

# **Método para la comparación y caracterización del ruido de paso en trenes de alta velocidad**

**Juan de Dios Sanz Bobi**

Profesor, Universidad Politécnica de Madrid, España

**Pablo Crespo García**

Ingeniero de proyectos del área de simulación, CITEF-UPM, España

**Juan Andrés Brunel Vázquez**

Ingeniero de proyectos del área de instalaciones, CITEF-UPM, España

## **RESUMEN**

El ferrocarril está llamado a ser uno de los modos de transporte del futuro tanto para mercancías como para viajeros. Esto conduce a la necesidad de reducir los efectos negativos que la explotación ferroviaria produce, y entre ellos los más relevantes son el ruido y las vibraciones, que causan molestias a usuarios y habitantes cercanos y perturbaciones en infraestructuras propias de la red o cercanas a la misma.

En el trabajo de investigación que aquí se resume, se ha realizado un estudio teórico exhaustivo de los fenómenos de emisión de ruido ferroviario analizando sus causas y parámetros de influencia. A partir de este estudio, se ha elaborado una metodología completa y sencilla para la caracterización del ruido de paso que cubre todas las fases necesarias, desde la adquisición de datos de ruido, hasta la obtención de resultados numéricos y de forma gráfica a través de una herramienta software desarrollada a tal efecto.

De las distintas metodologías de caracterización se escogió, por ser la más representativa para el estudio, la caracterización del ruido de paso de vehículos (a velocidad constante).

La herramienta informática, la metodología en sí y sus resultados han sido comprobados y ratificados con ensayos reales en las instalaciones de Alta Velocidad de la red española, registrándose el paso de diferentes composiciones. Además se puede afirmar que cumplen con las especificaciones y restricciones establecidas por la normativa vigente en España y Europa.

Este trabajo ha sido desarrollado en el Centro de Investigación en Tecnologías Ferroviarias (CITEF), centro ligado a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

# **1. INTRODUCCIÓN**

## **1.1 Marco de referencia**

El presente trabajo se encuadra dentro del área de dinámica y medidas de seguridad ferroviaria, en concreto en el estudio de la influencia de la generación de ruido y vibraciones y su repercusión en el confort de los agentes implicados en la explotación de líneas ferroviarias.

El desarrollo de este estudio se realiza dentro de la línea de trabajo de planificación y dimensionamiento de instalaciones ferroviarias que lleva a cabo el CITEF (Centro de Investigación de Tecnologías Ferroviarias) y con aplicación en la planificación y gestión de las líneas ferroviarias de nueva construcción en las cuales está participando este Centro.

## **1.2 Alcance del problema**

El efecto del ruido y de la vibración es uno de los puntos más relevantes en contra de la expansión del ferrocarril, sobre todo en núcleos urbanos. Estos efectos producen consecuencias negativas.

- En los usuarios de la red, provocándoles disconfort.
- En los ciudadanos de zonas cercanas a la explotación ferroviaria.
- En la propia red, disminuyendo la vida útil de los componentes implicados y aumentando por tanto el coste de mantenimiento.

Esta problemática se ha convertido en un asunto muy a tener en cuenta por los promotores de las explotaciones ferroviarias y por las administraciones de muchos países. Éstas han propuesto normativas regulatorias, en las que se llega a un compromiso entre la disminución del efecto negativo del ruido y las vibraciones, y el servicio de trenes y sus prestaciones. Este hecho ha provocado una conciencia creciente en la comunidad ferroviaria sobre la necesidad de métodos que reduzcan el ruido y las vibraciones en sus mismas fuentes y sobre todo en métodos de evaluación y caracterización del problema que sean eficaces, rápidos, consistentes y acuerdo a la normativa en vigor.

## **1.3. Antecedentes**

Para poner remedio a un importante problema en el ferrocarril como es el ruido, primero es necesario caracterizar el mismo de forma que sea fácilmente medible y comparable. Por ello, se ha realizado un amplio estudio del estado del arte en la materia.

Se ha centrado el estudio en los métodos existentes para la caracterización del ruido ferroviario. Destaca por un lado el proyecto Harmonoise[1][2] del quinto programa marco, este proyecto se finalizó en 2005 para buscar la definición de todas las directrices de

medición y tratamiento del ruido ferroviario y sus parámetros de influencia con el objetivo de un futuro método de caracterización armonizado para toda la UE en la década presente.

