

# Influencia de la rugosidad de rueda y carril en la generación de vibraciones

La rugosidad de rueda y carril es uno de los principales mecanismos de generación de vibraciones. El artículo aborda la aportación de cada una de las rugosidades al nivel de vibración resultante en hastial de túnel.

“Rueda y carril constituyen un sistema expuesto al desgaste, éste, comporta la pérdida progresiva de la forma original de los perfiles de rueda y carril a lo largo del tiempo”

JOAN CARDONA  
SALVADOR GALCERAN

El efecto combinado de las rugosidades de rueda y carril es uno de los principales mecanismos de generación de vibraciones, lo que exige el mantenimiento periódico de dichas superficies para mejorar el confort del vehículo y reducir la generación de ruido y vibraciones.

Rueda y carril constituyen un sistema expuesto al desgaste, ya que la rueda describe un movimiento de rodadura y deslizamiento sobre el carril, transmitiéndose esfuerzos de un componente a otro a través del contacto entre ambas superficies. El desgaste comporta la pérdida progresiva de la forma original de los perfiles de rueda y carril a lo largo del tiempo.

El desgaste ondulatorio es el modo más habitual de desgaste. De acuerdo con el documento UIC 712, se distingue entre desgaste ondulatorio de onda corta ( $3 \text{ cm} < \lambda < 8 \text{ cm}$ ), onda media ( $8 \text{ cm} < \lambda < 30 \text{ cm}$ ) y onda larga ( $\lambda > 30 \text{ cm}$ ). El ondulatorio de onda corta se debe a las oscilaciones por deslizamiento de las ruedas y se caracteriza por la presencia de crestas brillantes y de valles oscuros sobre la superficie de rodadura. El de onda larga se produce como consecuencia de resonancias entre los movimientos vibratorios de los ejes sobre la vía y la frecuencia vertical propia de ésta. Se caracteriza por desniveles más o menos acentuados de la superficie de rodadura con respecto a un nivel rectilíneo ideal.

## Ruido, vibraciones y rugosidad en infraestructuras ferroviarias

La generación de vibraciones en infraestructuras ferroviarias es debida a las cargas que se generan en el contacto rueda-carril. Estas cargas provocan una excitación quasi-estática, debida al desplazamiento de la componente estática de la carga de los ejes a lo largo de la vía, y una excitación dinámica, debida a la rugosidad de las superficies de contacto así como a la variación espacial de la rigidez de la vía.

La vibración generada en el contacto rueda-carril se transmite al terreno pasando por las traviesas y el lecho elástico (balasto o placa de hormigón). A su vez, dicha vibración genera ruido aéreo. Es conocido que para frecuencias inferiores a 500 Hz, la mayor contribución al ruido generado por el sistema proviene de las traviesas, que vibran inducidas por el contacto rueda-carril. También es conocido que la rugosidad de las superficies de la rueda y carril es la principal fuente de ruido para velocidades comprendidas entre 60 y 250 km/h, ya que por deba-

jo de 60 km/h la fuente de ruido principal es la propia maquinaria incorporada al tren, mientras que por encima de 250 km/h la fuente de ruido principal es la componente aerodinámica.

Los dos documentos normativos que hacen referencia a la rugosidad del carril son las normas ISO 3095:2005. Railway applications-Acoustics-Measurement of noise emitted by railbound vehicles y la norma ISO 3381: 2007. Railway applications-Acoustics-Measurement of noise inside railbound vehicles, que definen las condiciones de ensayo para determinar el ruido emitido por los trenes así como el ruido en su interior, respectivamente.

Estas normativas en ningún caso tratan el fenómeno vibratorio. Asimismo, tampoco existe otra normativa que relacione nivel de vibración y rugosidad de carril. Por tanto, las especificaciones de estas normas en relación a los límites de rugosidad se toman como referencia.

La práctica más habitual es considerar la combinación de las rugosidades de rueda y carril, por lo que se define la rugosidad combinada,  $L_{r,T}$ , como la suma energética de las rugosidades de la rueda,  $L_{r,w}$ , y del carril,  $L_{r,r}$ .

