

# Predicción de los niveles de vibraciones y ruido original estructural en los ferrocarriles vascos



A José María Pérez Lacorzana  
AAC Centro de Acústica Aplicada, S.L.  
Parque Tecnológico de Álava  
01510 Miñano (Álava)  
[secretaria@aacacustica.com](mailto:secretaria@aacacustica.com)

PACS: 43.40 Sk

## Resumen

Estudio acústico de la estación de Euskotren de Lugaritz. Integra la medida del tiempo de reverberación y nivel de ruido de trenes antes de poner en servicio la estación y tras su finalización, la medida de la inteligibilidad de la palabra y la medida de la distribución sonora de la estación.

Conclusiones tras el estudio y mejoras propuestas:

- Las mediciones muestran una reverberación elevada y una inteligibilidad de la palabra por debajo de los valores recomendables.
- Es posible mejorar la acústica incorporando material absorbente en partes seleccionadas de paredes y techo.
- Para conseguir reducir los tiempos de reverberación hasta valores de 1.2 segundos e inteligibilidad superior a 0.6, la superficie a tratar acústicamente con un material con un coeficiente de absorción alto (0.9 en frecuencias medias), sería del orden de los 1.000 m<sup>2</sup>. Se puede optimizar la ubicación del mismo.

## Abstract

Acoustic study of the Euskotren Lugaritz railway station is made up of the reverberation time and noise levels of trains before the train station becomes operational and once finished, measurements of the intelligibility of spoken words and the sound distribution measurement of the station.

After-study conclusions and proposed improvements are:

- The measurements show high reverberation levels and an intelligibility of spoken words below recommended values.
- It's possible to improve this incorporating dope to selected parts of the walls and ceiling.
- Managing to reduce reverberation times to a value of 1.2 seconds and a intelligibility value of over 0.6, the surface should be acoustically treated with high absorption ratio material (0.9 in averaged frequencies), for around 1,000 m<sup>2</sup>. The location would be optimized.

## 1. Antecedentes

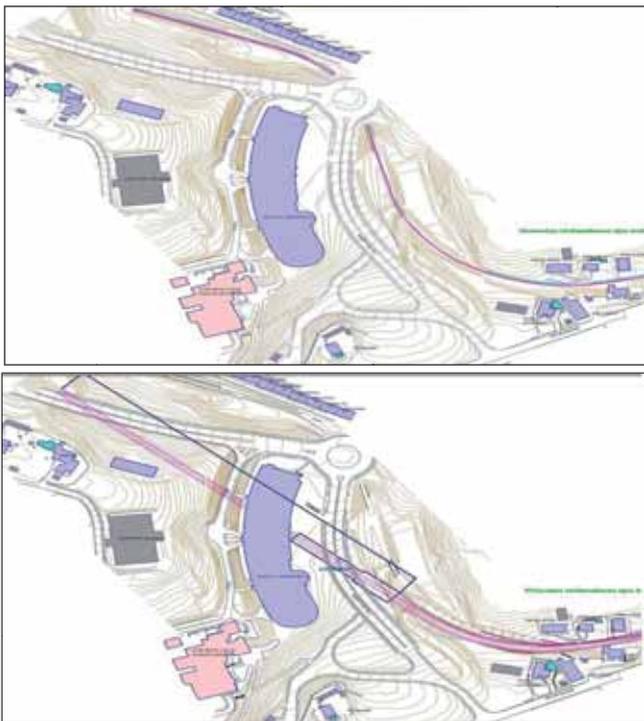
El proyecto de desdoblamiento de vía Añorga –San Sebastián modifica la traza original de la línea a su paso por el barrio de Lugaritz proyectando un nuevo túnel en doble vía, de 1497m de longitud, entre los PK 2.062 y PK 3.559.

El edificio denominado “Geriátrico”, parecía como el probablemente mas perjudicado por las vibraciones generadas por el paso de las circulaciones ferroviarias ya que el trazado de la línea pasa justo por debajo del mismo, y con su gran altura, era previsible su afección. Además, en la rehabilitación de dicho edificio se realizó un refuerzo en sus cimentaciones de forma que las zapatas de dicho inmueble se encuentran muy próximas (a unos 10m.) de la bóveda del túnel.