Por otro lado se ha analizado el método holandés RMR [3][4] es el método en el que se basan las directrices de Harmonoise y el recomendado por la directiva europea 2002/49/CE [5] sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. Este método permite categorizar tanto los vehículos como las vías en distintas categorías predefinidas según el nivel de ruido. Es el método seleccionado por la Unión como interino para el tratamiento del ruido ferroviario en Europa hasta que surja un método armonizado del proyecto Harmonoise.

Por último se ha llevado a cabo un estudio de la normativa relacionada, entre la que destaca la ISO 3095:2005 [6], medición del ruido de vehículos que circulan sobre carriles y la Especificación técnica de interoperabilidad referente al subsistema “material rodante-ruido”[7] Estas normativas presentan las directrices de medición del ruido ferroviario en diferentes situaciones (ruido de paso, aceleración frenada, estacionario, etc. y aportan los límites de nivel sonoro que han de tener las magnitudes medidas.

#### **1.4. Objetivos del presente estudio.**

El presente estudio ha tenido tres objetivos primordiales divididos en cada una de las fases de ejecución de los trabajos.

- El primero ha sido realizar un profundo repaso a los estudios existentes a nivel europeo en esta materia, centrándose en los proyectos recientes dedicados a los métodos de medida y análisis de los distintos tipos de ruido (rodadura, tracción, aerodinámico, etc.), así como un profundo estudio de la metodología de caracterización del problema propuesta por la normativa vigente
- El segundo ha sido el desarrollo de una metodología de caracterización del problema propia, eficaz, adaptable y compatible con la de la normativa incluyendo una herramienta software de cálculo correspondiente para facilitar dicha caracterización.
- Por último uno práctico basado en la realización de ensayos en campo, con el objetivo de obtener los datos necesarios para validar las metodologías y comprobar el correcto funcionamiento de las herramientas desarrolladas, así como para ejemplificar algunos de los fenómenos físicos descritos.

## **2. CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO FERROVIARIO.**

### **2.1. Acercamiento teórico a la caracterización del ruido de paso.**

La normativa categoriza el ruido según el tipo de vehículo y el estado de movimiento que posea para su caracterización. Así se distingue el ruido de los vagones de mercancías con el del resto de vehículos, y a su vez se distingue ruido de puesta en marcha, aceleración,

frenado, de paso, velocidad constante, estacionario y en parada. Esto es debido a que cada categoría tiene unas directrices de medida distintas y límites sonoros también distintos. El ruido al paso de puentes se trata como una categoría especial por sus particularidades.

El ruido de paso caracteriza trenes que circulan con velocidad constante, las magnitudes a medir son: para trenes completos (donde se incluyen los trenes de un solo vehículo) el nivel de exposición sonora al tránsito, TEL, o el nivel de presión sonora continuo equivalente, ponderado A,  $L_{pAeq, Tp}$ , en el tiempo de paso. Para partes de trenes se medirá también esta última magnitud.

Se define el nivel de exposición sonora al tránsito, TEL, como: el nivel de presión sonora, ponderado A, del paso de un tren, medido durante un intervalo de tiempo T y normalizado al tiempo de paso  $T_p$ . TEL viene dado por la siguiente ecuación (1) en dB:

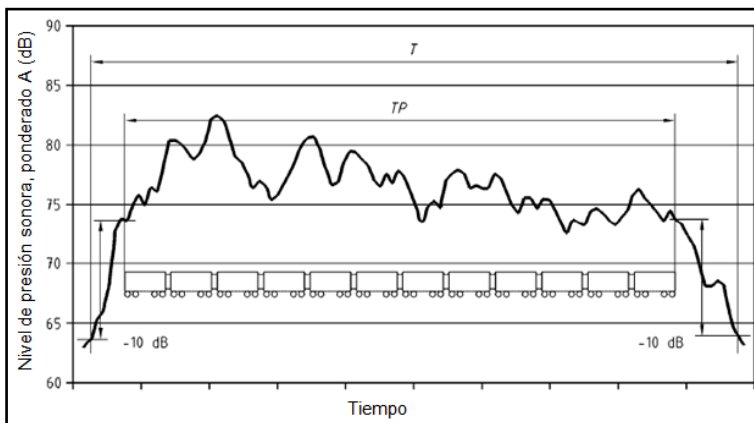
$$TEL = 10 \log \left( \frac{1}{T_p} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) (dB) \quad (1)$$

Donde: T es el intervalo de tiempo de medición en segundos,  $T_p$  es el tiempo de paso del tren,  $p_A(t)$  es la presión sonora instantánea, ponderado A, dada en Pa;  $p_0$  es la presión sonora de referencia ( $p_0 = 20 \mu Pa$ ).

