

## **IMPACTO DE VIBRACIONES PRODUCIDAS POR TRENES SUBTERRÁNEOS SOBRE NUEVAS CONSTRUCCIONES**

PACS: 43.40.At

Carpena Ruiz, M.J.; Aguilera de Maya, J.L.  
Acustica y Telecomunicaciones S.L. (ACUSTTEL)  
Calle del Transporte 12 P.I. Benieto  
46702 Gandia. Valencia. España  
Tel. +34 962 866 279  
Fax. +34 962 954 173  
E-mail: mjcarpena@acusttel.com,  
Web: <http://www.acusttel.com>

### **ABSTRACT**

The paper presents the results of an investigation about the influence on new buildings of the vibrations due to underground trains. Something measurements are realized in different building next to the railway for this, a measurement campaign has been realised an various buildings in construction phase near from the train lines. Several records have been taken in different heights and in buildings at different distance from the train lines. So that the effects of these parameter on the final results can be evaluated.

### **RESUMEN**

En este artículo se presenta los resultados de una investigación sobre la afección de la vibración de los trenes subterráneos sobre edificios de nueva construcción. Para ello se han realizado una campaña de medidas sobre varios edificios en fase de edificación cercanos a las vías de tren. En cada uno de los edificios se han realizado registros en diferentes alturas y también se han realizado registros en edificios que están a mayor o menor distancia de estos trenes para evaluar la afección de estos parámetros sobre los resultados finales.

### **INTRODUCCIÓN**

Cuando existen edificios cercanos a las vías de un tren, ya sea subterráneo o no, es muy usual que en las viviendas cercanas existan molestias ocasionadas por las vibraciones que se pueden transmitir ocasionadas por el paso de los trenes. Debido a esto, se ha realizado una campaña de medidas sobre diferentes edificios para evaluar las molestias que se producían en el interior de las edificaciones.

En este artículo solamente se van presentar los resultados obtenidos para una edificación, pero se expondrán los resultados en diferentes plantas, para evaluar si la altura del edificio influye en la amplificación de la vibración.

Para comprobar la molestia real con el paso del tren, se han realizado las medidas de los espectros de vibración por el paso del tren y de la vibración de fondo cuando no hay paso del tren para evaluar la diferencia entre ambos y poder analizar si a pesar de que en ocasiones se

pueda cumplir la normativa en lo que corresponde a vibraciones existe una diferencia real, entre las vibraciones ocasionadas por el paso del tren y las vibraciones de fondo.

## **PROCEDIMIENTO DE MEDIDA**

Para la realización de las medidas se ha tenido en cuenta lo estipulado en la norma ISO 2631-2:1989 'Evaluación de la exposición humana a la vibración en cuerpo completo – Parte 2: Vibración continua e inducida por impacto en edificios (1 a 80 Hz)' y la normativa local de la ciudad donde fueron realizadas las medidas, en este caso, Madrid, por lo que la normativa aplicada fue, el decreto 78/1999, de 27 de mayo y actualizado el 30 de octubre de 2005, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid (B.O.C.M. 8 de junio de 1999).

Para evaluar el cumplimiento de la legislación vigente en materia de vibraciones, se utiliza el índice K de percepción vibratoria.

Por otra parte, para valorar más subjetivamente el ruido producido por el paso de ferrocarriles, también se compararán los niveles y los espectros obtenidos con las "vibraciones de fondo", en el caso del horario diurno (08h00 – 22h00) y nocturno (22h00 – 08h00).

El procedimiento para la realización de las medidas fue el siguiente:

1. El acelerómetro se colocó en los paramentos horizontales y se consideró la vibración en el eje vertical, coincidiendo con la dirección de máxima sensibilidad del acelerómetro.
2. El acelerómetro se colocó de forma que la unión con la superficie de vibración fuese lo más rígida posible.
3. En todo momento, se evitó el movimiento del cable de conexión del acelerómetro al analizador de frecuencias.
4. Se tomaron medidas en horario diurno y nocturno de diferentes puntos distribuidos por toda la superficie del edificio en diferentes plantas dentro de este edificio.