## 2. Metodología

La metodología seguida se resume en cuatro puntos:

- 1 Estudio de la función de transferencia de energía vibratoria entre el túnel y el edificio presumiblemente más afectado, denominado Geriátrico.
- 2 Conocimiento de la emisión de vibraciones de los trenes que circularán por el túnel.
- 3 Combinación de los puntos anteriores para conocer los niveles previsibles de vibración y ruido generado por las vibraciones, en las viviendas.
- 4 La diferencia entre los valores estimados y los límites impuestos por las normas aplicables nos indicarán el aislamiento necesario.



El margen de frecuencias analizado en todas las situaciones es el comprendido entre las bandas de tercio de octava centradas en 1 y 630 Hz. Partiendo de éstos, hacemos una separación entre las frecuencias relacionadas con la molestia por vibración ( 1 a 80 Hz.) y las que se manifiestan como un ruido incómodo ( ruido de origen estructural) (50 a 630 Hz.).

## 3. Reglamentación aplicable

Los límites reglamentarios son los reflejados en la Ordenanza Municipal de Donostia - San Sebastián del año 2000. El periodo nocturno queda establecido entre las 22 y las 08 horas.

Comentarios:

**RUIDO.-** La Ordenanza dice textualmente que los límites de ruido no son aplicables al tráfico ferroviario, pero entendemos que en el futuro, o se amplía para cubrir ese hueco o se aplicarían directamente los límites generales. En el primer caso, el criterio general es ser más permisivos para este tipo de ruido, por lo que, presumiblemente los más estrictos serán los límites generales.

Se utilizan dos parámetros  $L_{Aeq}$  con un tiempo mínimo de observación de 10s y cinco mediciones y el  $L_{AmaxF}$ , siendo la media aritmética de las mediciones realizadas. El límite nocturno es de 27 dB(A), permitiendo 5 dB más para los máximos.

**VIBRACIONES.-** La Ordenanza de San Sebastián adapta las recomendaciones de la NORMA ISO 2631, parte 2 de 1989.

Los límites nocturnos son, en términos de constante K y entre paréntesis decibelios de aceleración con referencia  $10^{-6} \text{ m/s}^2$ , y aceleración eficaz, los siguientes:

$$K=1.4 (74 \text{ adB } ,, 5.04 \text{ mm/s}^2).$$

La Ordenanza no hace distinción entre vibraciones continuas y transitorias, mientras que la Norma sí lo hace, permitiendo para este tipo de excitación “con varias ocurrencias cada día” valores entre 1 y 14 veces superiores.

Por lo tanto aplicar el límite anterior a niveles máximos (S) puede considerarse conservador, aunque 74-75 adB es un valor habitual en otros países para vibraciones de ferrocarril en edificios residenciales.

## 4. Mediciones en fase de obra

Las primeras mediciones tendentes a determinar la magnitud esperada de las señales vibratorias que la explotación ferroviaria en el túnel de Lugaritz induciría en las viviendas del “Geriátrico” se efectuaron en la fase de construcción. Las fuentes generadoras de señal son las propias de la excavación del túnel (rozadora y martillo picador).

Fruto de las evaluaciones iniciales, (finales de 2002) con las obras de perforación muy cerca de la vertical del edificio, ya se detectan problemas de “structure born noise” y la carencia de señal suficiente para juzgar las “vibraciones”. Se han medido niveles de presión sonora entre 27 y 34 dB(A) en viviendas y de 40 / 50 dB(A) en un garaje de la planta -1, que llegan a los 60 dB(A) con las máquinas justo debajo del local medido. (Aunque las mediciones en el interior de un garaje puedan parecer fuera de lugar, suponía una referencia para nosotros tras la prohibición por parte de los inquilinos afectados del acceso a sus domicilios)



Los resultados de nuevas mediciones, primeros de 2003, tanto de niveles previstos de la emisión de los trenes, como de transmisión a lo largo del túnel y en el edificio concluyen que:

- No se prevén problemas específicos de VIBRACIONES (1 a 80 Hz).
- En cambio sí se espera que se superen los niveles admisibles de RUIDO (50 – 630 Hz) en las viviendas originados por las vibraciones del paso del tren.

Se ratifica la solución inicialmente prevista en el proyecto aconsejando un aislamiento de la vía que resulte eficaz a partir de 50 Hz.