Por su parte el nivel de presión sonora continuo equivalente, ponderado A, en el tiempo de paso ( $L_{pAeq, Tp}$ ) se define en la ecuación 2.

$$L_{pAeq, Tp} = 10 \log \left( \frac{1}{T_p} \int_{T_1}^{T_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right) (dB) \quad (2)$$

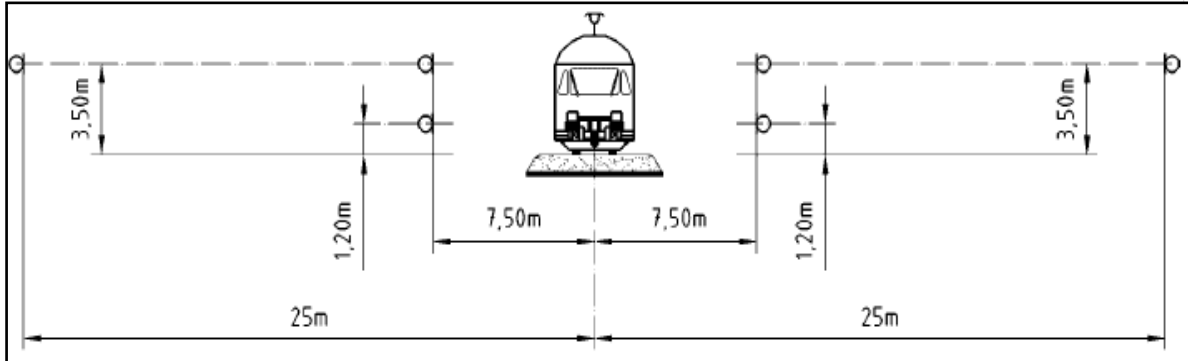
Esta magnitud se relaciona con el tiempo de medición total, sabiendo que este último tiene que ser suficiente al menos para que antes y después del paso del tren el nivel sonoro sea 10dB menor que durante su paso como se muestra en la figura 1.



**Fig.1. Selección del intervalo de tiempo de medición, T, para un tren completo. [5]**

## 2.2. Condiciones de medida del ruido de paso a velocidad constante

Las citadas normativas especifican con rigor todas las condiciones de ensayo para cada tipología de vehículo. Se definen las características de la instrumentación y su ubicación, así como se los parámetros relativos a la circulación (estado del vehículo, velocidad, pesos, etc.), relativos a la infraestructura (condiciones de la vía, pendiente, curvatura, etc.) y a las condiciones ambientales o entorno acústico.