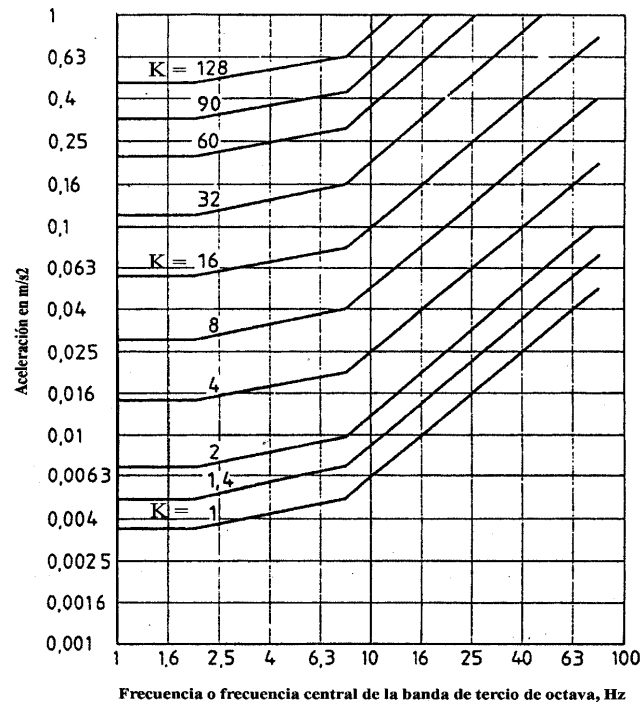
Debido a la naturaleza del foco de vibraciones, paso de trenes durante unos segundos cada 5-10 minutos, se trata de una vibración intermitente (serie de incidentes vibratorios, cada uno de corta duración, separados por intervalos de magnitudes mucho más bajas). Por lo que se han tomado registros de 6 minutos en los que se captaba la vibración por el paso de un tren y la vibración de fondo.

## **TRATAMIENTO DE LOS DATOS**

Para el análisis de los resultados, se ha tenido en cuenta lo expuesto en la normativa de aplicación en este caso, norma ISO 2631-2:1989 y el decreto 78/1999, de 27 de mayo y actualizado el 30 de octubre de 2005, por el que se regula el régimen de protección contra la contaminación acústica de la Comunidad de Madrid (B.O.C.M. 8 de junio de 1999).

Los parámetros analizados, han sido el factor K de vibración que marca la normativa, para obtener este valor se ha seguido el siguiente procedimiento, a partir del espectro lineal de la señal de aceleración en  $m/s^2$  correspondiente bien al paso del tren, bien a la vibración de fondo, se determina el índice K, utilizando el ábaco siguiente:

## FACTOR K PARA LA DETERMINACIÓN DE LA MOLESTIA PRODUCIDA POR VIBRACIONES EN LOS EDIFICIOS



Para valorar más subjetivamente el ruido producido por el paso de ferrocarriles, también se comparan los espectros de los trenes con los espectros de las vibraciones de fondo.

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos, se presentan a continuación, se pueden ver los resultados obtenidos en diferentes plantas y para los horarios diurno y nocturno. También se realiza un análisis sobre el cumplimiento de la normativa. En el caso de la ciudad de Madrid, y para edificios de uso residencial, se estipula que el índice K de vibración máximo debe ser de  $K=1,4$  máximo permitido durante el periodo de noche y  $K=2$  máximo permitido en periodo de día.

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la planta sótano 3 en horario diurno.

	Valores en Sótano 3 Horario Diurno				
	Hora de inicio de la medida	Duración de la medida	Índice K al pasar un tren	Índice K con vibración de fondo	Diferencia
Punto P1	20:25	6 min	0,07	0,02	0,05
Punto P2	20:32	6 min	0,08	0,02	0,06
Punto P3	20:43	6 min	0,09	0,02	0,07
Punto P4	20:50	6 min	0,12	0,03	0,09
Punto P5	20:58	6 min	0,08	0,02	0,06
Punto P6	21:07	6 min	0,05	0,03	0,02
Punto P7	21:17	6 min	0,09	0,03	0,06
Punto P8	21:23	6 min	0,08	0,02	0,06
Punto P9	21:30	6 min	0,11	0,02	0,09
<b>Promedio</b>			<b>0,08</b>	<b>0,02</b>	<b>0,06</b>

En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la planta sótano 3 en horario nocturno.