Algunos autores han publicado datos experimentales que relacionan el nivel de rugosidad con el nivel sonoro, sin embargo, apenas se encuentran datos sobre la relación entre rugosidad y nivel de vibración, ni tampoco un modelo que relacione ambas variables, aunque sí es conocida la influencia del nivel de rugosidad sobre

$$L_{r,T}(\lambda) = L_{r,w}(\lambda) \oplus L_{r,r}(\lambda) = 10 \cdot \log \left( 10^{\frac{L_{r,w}(\lambda)}{10}} + 10^{\frac{L_{r,r}(\lambda)}{10}} \right) \quad (1)$$

el nivel de vibración puesto que la mayoría de operadores ferroviarios realizan labores de mantenimiento de ruedas y carriles con el objetivo de reducir las vibraciones.

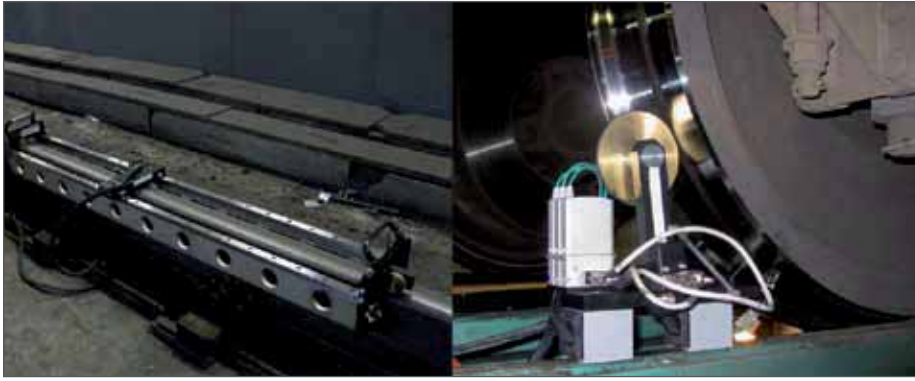
## Metodología de estudio

La determinación de la influencia de la rugosidad de rueda y carril sobre el nivel de vibración se lleva a cabo de forma experimental, contando para ello con la participación de los Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya, FGC, que cedió sus instalaciones para el desarrollo de las medidas experimentales.

Los ensayos experimentales se llevan a cabo en diferentes puntos de la red de cercanías de los Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya, FGC, en secciones en túnel, por lo que los registros de vibración se realizan en el hastial, a una altura de 1,5 m. Por lo que respecta a la rugosidad, las medidas se realizan sobre los



Vista de un carril con desgaste ondulatorio de onda corta.



Vista de los dos sistemas de medida de rugosidad: a) módulo de carril y b) módulo de rueda.

carriles interior y exterior y en diferentes secciones próximas al punto de medida de vibración.

Para las medidas de vibración se utilizan acelerómetros que registran la señal simultáneamente en las tres direcciones ortogonales (x,y,z), mientras que para la medida de la rugosidad se utilizan los módulos de carril, TRM02, y de rueda, RRM02, del dispositivo de medida de rugosidad de ØDS.

A partir de los registros de rugosidad en diferentes secciones de un mismo emplazamiento y de diferentes ruedas de un mismo tren, se calcula el espectro promedio de rugosidad característica del emplazamiento y del tren, respectivamente.

**Resultados**

Los resultados experimentales muestran que la rugosidad de un carril nuevo presenta un contenido energético elevado en la zona de bajas longitudes de onda, debido a las irregularidades del acabado superficial. A medida que el carril se va desgastando este comportamiento se invierte, de forma que la rugosidad en bajas longitudes de onda va disminuyendo mientras que la rugosidad en longitudes de onda elevadas aumenta.

Después de un reperfilado de la cabeza del carril, la rugosidad disminuye en todas las longitudes de onda del espectro, especialmente en longitudes de onda elevadas, lo que indica que el reperfilado del carril es eficiente para reducir el desgaste ondulatorio, también conocido como corrugación. Por lo que respecta a la rugosidad de rueda,

los resultados demuestran que el torneado les devuelve su geometría original, con lo que se reduce la rugosidad en longitudes de onda elevadas.