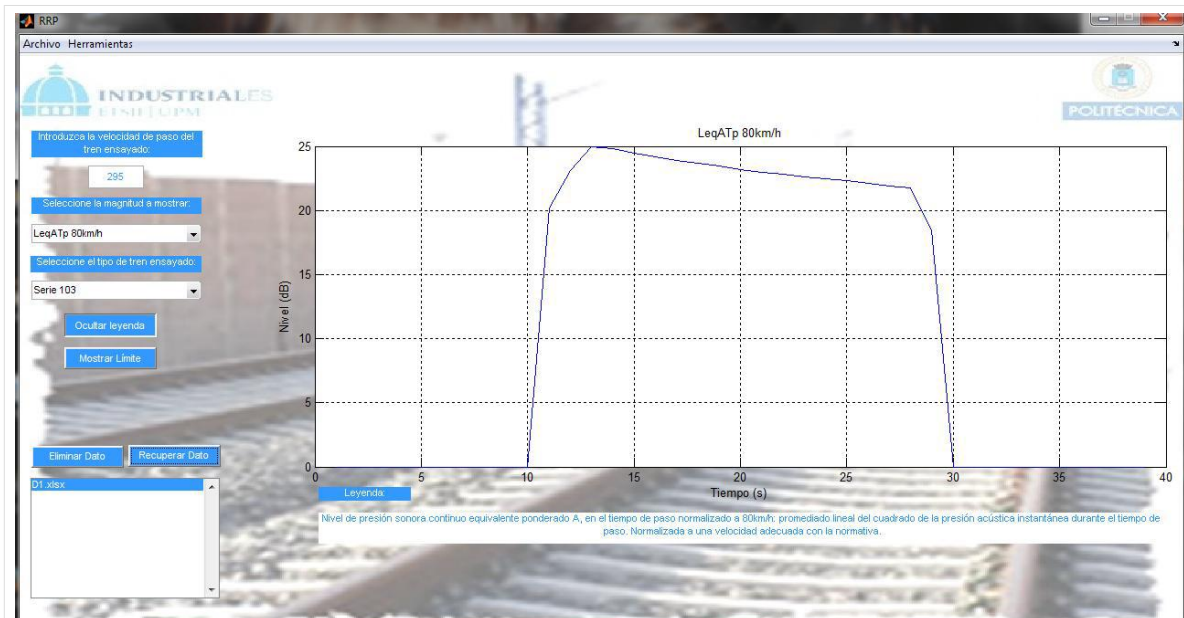


**Fig.2. Posiciones laterales de los micrófonos para mediciones en vehículos con velocidad constante**

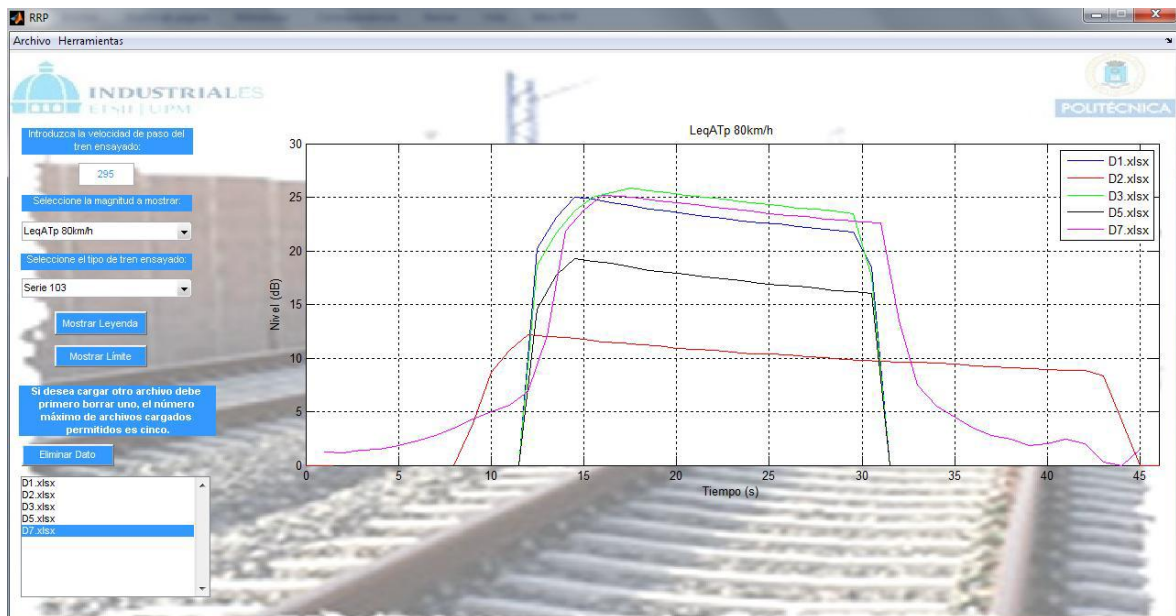
## 3. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL RUIDO DE PASO.

Aprovechando la potencia de cálculo matemático del software comercial MATLAB, y la posibilidad que tiene implementada de programar software independiente de forma ágil y con entornos visuales atractivos, se decidió emplearlo para el desarrollo de la herramienta informática, que fue bautizada como RRP, representación del ruido de paso

La interfaz de la herramienta se muestra en las figuras 3 y 4. Como dato de partida necesita uno o varios archivos de base de datos (el de salida del sonómetro) y la velocidad del vehículo que se introduce en el cuadro de texto por parte del operador.



**Fig 3: Interfaz de la herramienta con datos cargados**



**Fig 4. Interfaz de la herramienta con datos cargados. Comparación**

La herramienta RRP es capaz de mostrar y graficar todas las magnitudes medidas, y realizar los cálculos necesarios para adecuar estas magnitudes a la normativa y calcular a su vez los parámetros necesarios para ello (tiempo de paso, normalización de medidas a 80km/h, etc.).

