



ESTUDIO DEL ESPECTRO DE RUIDO DE RODADURA Y EL PERFIL LONGITUDINAL EN VÍAS CON ALTA DENSIDAD DE TRÁFICO

*Víctor Fernández Vázquez**
Ángel María Martínez García-Hoz
Fernando Terán Sierra
Santiago Expósito Paje

Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil.
Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real, España.

RESUMEN

Uno de los retos de las sociedades actuales es el desarrollo de vías de comunicación urbanas e interurbanas, que cumplan unos exigentes niveles respecto a la reducción del impacto ambiental, así como a la mejora de la seguridad en la conducción y la calidad de vida de las personas que desarrollan su actividad cerca de ellas. El empleo de vehículos eléctricos ha permitido reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, la generación del ruido de rodadura sigue estando presente en este tipo de vehículos, especialmente cuando la velocidad de circulación supera los 40 km/h. El ruido de rodadura es la fuente que más contribuye en el ruido ambiental en el entorno de vías con alta densidad de tráfico. A su vez, los altos niveles de contaminación acústica pueden producir problemas de salud en los residentes de estas zonas. Este trabajo se centra en el estudio del ruido de rodadura de una vía con alta densidad de tráfico. Las medidas se realizaron mediante metodología CPX con cámara semianecoica, y se compararon con el perfil de carretera obtenido con perfilómetro láser, con el fin de establecer los niveles de textura de la carretera que más influyen sobre el ruido de rodadura.

ABSTRACT

One of the challenges of today's societies is the development of urban and interurban communication roads, which meet demanding levels regarding the reduction of environmental impact, as well as the improvement of driving safety and the quality of life of people who carry out their activity near them. The use of electric vehicles may reduce greenhouse gas emissions. However, the generation of rolling noise is still present in this type of vehicle, especially when the driving speed exceeds 40 km/h. Rolling noise is the main noise

source of acoustic pollution next to roads with high traffic density. The high levels of noise pollution can cause health problems for residents of these areas. This work focuses on the study of the rolling noise of a road with high traffic density. The measurements were carried out using CPX methodology with a semi-anechoic chamber. Results were compared with the road profile obtained with a laser profilometer, to establish the texture levels that most influence rolling noise.

Palabras Clave— Ruido de rodadura, Textura superficial, Close Proximity Method, Espectro de textura;

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los vehículos eléctricos, así como el aumento de su demanda y uso puede contribuir favorablemente en la consecución de entornos urbanos más limpios. Aunque su implantación en las calles y carreteras de la Red Nacional de Carreteras actualmente está lejos de los objetivos propuestos por la Ley Climática Europea (2021), la cual indica que España debe tener, al menos, 5 millones de vehículos eléctricos o híbridos enchufables en el año 2030 [1, 2]. La progresiva implantación de vehículos eléctricos permitirá reducir en el futuro la generación de gases de efecto invernadero procedente de vehículos de combustión.

A parte de los gases de efecto invernadero, la circulación de vehículos está totalmente relacionada con el ruido ambiental producido por diferentes mecanismos de generación. El ruido de un vehículo en movimiento está generado por diferentes fuentes: El ruido del motor y la transmisión, el ruido aerodinámico y el ruido de rodadura. En el caso de vehículos de combustión, parados o circulando a velocidades inferiores a 40 km/h, el ruido del motor y la transmisión es el dominante. El ruido producido por el

* **Autor de contacto:** victoriano.fernandez@uclm.es

Copyright: ©2023 First author et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 3.0 Unported License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

contacto entre el neumático y el pavimento, denominado ruido de rodadura, predomina en el caso de velocidades de circulación superiores a 40 km/h, mientras que el ruido aerodinámico, producido por las turbulencias del flujo de aire alrededor del vehículo no adquiere un papel predominante hasta velocidades superiores a 120 km/h, es decir, por encima de los límites legales de circulación [3].

