

APLICACIÓN DE PREDICCIÓN DE LAS VIBRACIONES CAUSADAS POR PASO FERROVIARIO Y TRANVIARIO

PACS: 43.40.At

Donayre Ramírez, J Christian; Marant, Vincent; Aguilera de Maya, Juan Luís
Acusttel – Acústica y Telecomunicaciones
P.I. Benieto – C/ del Transporte, 12
46702 Gandía (Valencia)
España
Tel: 96 286 62 79
Fax: 96 295 41 73
E-mail: vmarant@acusttel.com,
Web: <http://www.acusttel.com>

ABSTRACT

From a simple, fast and reliable methodology, a specific software has been developed for the prediction of the vibrational levels caused by the railway and tram traffic. The calculations take into account the type of train, the superstructure and the soil characteristics. Moreover, this methodology allows dimensioning the necessary protective measures adjusted to each case. The software, which has been validated by several experimental campaigns and comparisons with Finite Elements results, has been already used for real predictive studies of future railway and tram construction projects.

RESUMEN

Se ha desarrollado una aplicación a partir de una metodología sencilla, rápida y fiable para la predicción del nivel vibratorio al paso ferroviario. La metodología tiene en consideración el tipo de material rodante, la superestructura y el terreno. Además, la aplicación también permite dimensionar las medidas protectoras necesarias y ajustadas para cada situación. El método, que ha sido validado con resultados experimentales y comparaciones con cálculos por Elementos Finitos, ya ha sido utilizado para varios estudios predictivos en líneas tranviarias y ferroviarias.

INTRODUCCIÓN

El transporte ferroviario en España, importante en la integración regional y en el desarrollo económico, tiene ventajas importantes por ser un medio de transporte rápido, económico, ecológico y que integra completamente la red ferroviaria española en la europea. Actualmente se está desarrollando el plan estratégico de transporte e Infraestructura, donde el Administrador de Infraestructura Ferroviarias (ADIF) se ha comprometido en construir 10.000 km de líneas para Trenes de Alta Velocidad (TAV) antes del 2020, lo que significa una clara apuesta por el gobierno español en este medio de transporte.

Sin embargo, el paso ferroviario provoca un incremento importante en la contaminación acústica y vibracional [2] [7] que a menudo sobrepasa los límites establecidos por las diferentes normativas locales, nacionales y europeas. Por ello, es necesario realizar estudios predictivos que permitan estimar los niveles de ruido y vibración previos al proyecto de ejecución, a fin de poder tomar a tiempo medidas protectoras adecuadas [8].

En el campo de la acústica existen herramientas de predicción de la propagación acústica que suministran las isófonas en el entorno de las infraestructuras [3]. Aunque es necesario ajustarlas a las distintas tipologías de material móvil, velocidad e infraestructura, la cantidad de recursos computacionales suelen ser razonables y los resultados suelen estar dentro de un margen aceptable. Sin embargo, en el campo vibratorio, no existen herramientas lo suficientemente fiables y que requiera bajos recursos computacionales.

El presente documento muestra una metodología de cálculo sencilla y rápida para la predicción de los niveles vibratorios. La metodología está dividida en cuatro fases; en la primera fase se estima la fuerza provocada en el carril por el material móvil, en función de su peso, velocidad, etc; en la segunda fase, se estima la transmisión de esta fuerza a través de la superestructura de vía, teniendo en cuenta la masa, rigidez y factores de pérdida de cada elemento que componen la plataforma con placa o balasto; en la tercera fase, se estima la transmisión vibratoria en el terreno; en la cuarta y última fase, en función de la molestia prevista en las diferentes edificaciones presentes en las cercanías del trazado, se optimizan las medidas protectoras a incorporar en la superestructura.