También permite comparar los valores normalizados ( $TEL$  y  $L_{pAeq,Tp}$  a 80km/h) entre diversas medidas. Para que la comparación tenga una mejor visualización, la herramienta normaliza las medidas en el tiempo, haciendo coincidir los tiempos medios de todas las señales con el de la señal de mayor duración, para que los resultados queden encuadrados en la gráfica de comparación. Además se pueden comparar todas ellas con el nivel sonoro

permitido por la ETI, que es otra de las características que permite la herramienta programada.

#### **4. ENSAYOS DE VALIDACIÓN REALIZADOS**

Los ensayos realizados para la caracterización del ruido de paso, se utilizó un sonómetro integrador promediador de clase 1. Fueron realizados sobre las instalaciones de alta velocidad de ADIF, en la línea Madrid-Barcelona a la altura de Brihuega (Guadalajara), y se registraron medidas de diferentes composiciones de alta velocidad (serie 102 y 103 de RENFE por ejemplo) y de velocidad alta (Composición de locomotora Talgo 252 y coches cama)

Las medidas realizadas cumplen todas las directrices que la normativa específica tanto en instrumentación utilizada, como en entorno acústico, condiciones ambientales, condiciones de vehículo y vía, etc.

Las medidas fueron empleadas para la demostración de la funcionalidad de la herramienta desarrollada, y para verificar su correcto funcionamiento con datos reales medidos en campo.

#### **5. CONCLUSIONES**

El presente proyecto de investigación ha dado un amplio y profundo repaso al problema del ruido en el tránsito ferroviario, analizando pormenorizadamente los mecanismos físicos que intervienen en el proceso y los parámetros y factores implicados en el mismo.

La metodología descrita para la caracterización del ruido de paso es compatible con la propuesta por la normativa, conteniendo esta metodología una herramienta informática que cumple con los requisitos establecidos, permitiendo la realización de los cálculos necesarios que se exigen de manera sencilla y rápida a partir de las mediciones.

Además la herramienta permite la representación de gran cantidad de magnitudes sonoras (todas las registradas por el sonómetro y otras calculadas en base a la normativa) y la comparación de magnitudes entre distintos archivos de registros (hasta cinco).

El manejo de la herramienta es asequible para cualquier usuario con cierto conocimiento de informática, ya que posee una interfaz gráfica muy visual e intuitiva, siendo además muy rápido en el cálculo y evaluación de parámetros gracias a la potencia de Matlab.

Los ensayos realizados han permitido verificar la funcionalidad de la herramienta desarrollada, además de ser adecuados para la correcta caracterización del ruido de paso (a velocidad constante) y permitir la realización de diversas comparaciones entre vehículos,



lo que ayuda a la comprensión del fenómeno. A su vez estos ensayos podrán ser comparados con otros realizados en diferentes condiciones como en zonas con barreras sonoras, zonas de curva pronunciada, etc. que ayudaran también a una profundización en la comprensión del fenómeno.

## **REFERENCIAS**

[1] Harmonised Accurate and Reliable Methods for the EU Directive on the Assessment and Management Of Environmental Noise) IMAGINE (Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment.

[2] Van der Stap, P. Verheijen, E. Van Beek, A. Beuving, M. Dittrich, M. Talotte, C. Ringheim, M. Zang, X. Johanssen, H. (2004) Harmonoise deliverable 13 part 2, Practical datacollection for the Harmonoise source model: measurement guidelines & analysis. HAR12TR-031203 –AEA12.

[3] Ruido de trenes: método de cálculo de los Países Bajos, publicado en “Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai ’96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996

[4] Tellado, N. Eguiguren, J.L. Aspuru, I (2003). Revisión del método Holandés de caracterización acústica de trenes para su aplicación en la directiva 2002/49/ce sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. Tecni-acústica 2003 Bilbao, España.

[5] DIRECTIVA 2002/49/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L189/12-25, 18.7.2002

[6] UNE-EN ISO 3095. Aplicaciones ferroviarias. Acústica. Medición del ruido emitido por vehículos que circulan sobre carriles. (ISO 3095:2005).

[7]. Especificación técnica de interoperabilidad referente al subsistema «material rodante-ruido» del sistema ferroviario transeuropeo convencional. Ruido emitido por vagones de mercancías, locomotoras, unidades acopladas y coches de pasajeros.