En el caso de los vehículos eléctricos, la generación de ruido por parte del motor y de la transmisión es muy reducida, sin embargo, el ruido producido por el contacto entre el neumático y el pavimento sigue siendo predominante a las velocidades normales de circulación de las vías interurbanas y gran parte de las vías urbanas con mayor densidad de tráfico, ya que este tipo de ruido depende de las características de los neumáticos y la superficie de la carretera. Es por ello que, a parte del desarrollo e implantación de los vehículos eléctricos, la investigación de las causas de la generación de ruido de rodadura, así como de los materiales que pueden ayudar a mitigarlo, es totalmente necesaria para la consecución de entornos más amigables y libres de contaminación.

Este trabajo se centra en el estudio de una vía de alta densidad de tráfico, con el fin de determinar la relación entre la textura de la capa de rodadura y la generación de ruido de rodadura. El trabajo se ha desarrollado mediante medidas in situ y en condiciones reales de circulación.

2. METODOLOGÍA

Las medias de ruido de rodadura se han realizado mediante la metodología Close ProXimity (CPX). El equipo empleado es el Tiresonic Mk4-LA²IC (Figura 1) [4, 5], formado por una cámara semianecoica, dentro de la cual se sitúa un neumático de referencia y dos micrófonos a una distancia específica del neumático y de la superficie de la carretera. El empleo de la cámara permite registrar el ruido producido por el contacto entre el neumático y el pavimento, a la vez que éste se aísla del ruido producido por otras fuentes como el ruido motor o el producido por otros vehículos en circulación.

Durante la auscultación, el nivel de presión sonora se registró cada 0,2 segundos, a una velocidad de referencia de 80 km/h. Los resultados han permitido obtener el espectro de emisión sonora del ruido de rodadura, así como geolocalizar cada dato medido gracias al registro de sus coordenadas GPS.

La auscultación del perfil de textura se ha realizado mediante el equipo LaserDynamicPG-LA²IC [6]. El equipo permite caracterizar la superficie del pavimento de forma georreferenciada y de manera simultánea con las medidas de ruido de rodadura. Las medidas se hacen por medio de un sensor láser.

La superficie auscultada se localiza en la AP-7, en las cercanías de la localidad de Martorell. El tramo auscultado está construido con una mezcla bituminosa en caliente, y cuenta con una longitud de 2,300 kilómetros.



Figura 1. Cámara semianecoica del Tiresonic Mk4-LA²IC.

En la figura 2 se muestran las condiciones de tráfico en las que se realizaron las medidas en el tramo de estudio de la AP-7. Las características de los equipos de auscultación permiten la obtención de datos fiables a la velocidad de referencia y en condiciones de tráfico fluido.



Figura 2. Condiciones de circulación durante la auscultación de la AP-7 en las cercanías de la localidad de Martorell.

3. ANALISIS DE LOS RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se ha estudiado el ruido de rodadura de un tramo con alta densidad de tráfico, así como la textura. Las medidas se han realizado simultáneamente y sobre la misma trayectoria, de modo que puedan ser correlacionadas. En la figura 3 se muestran las coordenadas GPS de la trayectoria seguida por el vehículo durante la campaña de auscultación.

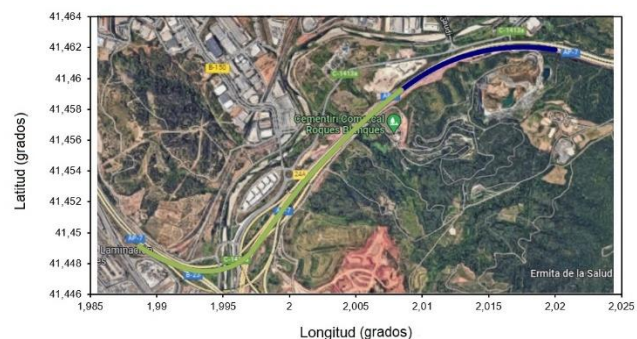


Figura 3. Coordenadas GPS (en verde) del tramo auscultado en la AP-7.