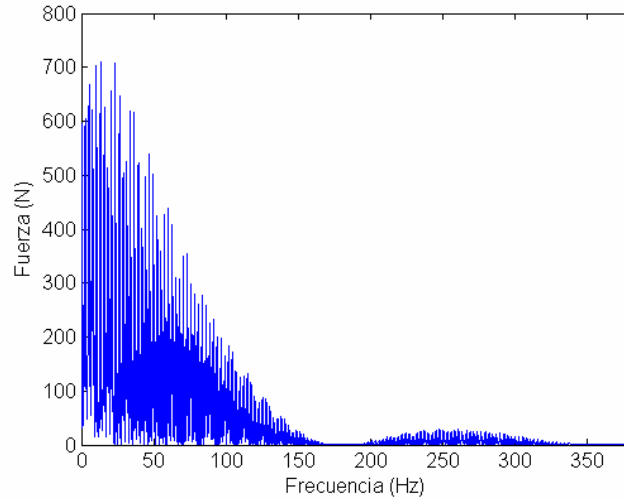
Los resultados obtenidos con este método estimativo son cotejados con medidas experimentales con tránsito ferroviario. Una vez validado el método se muestran algunos resultados obtenidos en futuros tramos de LAV.

DETERMINACIÓN DE LA EXCITACIÓN POR PASO DE MATERIAL RODANTE

En una primera etapa, se estima la fuente de excitación, es decir la fuerza temporal ejercida por las ruedas de los bogies de todas las tipologías de material rodante (tranvías, cercanías, mercancías, trenes de alta velocidad, de medio y largo recorrido) sobre cada punto de los carriles. Para ello, se considera la velocidad más desfavorable, que suele ser la máxima, prevista en el escenario de circulación.

En los cálculos, también se tiene en cuenta posibles irregularidades del contacto ruedas / carril.

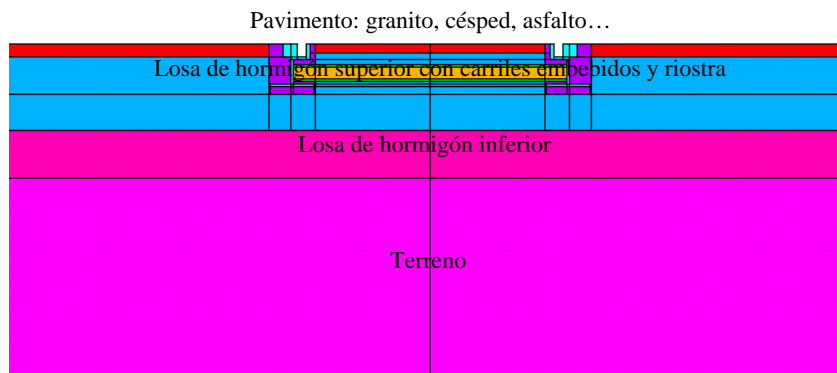
A continuación, se muestra un ejemplo del espectro correspondiente a esta fuerza:



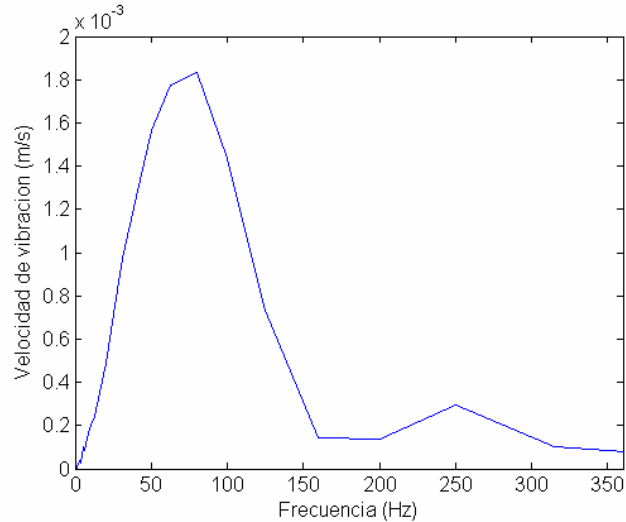
DETERMINACIÓN DE LA PROPAGACIÓN A TRAVÉS DE LA SUPERESTRUCTURA DE VÍA

A continuación, se consideran las masas, las rigideces y los factores de pérdida de todos los elementos que componen las superestructuras de vías, a fin de determinar mediante expresión analítica la respuesta de este sistema masa-muelle a la fuerza excitadora calculada anteriormente.