	Valores en Planta Sótano 3 Horario Nocturno				
	Hora de inicio de la medida	Duración de la medida	Índice K al pasar un tren	Índice K con vibración de fondo	Diferencia
Punto P1	22:40	6 min	0,08	0,02	0,06
Punto P2	22:49	6 min	0,09	0,02	0,07
Punto P3	22:57	6 min	0,10	0,03	0,07
Punto P4	23:04	6 min	0,11	0,02	0,09
Punto P5	23:11	6 min	0,07	0,03	0,04
Punto P6	23:18	6 min	0,05	0,04	0,01
Punto P7	23:27	6 min	0,10	0,03	0,07
Punto P8	23:34	6 min	0,10	0,03	0,07
Punto P9	23:42	6 min	0,12	0,05	0,07
<b>Promedio</b>			<b>0,09</b>	<b>0,03</b>	<b>0,06</b>

En la planta segunda los resultados obtenidos son los siguientes, en esta caso se presenta un valor medio de todos los puntos:

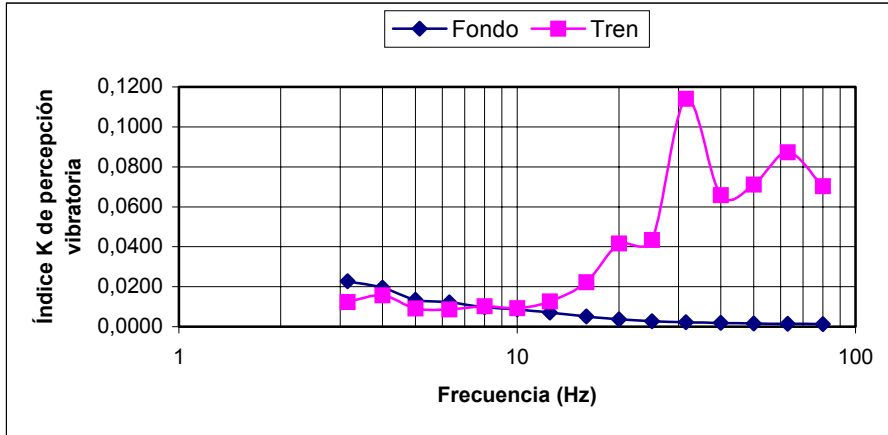
PLANTA SEGUNDA	
<b>Factor K medido</b> - Valor día	<b>0,46</b>
<b>Factor K medido</b> - Valor noche	<b>0,49</b>

En la planta décima los resultados obtenidos son los siguientes, en esta caso se presenta un valor medio de todos los puntos:

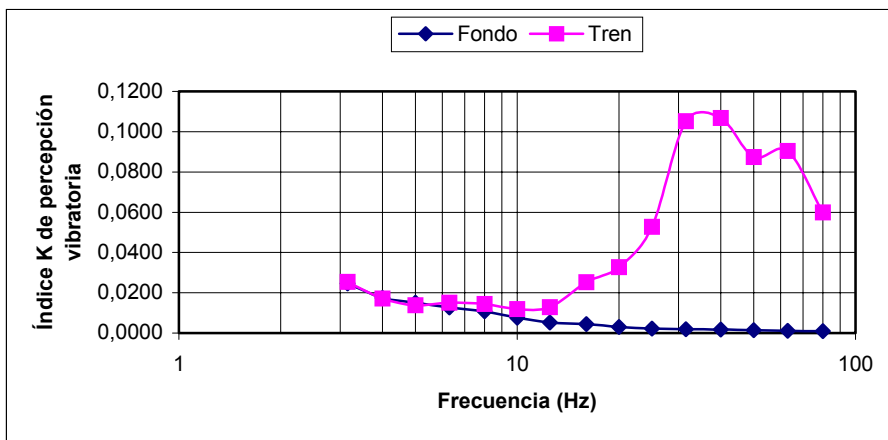
PLANTA DECIMA	
<b>Factor K medido</b> - Valor día	<b>0,77</b>
<b>Factor K medido</b> - Valor noche	<b>0,82</b>

Como se puede comprobar en todos los casos y en todas las plantas, se cumpliría con la normativa vigente en materia de vibraciones, ya que todos los valores están por debajo de  $K=1,4$ , máximo permitido durante la noche y  $K=2$ , máximo permitido durante el día. Sin embargo, a pesar del cumplimiento de la normativa, hay diferencias entre el valor de los espectros cuando hay paso de tren y cuando no lo hay. Esta diferencia puede ocasionar molestias al ser percibidas de forma subjetiva. En las siguientes figuras se puede observar la diferencia entre ambos.