3.1. Ruido de rodadura

Se ha determinado el ruido producido por el contacto entre el neumático y el pavimento de forma continua en el tramo de estudio. Las medidas se han realizado a una velocidad de referencia de 80 km/h. Los datos obtenidos se han corregido por velocidad, debido a pequeñas desviaciones respecto a la velocidad de referencia durante la campaña de auscultación.

La figura 4 muestra los resultados obtenidos de emisión sonora debida al contacto entre el neumático y el pavimento. Como se observa en esta figura, el nivel de presión sonora en proximidad, L_{CPr} , registró valores máximos cercanos a los 100 dB(A), y mínimos en torno a 94 dB(A).

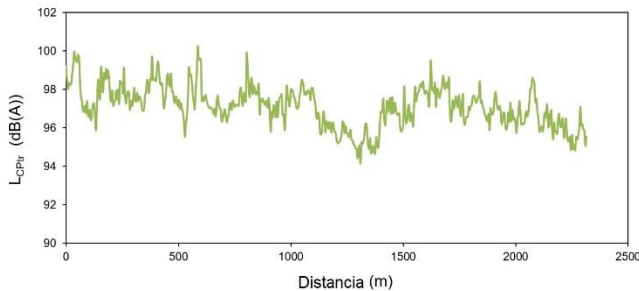


Figura 4. Niveles L_{CPr} corregidos a 80 km/h (AP-7).

A partir de las medidas instantáneas registradas de los espectros de emisión sonora, se han calculado los niveles sonoros de presión sonora globales en todo el tramo auscultado (Figura 4). Con esta técnica de auscultación es posible, por tanto, obtener el espectro de emisión sonora medio de todo el tramo, pero también de cada uno de los puntos mostrados en la figura 4. La figura 5 y la Figura 6 muestran respectivamente los espectros de emisión sonora de las secciones en las que se han registrado el mayor y el menor valor del ruido de rodadura L_{CPr} . Estas secciones están situadas a 600 y 1310 m del inicio del tramo.

3.2. Textura superficial

Las medidas del perfil de la carretera se han realizado de forma simultánea y sobre la misma trayectoria que las medidas de ruido de rodadura. Los datos de textura calculados a partir del perfil permiten la caracterización de los tramos mediante el cálculo de la MPD (profundidad media del perfil) o del IRI (Índice de Regularidad Internacional). A parte de estos datos puntuales, el registro del perfil también permite determinar el espectro de textura (niveles $L_{TX,m}$) del tramo estudiado, con el fin de determinar las longitudes de onda predominantes en cada sección. Los espectros de textura se han determinado cada 10 m de longitud, con una resolución máxima de 100 mm (megatextura). La figura 7 y la figura 8 muestran respectivamente el espectro de textura de las secciones con mayor (600 m) y menor (1310 m) nivel L_{CPr} (figura 4)

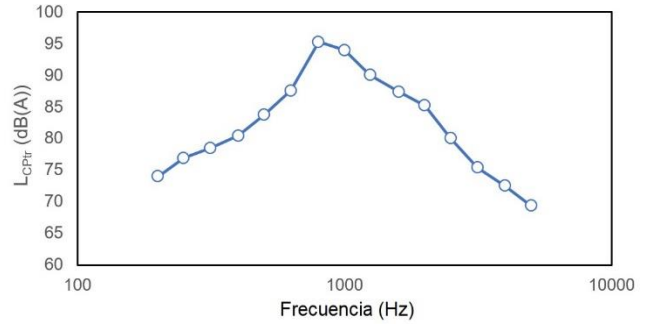


Figura 5. Espectro L_{CPr} máximo a 80 km/h (600 m - AP-7).