Con la información derivada de las mediciones realizadas utilizando como fuente generadora de vibraciones la maquinaria de obra, no se puede precisar la extensión del tratamiento aislante, por lo que se realizaron de nuevo ensayos utilizando microexplosiones a diferentes distancias de la vertical del Geriátrico, y analizando la señal transmitida a lo largo del túnel y en el edificio. (*Explosivo: 50 gr. Distancias, 0 (vertical), 50, 100, 200 y 400 metros*)

Tras las mediciones (octubre 2003) se calcula de forma conservadora que la solución específica de vía aislada (losa flotante) ha de extenderse desde el principio de la estación hasta 400 m más allá de la vertical del Geriátrico, condicionada a la propia problemática de la implantación de los desvíos ferroviarios.

Finalmente la solución de vía amortiguada se estableció en una longitud de unos 300m, desde el inicio de la estación hasta el inicio del futuro desvío hacia la Variante de mercancías de Amara. (Pasado el cruzamiento de punta móvil y antes del convencional).

## 5. Solución adoptada

Se solicitan soluciones constructivas sobre la base teórica de obtener un aislamiento de 30 dB a 50 Hz. junto con una durabilidad de los materiales lo más extensa posible. Con este aislamiento se proyecta pasar de unos niveles máximos en viviendas de los 65 dB(A) a inferiores a 30.

La materialización de la solución proyectada se encargó a Railtech, con elementos aislantes proporcionados por Getzner (Sylomer) en forma de dos tiras longitudinales colocadas debajo de las losas. La solución inicial fue mejorada eliminando los problemas que pudieran causar los puentes acústicos de los “stoppers”, fabricando un aislamiento del mismo material con la forma cilíndrica de los mismos, y suprimiendo la tradicional suela elástica del bloque traviesa para evitar las dobles resonancias.

De forma complementaria, el cruzamiento previsto en la zona de actuación se planificó para ser del tipo “punta móvil”.

## 6. Verificación de resultados

Una vez finalizada la obra y antes de la entrada en servicio del tramo, se procedió a realizar una evaluación de los resultados obtenidos, mediciones efectuadas en febrero 2005.

### 6.1. Metodología

#### 6.1.1. Niveles de vibración en el túnel

La metodología seguida para caracterizar vibratoriamente la vía instalada en la variante sur ferroviaria de San Sebastián en el tramo que discurre dentro del túnel de Lugaritz consiste en el análisis simultáneo de las vibraciones de emisión (en las losas donde se asienta la vía en sentido vertical) y de inmisión en las dos paredes del túnel en direcciones vertical y horizontal, y esto en los cuatro casos que podemos diferenciar en el recorrido estudiado; vía sobre losa de hormigón aislada o no, cruzamiento convencional y de punta móvil, éste último sobre losa aislada.

En todos los casos los acelerómetros se adherían a las superficies mediante resina epoxi de secado rápido.

El día 8 de febrero de 2005 se dispuso de una unidad de tren tipo 200 para la ejecución de estas mediciones dentro del túnel de Lugaritz. La longitud del convoy es de unos 70 m. (4 coches). La circulación se hizo por la vía 1 en ambos sentidos.

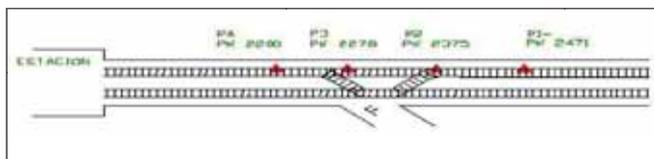
#### Serie 200 de Euskotren



Tipo de vehículo:	<a href="#">automotores eléctricos</a>
Numeración :	201 a 220
Fabricante:	<a href="#">CAF, Babcock&amp;Wilcox</a>
Nº de unidades:	20
Año de recepción:	1986
<a href="#">Disposición ejes (UIC):</a>	
Bo'Bo'+2'2'+2'2'+Bo'Bo'	
Distancia entre topes:	68830 mm
Anchura máxima:	2450 mm
Altura máxima:	3620 mm
Peso en servicio:	119,0 tn
Potencia:	960 kw (1304 cv)
<a href="#">Ancho de vía:</a>	1000 mm
Tensión:	1,5 kV
Número de motores:	4 x GEE 326 G-1
Número de plazas:	267

