



PREDICCIÓN Y ENSAYO DE TRANSMISIÓN DE VIBRACIONES EN EL TERRENO PROVOCADAS POR TRENES A.V.E.

PACS: 43.40.At

Alarcón i Rovira, Gabriel (1); Solé Bosquet, Jaume (1); Romeu Garbí, Jordi (2); Genescà, Meritxell (2)

(1)SENER Ingeniería y Sistemas, S.A.;

Avda. Diagonal, 549

08029 Barcelona

Tel. 93 228 33 55; Fax. 93 228 33 22

E-mail: gabriel.alarcon@sener.es

(2)LEAM-UPC;

C/ Colón, 11; 08222

Terrassa (Barcelona)

Tel. 93 739 80 61; Fax.93 739 80 22

E-mail: jordi.romeu@upc.es

ABSTRACT

These latest years Spain has decided to bet on railway infrastructure, mainly in high-speed lines. Apart from the advantages and progress that they provide on, they appear as a possible focus of environmental aggression. Among the involved phenomena we find noise, already well know, but also the soil vibrations transmission, less known and studied in our country.

This paper proposes a practical methodology to test and predict the soil vibration transmission for new high-speed railway lines. It presents an application example and analyses different aspects to be into account.

RESUMEN

Durante estos últimos años España ha hecho una decidida apuesta por las comunicaciones ferroviarias, con especial incidencia en los trazados de alta velocidad. A parte de las indudables ventajas y progreso que estas nuevas líneas suponen, aparecen también como un posible foco de agresión medioambiental. Entre los fenómenos involucrados figura el ruido, del que existe ya una cierta concienciación, pero también las vibraciones transmitidas por vía sólida, más desconocidas y menos estudiadas todavía en nuestro país.

Este artículo propone una metodología para la medición y predicción de la transmisión de vibraciones en proyectos de nuevas líneas ferroviarias de alta velocidad. Presenta un ejemplo de aplicación y analiza los distintos aspectos a considerar.

INTRODUCCIÓN

Las tecnologías de diseño y construcciones de vehículos e infraestructura ferroviarios tienen cada vez más en cuenta los fenómenos vibro-acústicos y se han realizado notables progresos durante los últimos años. Sin embargo, las líneas férreas generan al paso de los trenes ondas de vibración, que se propagan a través del medio sólido (terreno) y alcanzan instalaciones y edificios. Estas vibraciones pueden provocar alteraciones en el bienestar de las personas y en el funcionamiento de aparatos y equipos.

Teóricamente estos fenómenos se acentúan a mayores velocidades de circulación (mayor excitación) [1], por lo que resultan de interés especial en el momento de proyectar líneas de alta velocidad. Más si cabe teniendo en cuenta el importante número de proyectos de esas características que se están definiendo en Europa y, especialmente, en España.

Para predecir el comportamiento de futuras instalaciones de ese tipo podrían utilizarse herramientas de tipo numérico basadas en tecnologías tales como los elementos finitos (FEM), los elementos de contorno (BEM), el análisis estadístico de energía (SEA) o el trazado de rayos (Ray-Tracing); todos ellos usados en vibro-acústica. Sin embargo, hasta el momento ninguno de estos métodos -usados por sí solos- han sido capaces de dar resultados suficientemente precisos, además de necesitar de abundantes datos experimentales para ser alimentados. Factores como el tipo de tren, tipo de ruedas, velocidad, perfil del riel, unión elástica de los rieles, traviesas, características físicas del terreno, etc.; no son fáciles de definir en cuanto a su influencia en el resultado final. Por ello no se ha adoptado oficialmente para la predicción de vibraciones ninguno de estos códigos [2, 3]. Los modelos de comportamiento más fiables hasta el momento son aquellos basados en los ensayos sobre el terreno y en leyes básicas del comportamiento teórico.

Se presenta a continuación una metodología de predicción de vibraciones transmitidas por el terreno en vías AVE basada en ensayos y en métodos numéricos que incluyen leyes de comportamiento físico del terreno.

METODOLOGÍA

La metodología que aquí se presenta está basada en el planteamiento que el Gestor de Infraestructuras Ferroviarias (G.I.F.) solicita en sus Pliegos de Condiciones Técnicas para abordar la predicción de vibraciones transmitidas por el terreno en nuevas líneas AVE. Se basa en los siguientes puntos:

- a) Mediciones de vibración en el emplazamiento objeto de estudio, antes de la circulación de trenes. Se debe determinar un agente excitador de vibraciones o provocar las mismas (ver figura 1).
- b) Análisis de los niveles de vibración obtenidos y determinación de las leyes de comportamiento.
- c) Selección de un emplazamiento geológicamente “similar” en los alrededores de una línea AVE ya existente. Otros aspectos como el de similitud de infraestructura deben ser también considerados.
- d) Mediciones de las vibraciones producidas por la línea AVE en el emplazamiento “similar”.
- e) Análisis de los niveles de vibración obtenidos y determinación de las leyes de comportamiento.
- f) Eventuales correcciones de los valores sobre la base de las posibles diferencias entre el emplazamiento real y el “similar”.