En el caso de un tranvía, por ejemplo, se tienen en cuenta las propiedades de los componentes de la figura siguiente representando una sección de una vía simple en placa sin medidas protectoras especiales:



Consecuentemente, se obtiene la siguiente respuesta en tercios de octava para una plataforma tranviaria de vía simple en un terreno medio:



DETERMINACIÓN DE LA PROPAGACIÓN EN LOS DIFERENTES TERRENOS

Para tener en cuenta la transmisión en el terreno de las ondas vibratorias calculadas anteriormente, provocadas por cada punto de la superestructura ferroviaria, se aplica la expresión de Barkan [1]:

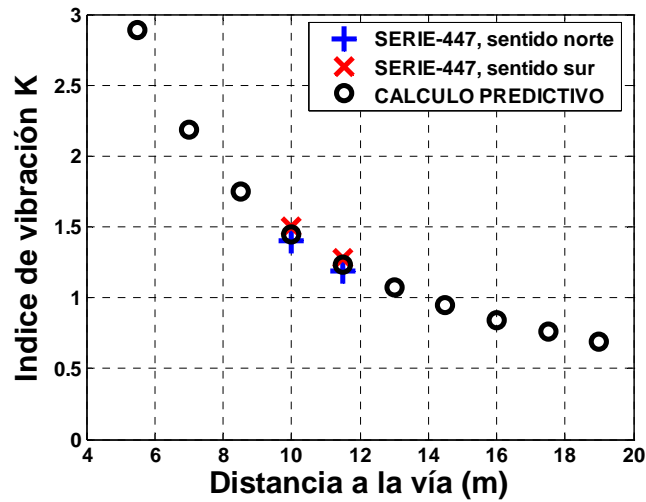
$$v(d) = v(d_0) \cdot \left(\frac{d_0}{d} \right)^\gamma \cdot e^{\alpha(d_0-d)} - K_c$$

donde $v(d)$ es la vibración transmitida a una distancia d del eje del trazado,
 $v(d_0)$ es la vibración producida por la plataforma tranviaria calculada anteriormente a la distancia d_0 , correspondiente a media anchura de la plataforma,
 γ es la atenuación geométrica de cada terreno (considerado homogéneo, isótropo y linealmente viscoelástico), debida a la expansión del frente de ondas y determinada experimentalmente,
 α es la atenuación debida a la disipación de energía por el terreno, considerada generalmente nula, y
 K_c es la atenuación (o amplificación) adicional debida a las cimentaciones y los modos propios de los eventuales edificios presentes. Este parámetro también se suele considerar nulo aunque se puede tener en cuenta en cálculos posteriores más detallado.

VALIDACIÓN DEL MÉTODO PREDICTIVO

Para la validación del modelo se compararon los resultados obtenidos analíticamente y experimentalmente, obteniéndose la siguiente figura para una vía ibérica (sobre balasto sin relleno y con traviesas monobloque) con paso de cercanías serie 447 a 90 Km/h sobre un terreno compuesto por sustrato pleistoceno, arcilla y limo con intercalaciones de grava y arena.

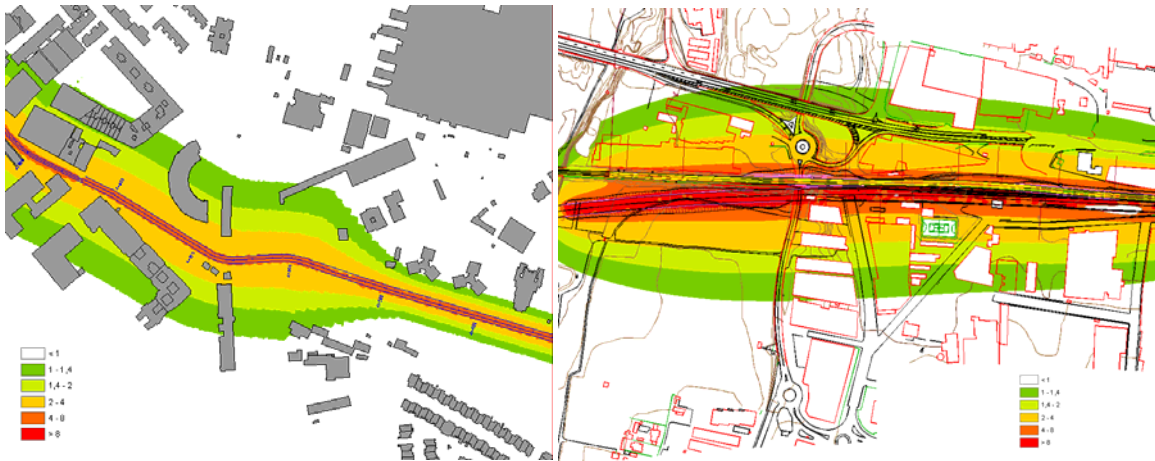
Se observa que efectivamente, sin tener en cuenta las cimentaciones de las edificaciones ni las medidas antivibratorias, se obtienen con ambos métodos resultados coherentes.