Los puntos seleccionados para la realización de las mediciones se identifican como; P1, P2, P3 y P4. Corresponden a los PK 2.471, 2.375, 2.278, 2.200 y corresponden con las siguientes configuraciones de vía:

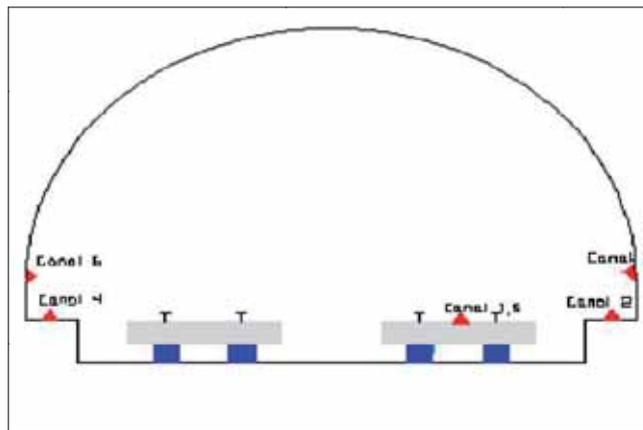
- P1. PK 2.471.- Vía sobre placa sin el tratamiento aislante de vibraciones.
- P2. PK 2.375.- Cruzamiento convencional, sin aislamiento.
- P3. PK 2.278.- Cruzamiento de punta móvil sobre losa flotante.
- P4. PK 2.200.- Vía recta sobre losa flotante.



En cada punto se hicieron un mínimo de seis pasadas, aproximadamente tres en cada sentido, a velocidades de 40 y 60 Km/h, excepto en el punto 4 que solo se pudo alcanzar la velocidad estabilizada de 40 Km/h, dada la proximidad de la estación en obras. Para mantener la velocidad de paso lo mas uniforme posible, a distancias de 80 m a ambos lados de los PK anteriores, se dispusieron señales ópticas que indicaban al conductor los tramos en los que la velocidad del tren debía mantenerse estabilizada.

La toma de datos abarca toda la pasada del tren en el tramo de 160 m. y en seis puntos de medida, dos entre carriles, otros dos en sentido horizontal a ambos lados del túnel y los dos restantes en sentido vertical en las “mesetas” de los dos laterales.

Para determinar la eficacia del aislamiento se efectuaron mediciones complementarias sobre el hormigón de nivelación inmediatamente por debajo de las tiras aislantes. El acceso a ese punto se realiza por uno de los huecos cilíndricos que tienen las losas que carecen de “stopper”.



El gráfico muestra los puntos de medida.

Nota.- los puntos 1 y 2 no tienen aislamiento, bloques azules.

La relación entre los valores en la losa en este punto y en el punto 1 será el dato buscado.

Las mediciones recogen el nivel máximo “Slow” el nivel medio energético y un multiespectro de la pasada (datos en frecuencia cada 0.25 segundos). El margen de frecuencia medido está entre 1 y 1000 Hz. y el ancho de banda es de tercios de octava.

Intermitentemente se registraba información de la vibración de fondo en cada canal de medida.

Los gráficos se presentan en el margen de frecuencias de interés (50 – 630 Hz) y se han obtenido de un tratamiento de los multiespectros, (Leq) con el fin de que la señal estuviera lo menos afectada por el ruido de fondo, de todas formas éste es notable en las bandas por debajo de 50 Hz.

Las señales por debajo de 5 Hz no son válidas y hasta los 50 Hz. las señales son, en general muy pequeñas y con ruido. Aunque se ha hecho la oportuna corrección por este concepto, es imposible garantizar que la vibración de fondo en el momento de su medida y en el de toma de datos fueran exactamente los mismos.