Figura 1: Emplazamiento futuro de una vía AVE y el actual de la vía convencional

Para la realización de las mediciones se clavan estacas en el terreno de unos 40 cm de longitud. Si el terreno es blando se suelen utilizar estacas de sección cruciforme o en T. Si el terreno es duro o incluso rocoso, se utiliza estacas cilíndricas perforando previamente el suelo o la roca y fijándolas mediante cemento (ver figura 2). Los acelerómetros utilizados son de media o alta sensibilidad, en función de la excitación y la distancia de la medida. Se montan estos acelerómetros a distintas distancias del eje de la vía, en función del objetivo perseguido.



Figura 2: Estacas y acelerómetros de medida

La captación se realiza mediante un analizador Pimento (LMS), con ocho canales de entradas simultáneas. Es importante utilizar un sistema que permita conocer con un cierto grado de precisión la velocidad de circulación de los trenes.

MEDICIONES EN EL EMPLAZAMIENTO REAL

El ejemplo elegido para ilustrar este artículo consiste en un emplazamiento cercano al mar, con materiales que datan del Mesozoico medio y superior y de la era cuaternaria. La formación consiste principalmente en piedra caliza y posteriores guijarros insertados en una matriz mixta de arena y arcilla. Se estima que, en esta zona, los trenes circularán a velocidades comprendidas entre 200-240 km/h.

El punto de interés dista 170 metros de la futura línea AVE y existen dos unidades geotécnicas involucradas según el preceptivo estudio geotécnico. A partir de las características físicas de los materiales de estas zonas, se aplica la expresión para el cálculo de las ondas de superficie [4]:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

siendo ρ la densidad del terreno y G el módulo a cortante. Para estas dos zonas se obtuvieron valores de 384 m/s y 1924 m/s respectivamente.

Las distancias escogidas para las mediciones fueron 3,70 m; 10 m; 25 m; 50 m y 100 m del centro de la vía (ver figura 3). También se situó un acelerómetro en el soporte del riel. La velocidad máxima de circulación en esta zona es de 140 km/h. Algunos de los trenes registrados se resumen en la Tabla 1.



Figura 3: Algunos puntos de medición

<i>Núm.</i>	<i>Tipo de tren</i>	<i>Dirección</i>	<i>Velocidad</i>
1	Talgo ARCO	Norte	135 km/h
2	Express ARCO	Norte	141 km/h
3	Euromed	Sur	131 km/h
4	Euromed	Norte	127 km/h
5	Express ARCO	Norte	146 km/h
6	Cargo carrier	Sur	45 km/h

Tabla 1: Algunos trenes registrados en el emplazamiento real

En la figura 4 se muestra un ejemplo de las señales temporales de velocidad obtenidas.

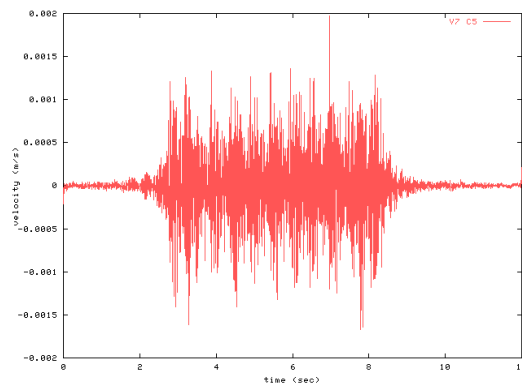


Figura 4: Señal temporal de vibración obtenida (velocidad)

Para determinar las características físicas del terreno en cuanto a la transmisión de vibraciones se utiliza la expresión de Barkan para un semi-espacio homogéneo:

$$v_z(r, \omega) = v_z(r_1, \omega) [r / r_1]^{-n} \exp[-a(r - r_1)],$$

con:

$$a = 2pb^s / l_R$$

En esta expresión, n representa el amortiguamiento por radiación, que depende del tipo de mecanismo de propagación y α es el coeficiente de amortiguamiento del material. Este coeficiente depende de β_S o índice de amortiguamiento material por histéresis y de λ_R o longitud de onda de Rayleigh en el semi-espacio [5].

Aproximando los distintos valores obtenidos a esta expresión (ver figura 5), se obtienen unos valores de $n=0,85$ y $\alpha=0,017$ con una excelente curva de regresión. El valor de n se encuentra

entre los teóricos $n=0,5$ (respuesta dominada por ondas de superficie) y $n=2$ (ondas sólidas) [6].

