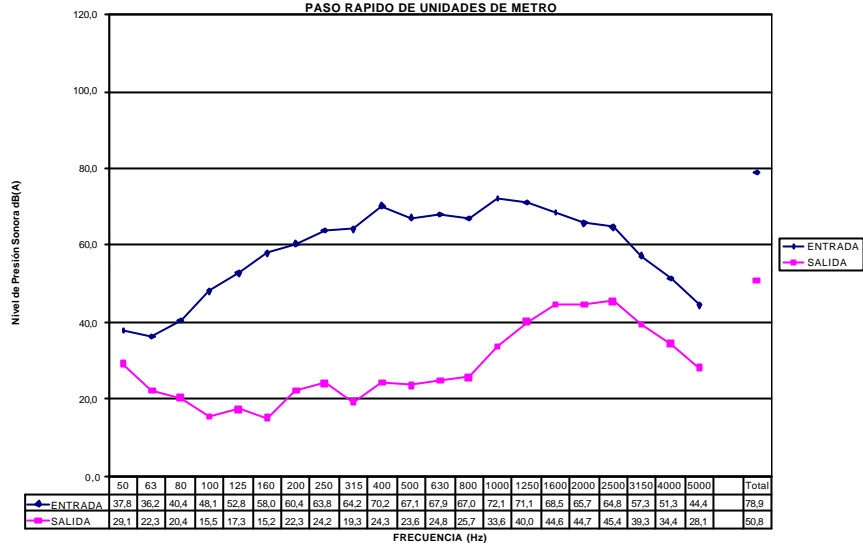
Las medidas se realizaron registrando el paso de varias unidades del metro y el funcionamiento de los ventiladores de emergencia, en este segundo caso con el fin de determinar el beneficio colateral de atenuación de ruido durante su activación.

El resultado de las medidas realizadas se presenta en las siguientes dos gráficas en las que se muestra la comparación de niveles sonoros medidos en cada banda de tercio de octava y en el nivel global en dB(A).

La atenuación sonora conseguida en el túnel de ventilación de emergencia al introducir el sistema silencioso resultó del orden de 25 dB(A).

La solución planteada cumple por lo tanto con todas las especificaciones iniciales de diseño, siendo el resultado acústico obtenido muy ajustado al nivel de atenuación estimado, y sin haber tenido que "sacrificar" eficacia acústica en favor de requisitos estructurales.

COMPARACION DE NIVELES SONOROS DEL SISTEMA SILENCIOSO INSTALADO EN EL TUNEL DE VENTILACION DE EMERGENCIA
PASO RAPIDO DE UNIDADES DE METRO



COMPARACION DE NIVELES SONOROS DEL SISTEMA SILENCIOSO INSTALADO EN EL TUNEL DE VENTILACION DE EMERGENCIA
VENTILACION DE EMERGENCIA EN MODO EXPULSION