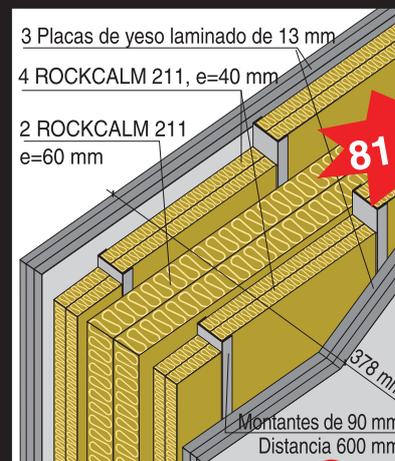
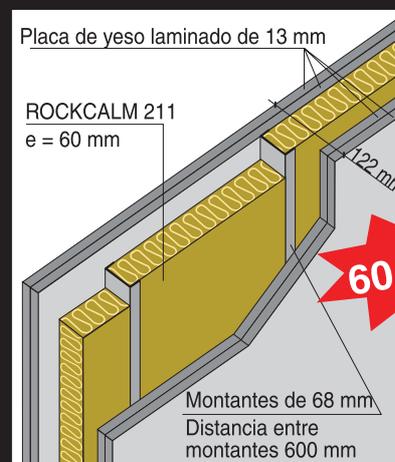
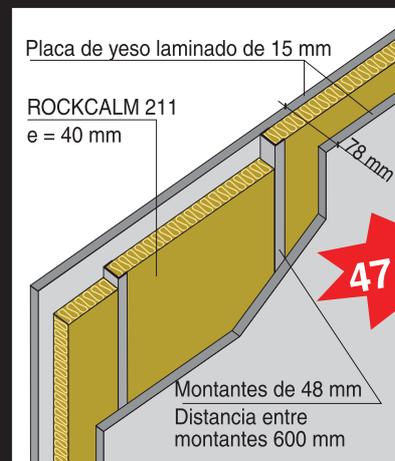
## 6.2. Resultados

A continuación se presentan algunos de los resultados medios de las mediciones consideradas correctas para cada uno de los puntos y en todos los canales de medida, expresados en valores medios equivalentes y (no presentamos los máximos), para 40 Km/hora.

Los canales 1 y 5 corresponden a las mediciones en puntos medios sobre la losa. Los 2 y 3 son medidas en direcciones vertical y horizontal en la pared cercana a la vía 1, y las 4 y 6 son las simétricas en la pared opuesta.

# SOLUCIONES ACÚSTICAS

## ENSAYOS REALIZADOS CON INSTALACIONES ELÉCTRICAS



TENEMOS LAS SOLUCIONES QUE NECESITA

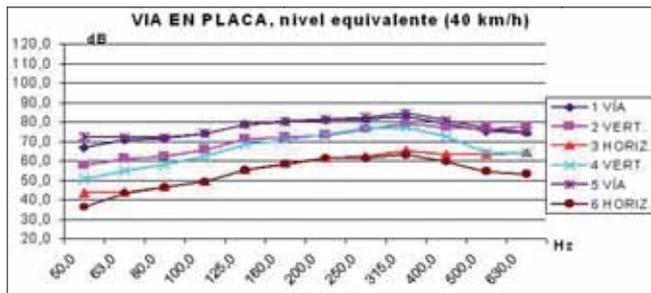
- ROCKWOOL lanza al mercado las nuevas soluciones ROXUL para tabiquería seca.
- Observe los resultados obtenidos y se sorprenderá.
- Soluciones constructivas para aislar acústicamente particiones distributivas y separativas.
- Soluciones ideales para viviendas, oficinas, locales de ocio, locales comerciales, hospitales, hoteles, escuelas, rehabilitación...

# ROCKWOOL®

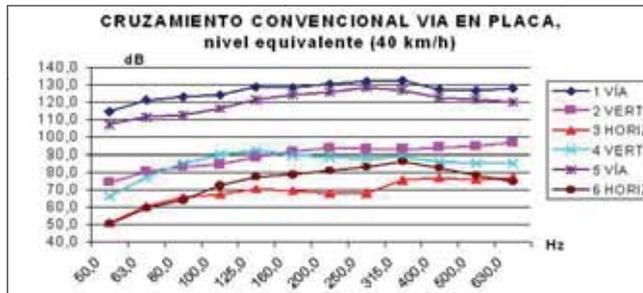
[www.rockwool.es](http://www.rockwool.es) - [info@rockwool.es](mailto:info@rockwool.es)