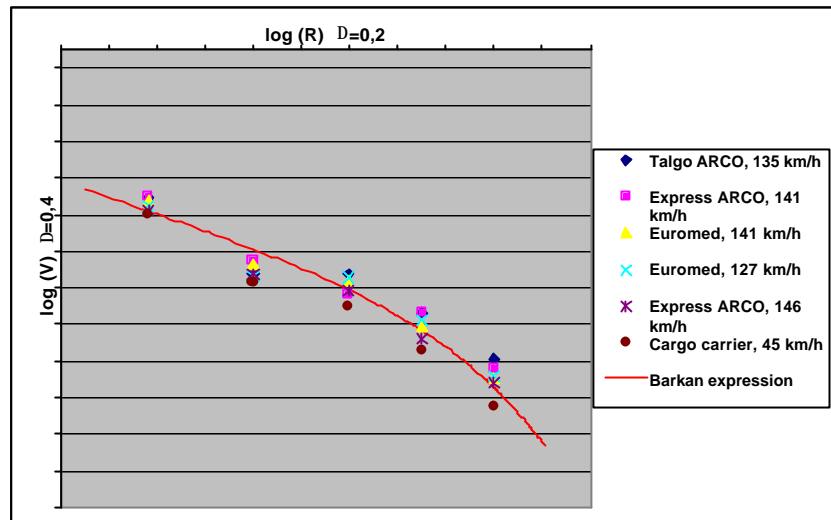


Figura 5: Aproximación de las mediciones obtenidas a la expresión de Barkan

MEDICIONES EN EL EMPLAZAMIENTO “SIMILAR”

Una vez localizado un emplazamiento “similar” desde el punto de vista geológico y de infraestructura (en este caso en la localidad de Santa Magdalena de Pulpis, Castellón), se procede con la misma metodología que la descrita en el apartado anterior. Los valores obtenidos fueron de $n=0,80$ y $\alpha=0,015$, muy cercanos a los deducidos en el emplazamiento objeto del estudio.

En este punto, los trenes circulan a velocidades semejantes a las proyectadas en el emplazamiento objeto del estudio, como lo muestra la tabla 2 (ver figura 6).

Núm.	Tipo de tren	Dirección	Velocidad
1	Talgo ARCO	Sur	205 km/h
2	Express ARCO	Norte	197 km/h
3	Talgo ARCO	Sur	197 km/h
4	Euromed	Norte	203 km/h
5	Cargo carrier	Norte	100 km/h
6	Euromed	Sur	197 km/h
7	Express	Norte	162 km/h
8	Regional train	Norte	150 km/h
9	Talgo ARCO	Sur	205 km/h
10	Euromed	Norte	200 km/h

Tabla 2: Algunos trenes registrados en el emplazamiento “similar”



Figura 6: Tren AVE (Euromed) a su paso por el emplazamiento "similar"

CONCLUSIONES

Este artículo muestra la metodología seguida para la determinación de los parámetros físicos del terreno que intervienen en la transmisión de vibraciones. Una vez determinados éstos en el emplazamiento de interés y en otro de similares características geológicas se pueden establecer comparaciones entre ambos. En el mejor de los casos (óptima correlación), podrán utilizarse los valores medidos en el segundo como predicción para el primero. Aunque lo más habitual será utilizar la ley de propagación obtenida en el primer caso y los valores de excitación (con trenes AVE y velocidades adecuadas) para realizar la predicción, tras los correspondientes ajustes de las leyes.

El trabajo descrito es un ejemplo de metodología a seguir para la predicción de vibraciones de las futuras líneas AVE a proyectar.

REFERENCIAS

- [1] V.V. Krylov. *Ground vibrations generated by superfast trains*. Noise & Vibration worldwide, vol.25, No. 6. 1994.
- [2] A. Crone, T. Astrup and P. Finne. *Prediction of vibrations and structure-borne noise from railways*. Inter-Noise 99, Fort Lauderdale, Florida, EEUU, 1999.
- [3] F. Rossi. *Soil vibration by high-speed trains: an evaluation method*. Transport Noise and Vibration, St. Petersburg. Russia, 2002.
- [4] R. Luna and H. Jadi. Determination of dynamic soil properties using geophysical methods. Proceedings of the First International Conference on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure, S. Louis. EEUU, 2000.
- [5] G. Degrande and L Schillemans. *Free field vibrations during the passage of a Thalys high-speed train at variable speed*. Journal of Sound and Vibration, 247. 2001.
- [6] H. Amick and M. Gendreau. *Construction vibrations and their impact on vibration-sensitive facilities*. ASCE Construction Congress, Orlando. EEUU, 2000.