RESULTADOS

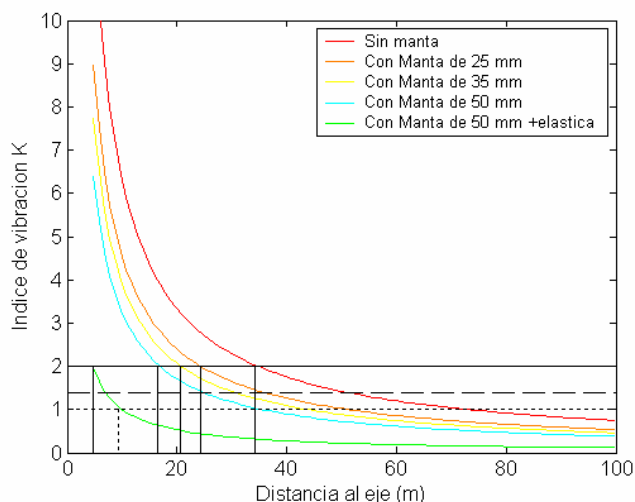
En las siguientes figuras se muestran algunos resultados obtenidos con esta herramienta predictiva. En la figura de la izquierda se muestra el nivel vibratorio al paso simultáneo de dos tranvías a 17 km/h sobre dos terrenos diferentes.

En la figura de la derecha se muestra el nivel vibratorio al paso simultáneo de un tren de alta velocidad circulando por una línea LAV a 220 Km/h y de un tren de cercanías por una línea Ibérica a 90Km/h, sobre dos plataformas diferentes y en el mismo terreno.



A partir de estos resultados, se vuelve a la fase de propagación a través de la superestructura de vías, a fin de dimensionar las medidas correctoras a incorporar de la forma más ajustada en

cada caso, es decir en función de los edificios previsiblemente afectados en cada tramo. En la figura siguiente se muestra un ejemplo de resultado de tal estudio:



CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una aplicación sencilla, rápida y fiable a partir de una metodología para la predicción de niveles de vibración durante el tránsito ferroviario y tranviario.

La metodología está dividida en cuatro etapas y tiene en consideración el tipo y condiciones de material móvil, tipo de superestructura, propiedades físicas del terreno y tipos de medidas protectoras. La validación se realizó comparando los resultados de la aplicación con medidas realizadas con paso de varios tipos de trenes y con cálculos por Elementos Finitos no presentados aquí.

REFERENCIAS

- [1] D.D Barkan. *Dynamics of Bases and Foundations*. McGraw-Hill. 1962
- [2] G. Coquel, P. A H Jean and M. Villot. *Experimental and numerical study of the ground transmission of structure-borne sound generated by trams*. EuroNoise 08 Paris.
- [3] M. Reiter and B. Kostek. *Comparing railway noise prediction results for passengers trains using various model*. EuroNoise 08 Paris.
- [4] G. P Wilson. *Building Isolation Design for Noise Critical Applications*. EuroNoise 08 Paris.
- [5] Hans-Peter Gruetz, A. Said, D. Fleischer, H. Kilcher, Hugo Fastl. *Perception of railway-induced building vibrations*. EuroNoise Naples 2003
- [6] Carpena Ruiz, M.L.; Aguilera de Maya, J.L. *Impacto de vibraciones producidas por trenes subterráneos sobre nuevas construcciones*. Proceedings of Internoise 98, Christchurch, New Zealand, pp. 833-836.
- [7] Norma ISO 2631-2. *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)*. 2003
- [8] Raquel Alvarez Lizana. *Estudio de vibraciones en líneas de alta velocidad*. Jornada Vibraciones causadas por el ferrocarril Análisis y soluciones correctoras. Barcelona 2009.