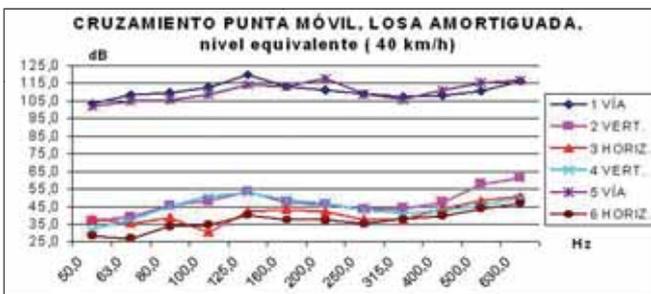
SOLICÍTENOS  
MÁS INFORMACIÓN



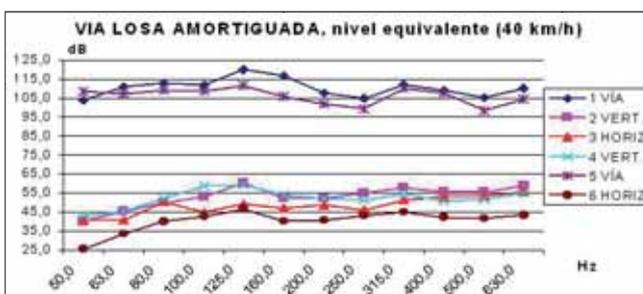
6.2.1.- P1. PK 2.471.- Vía sobre placa sin tratamiento aislante de vibraciones.



6.2.2.- P2. PK 2.375.- Cruceamiento convencional aislamiento, vía sin aislamiento



6.2.3.- P3. PK 2.278.- Cruceamiento de punta móvil sobre vía con aislamiento.



6.2.4.- P4. PK 2.200.- Vía recta sobre placa con tratamiento antivibratorio

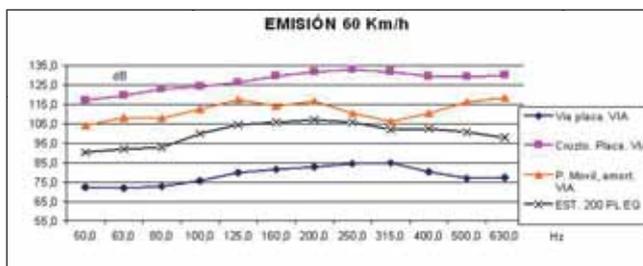
### 6.3. Análisis de los resultados

Presentamos los valores eficaces de los resultados obtenidos por el punto de medida y así podremos comparar fácilmente los resultados en los diferentes PK, además se ha comprobado que los análisis en sentido horizontal y vertical son del mismo orden de magnitud para los puntos situados cerca de la vía de paso (Vía 1) y los próximos a la vía 2, por lo que se han promediado y reducimos los gráficos a tres por cada velocidad.

#### 6.3.1. Emisiones

Las emisiones, entendiendo como tales a las mediciones realizadas en las placas de la vía, son menores en la losa sin amortiguar que en las amortiguadas, este hecho es normal ya que la fuerza que ejerce el tren (constante) se emplea en mover masas diferentes, en las losas amortiguadas es la masa de éstas, en los otros casos es la masa de la “madre tierra”, por lo tanto es lógico que en el primer caso obtengamos aceleraciones más altas que en el segundo.

La gráfica incorpora (en negro) los datos de partida del proyecto, la forma del espectro es muy semejante, pero las previsiones, ofrecen en general niveles superiores a las medidas en vía sobre placa e inferiores a los otros casos. Los máximos tienen diferencias menores que los niveles equivalentes.



Nuestro análisis al respecto es que las mediciones de placa sin aislar se han realizado en la parte media del túnel, allí donde los estudios geotécnicos nos señalaban roca mas compacta, por lo tanto mas difícil de excitar que la que se encuentra hacia el exterior, probablemente mediciones semejantes en la vertical del geriátrico nos hubieran dado resultados más cercanos a los de partida. Consideramos correctas las previsiones del 2003.

Es más, si aplicamos los mismos criterios utilizados anteriormente, para estimar los niveles de ruido en la viviendas del geriátrico, con las emisiones medidas en el punto 1, obtenemos unos niveles equivalentes de unos 37 dB(A) y máximos de 44. Ambos muy por encima de los valores admisibles por la Ordenanza Municipal de San Sebastián, 27 y 32 dB(A) respectivamente.