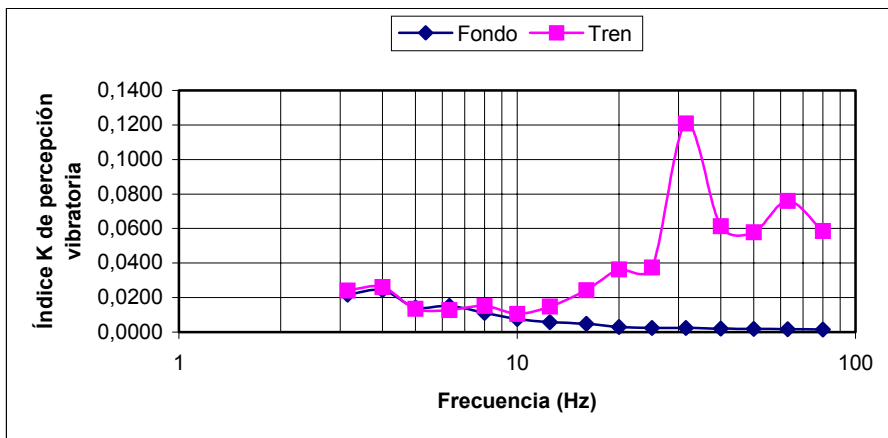
GRÁFICA 1: FACTOR K EN EL PUNTO 4 PLANTA SOTANO 3



GRÁFICA 2: FACTOR K EN EL PUNTO 7 PLANTA SOTANO 3



GRÁFICA 3: FACTOR K EN EL PUNTO 9 PLANTA SOTANO 3



Como se observa existe una diferencia entre el espectro del paso del tren y el espectro de fondo. Esta diferencia puede provocar que a pesar de cumplir con la normativa existan percepción de vibraciones por el usuario final.

**CONCLUSIONES**

Como conclusiones a este trabajo se puede decir que:

En esta caso, y en todos los edificios sobre los que se ha realizado la campaña de medidas, los índices K siempre son inferiores al nivel máximo permitido establecido en el Anexo Sexto del Decreto 78/1999 para recintos de uso residencial, de la Comunidad de Madrid, en horario tanto diurno como nocturno, por lo que se puede concluir que se cumple la legislación vigente en materia de vibraciones.

El análisis espectral de la vibración muestra que existen diferencias entre las vibraciones originadas por el paso del tren y las vibraciones de fondo, por lo que la vibración es susceptible de percibirse y por lo tanto de causar molestia a pesar de cumplir con la normativa vigente. Esto, junto con los elevados valores límites del factor K en la normativa, hace replantearse la idoneidad de seguir trabajando con valores legales demasiado permisivos y tal vez obsoletos.

Se recomienda realizar las medidas de vibraciones, antes de realizar la estructura del edificio sobre la zona de terreno donde se va a realizar el edificio. De este modo, realizando el análisis antes, se podrían realizar medidas correctoras sobre la estructura del edificio para minimizar el efecto de las vibraciones sobre el mismo. Para realizar estas medidas antes de ejecutar la estructura del edificio, se propone, ejecutar una pequeña losa de hormigón de 1 m x 1 m pinchada directamente sobre el terreno, y sobre esta losa realizar medidas para poder realizar una valoración previa sobre el efecto de las vibraciones.

## REFERENCIAS

- [1] Marianna Mirowska, Marek Niemas, Investigation of noise and vibration in dwellings from underground trains, Euronoise 2006.
- [2] A. Crone, T. Astrup, P. Finne. Prediction of vibration and structure-borne noise from railways. INTERNOISE 99. Florida, USA. 1999.
- [3] M. Mirowska, M. Niemas. Investigation of low-frequency noise related to passing underground trains section B18. ITB Report No NA-622/P/05. ITB Warsaw 2005 (in Polish).
- [4] L. Wysokinski, A.Brzoza, W.Kotlicki, R. Rekucki. Assessment of vibrations caused by the operation of the underground railway in section B18. ITBReport No NG-825/P/05.