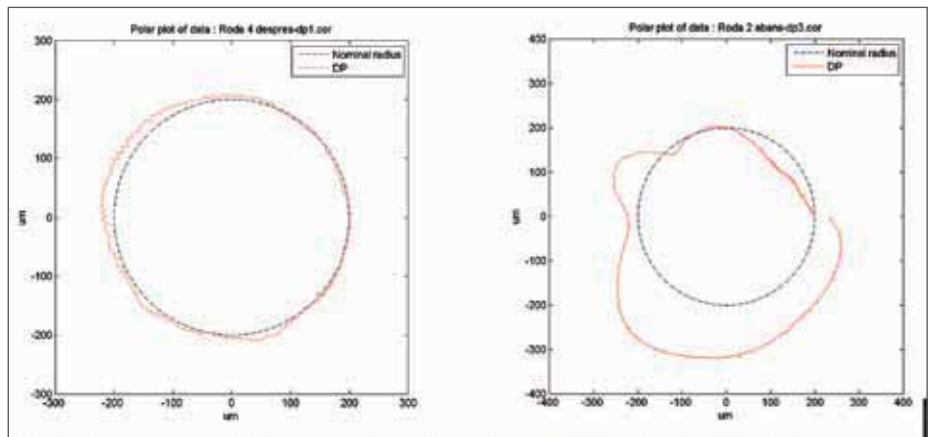
Por otro lado, los resultados muestran que el reperfilado de los carriles provoca

una disminución del nivel de vibración en pared de túnel de 8,5 dB (efectiva a partir de 31,5 Hz), mientras que la mejora de la rugosidad y de la geometría de la rueda provoca una disminución de 4,6 dB, efectiva a partir de 20 Hz. Por tanto, el efecto combinado de la rugosidad de rueda y carril es de 13,1 dB.

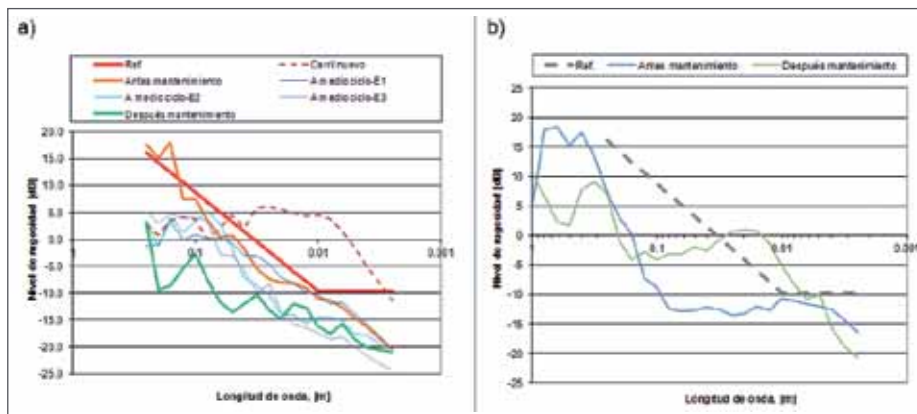
**Conclusiones**

Las conclusiones que se derivan de la investigación llevada a cabo en colaboración con los Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya son:

- El reperfilado de los carriles provoca una disminución de la rugosidad en todo el espectro de longitudes de onda, especialmente en elevadas longitudes de onda.
- Esta reducción de la rugosidad de carril se traduce en una reducción de 8,5 dB en el nivel de vibración en pared de túnel.
- El torneado de las ruedas del material mó-



Geometría y vista de la superficie de rodadura de una rueda antes y después del torneado.



Espectros de a) rugosidad de carril y b) rugosidad de rueda.

vil provoca una mejora de su geometría y, consecuentemente, una reducción de la rugosidad en la zona de longitudes de onda elevadas.

- Esta mejora de la geometría de las ruedas provoca una reducción de 4,6 dB en el nivel de vibración en pared de túnel.
- El efecto combinado de las rugosidades de rueda y carril provoca una variación del nivel de vibración en hastial de 13,1 dB. ■

*Joan Cardona. Director Técnico AV Ingenieros.  
Salvador Galceran. Responsable de proyectos de infraestructuras de Ferrocarriles de la Generalitat de Catalunya, FGC.*