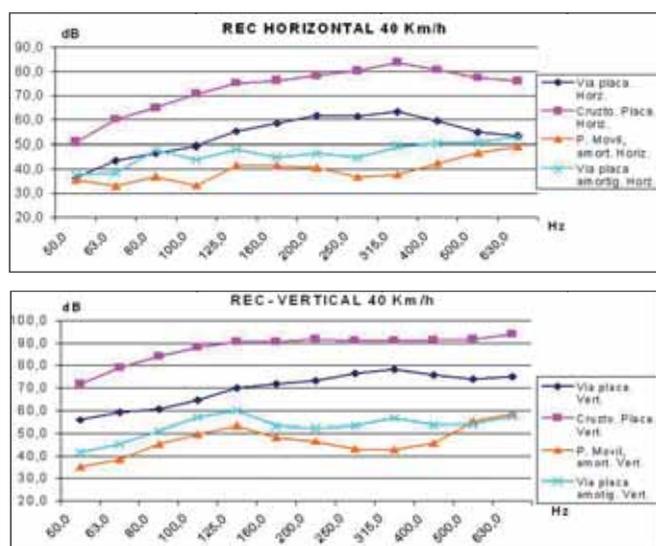
La emisión más alta se encuentra en el cruceamiento convencional, siendo las mediciones del cruceamiento de punta móvil y las medidas en la vía sobre losa flotante,

ambos amortiguados, prácticamente iguales. La conclusión es que este tipo de cruzamiento es aconsejable en todas aquellas situaciones en que se prevean problemas por vibraciones o ruido pues no incrementan los valores de emisión como lo hace el cruzamiento convencional.

### 6.3.2. Inmisiones

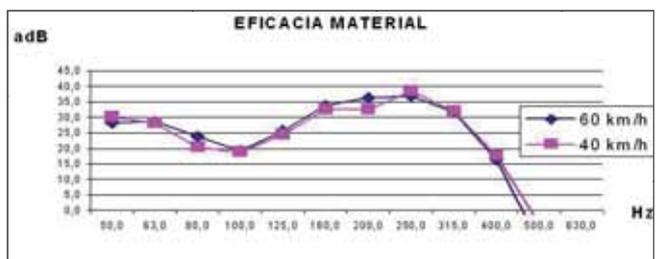
Los resultados de las inmisiones en los laterales del túnel presentan resultados previsibles y muy semejantes a las dos velocidades y para mediciones en horizontal o vertical. En el primer punto, vía sobre losa sin aislar tenemos niveles más bajos que los esperados por las razones dadas en el punto anterior (terreno de roca más compacta), pero netamente superiores a los que encontramos en los tramos con aislamiento antivibratorio, lo que pone de manifiesto la eficacia de éste.

Los valores más altos se encuentran, lógicamente, en las proximidades del cruzamiento convencional.



### 6.3.3. Eficacia del aislamiento

Las mediciones destinadas a verificar el comportamiento antivibratorio del sistema instalado ofrecen unos resultados muy buenos que se aprecian mejor en las gráficas de diferencia de niveles entre los niveles de aceleración vertical en la losa del punto 1 y el terreno del punto 5.



La media del aislamiento en el margen de frecuencias de interés (50 a 630 Hz.) es de unos 28 dB, con 30 dB a 50 Hz.

### 6.3.4. Vibraciones

Los problemas derivados de la vibración que se manifiestan y se evalúan según normas (ISO 2631, parte 2) en el margen de frecuencias entre 1 y 80 Hz. quedaban excluidos de esta evaluación pues, como se reflejó en informes anteriores, no se esperaban problemas y además el aislamiento en estas bandas no es posible.

También se mantienen las dificultades de medida derivadas del reducido tiempo que da el paso de un tren y el hecho de medir en las proximidades del foco emisor. De todas formas presentamos a continuación una gráfica que muestra los niveles de inmisión a 40 km/h en todos los puntos, comparada con los niveles admisibles en el interior de viviendas, periodo nocturno según la Ordenanza Municipal de San Sebastián y otros muchos municipios. Se observa claramente que ya dentro del túnel se cumpliría con la normativa, por lo que también se confirman las previsiones de no conflicto.

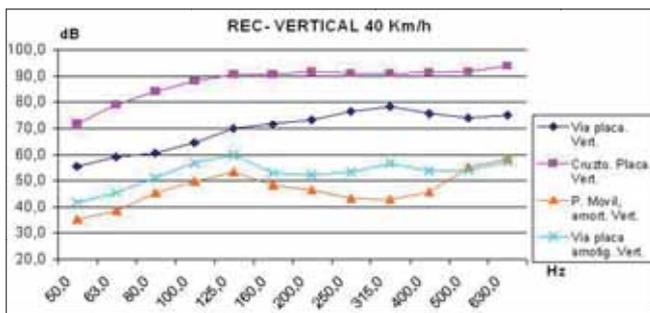


## 7. Conclusiones

Se han confirmado todas las previsiones de que, sin el tratamiento aislante en la vía, la problemática derivada de la percepción acústica del paso del tren en las viviendas bajas del edificio denominado geriátrico hubiera dado lugar a niveles de ruido por encima de la normativa.

En segundo lugar, la solución adoptada cumple perfectamente con la misión encomendada. Tanto la selección de los materiales como su montaje se han realizado de forma modélica, habiendo introducido mejoras en el diseño tendentes a eliminar todo puente acústico que redujera la eficacia de la solución. Las mediciones del rendimiento antivibratorio ofrecen resultados medios en las bandas de interés superiores a los 28 dB, alcanzándose los requisitos de 30 dB a 50 Hz.

Este hecho también se refleja en que las mediciones de inmisión de vibraciones sobre las paredes del túnel presentan niveles muy bajos.



La gráfica muestra el efecto del aislamiento en los niveles de inmisión. Los valores mas altos se encuentran en las proximidades del cruceamiento convencional, seguidos de la vía en placa, las dos curvas inferiores corresponden respectivamente a vía en placa amortiguada y cruceamiento de punta móvil sobre vía amortiguada.

El que la curva correspondiente a los alrededores del cruceamiento ofrezca niveles inferiores a los de vía recta, siendo las emisiones prácticamente iguales, corrobora el hecho de que la roca hacia afuera del túnel está menos compactada originando niveles de recepción superiores.

Otro hecho a destacar es la poca emisión de vibraciones del cruceamiento de punta móvil. Los datos comparables de las emisiones en el punto de vía recta y en del cruce (puntos 3 y 4), ambos sobre vía amortiguada, son prácticamente iguales. Sin embargo la otra comparación de tramo recto y cruce convencional (puntos 1 y 2) da niveles muy superiores en el cruce. Por lo tanto, si la traza lo permite es recomendable que en las proximidades de viviendas o zonas urbanizables todos los cruceamientos que se instalen sean de este tipo.



El gráfico presentado a continuación muestra los incrementos de los niveles de emisión originados por el cruce convencional y el de punta móvil. Para ello, se han comparado (diferencia de niveles) los resultados de las emisiones entre los puntos 2 y 1 (vía en placa sin amortiguar, cruceamiento convencional y vía recta respectivamente) para determinar el incremento originado por el cruceamiento convencional, y las emisiones entre los puntos 3 y 4 (vía aislada, cruceamiento de punta móvil y tramo recto, respectivamente) para la estimación del incremento por el cruceamiento de punta móvil.

La gráfica es lo suficientemente elocuente.

Las conclusiones finales son satisfactorias, dado el acierto de Euskotren de anticiparse a un problema de muy difícil (o imposible) solución “a posteriori”, y cuyo efecto en la explotación hubiera sido la necesidad de una limitación muy importante en la velocidad de los trenes en este tramo, como única posibilidad de minimizar los problemas de ruido en las viviendas.



# Vibcon

Vibroacústica, control y aislamiento, S.L.



## Buenas Vibraciones

VIBCON diseña, proyecta, fabrica...  
para usted

### Mediciones vibroacústicas

Mediciones de vibraciones y ruido.  
Mediciones "in situ" del aislamiento al ruido  
aéreo entre locales y fachadas.



### Solución de problemas

Aislamiento de vibraciones de maquinaria  
e instalaciones en edificios.  
Cálculo y selección de montaje antivibratorio.



### Fabricación propia

Fabricación y suministro de antivibraciones  
y materiales para aislamiento de ruido estructural.  
Bancadas flotantes.



Abat Marcet, 41-43  
08173 Sant Cugat del Vallès (Barcelona)  
Tel. 902 19 55 12 Fax. 93 675 58 90  
vibcon@vibcon.net  
www.vibcon.net