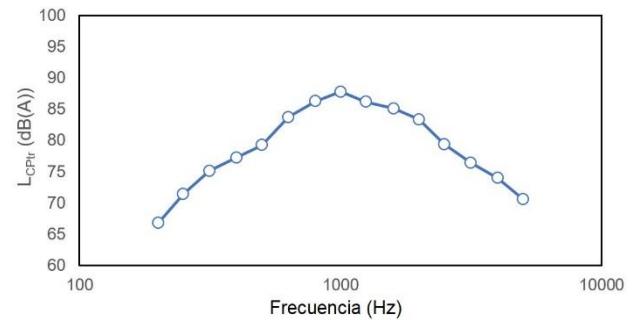


Figura 6. Espectro L_{CPr} mínimo a 80 km/h (1310 m - AP-7).

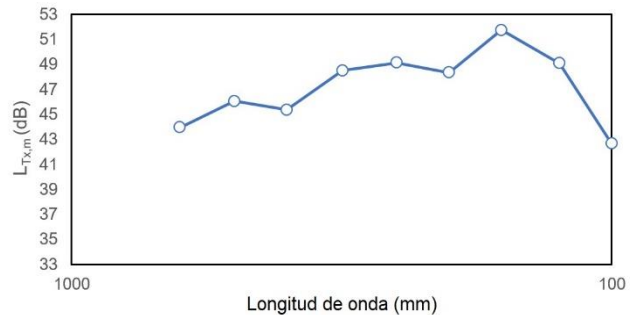


Figura 7. Espectro $L_{TX,m}$ máximo a 80 km/h (600 m - AP-7).

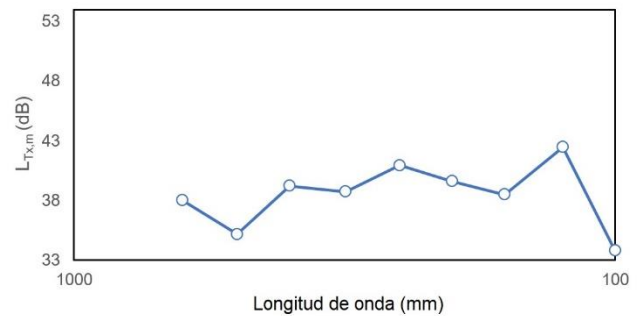


Figura 8. Espectro $L_{TX,m}$ mínimo a 80 km/h (1310 m - AP-7).

Como se observa en las figuras anteriores, secciones con diferente generación de ruido de rodadura también tienen diferencias en el espectro de textura. La textura está relacionada con los niveles de emisión sonora por contacto entre el neumático y el pavimento. Sin embargo, esta relación es aún objeto de estudio.

La representación de los espectros de emisión sonora y de textura superficial a lo largo de todo el tramo permite observar patrones y determinar la relación existente entre ellos. Especialmente la relación de las distintas longitudes de onda del pavimento sobre cada frecuencia del espectro de emisión sonora.

En las figuras siguientes se muestran los espectros a lo largo del tramo estudiado. La figura 9 muestra los espectros de emisión acústica, entre 200 Hz y 5 kHz. El espectro de textura, para longitudes de onda entre 100 mm y 1000 mm, se muestra en la figura 10.

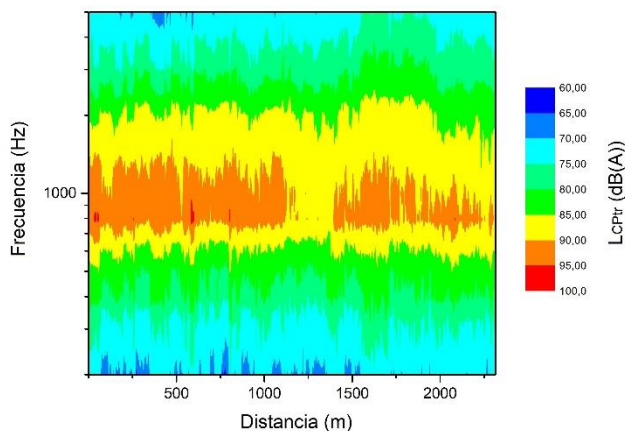


Figura 9. Evolución del espectro de ruido de rodadura L_{CPr} (80 km/h) del tramo estudiado en la AP-7.

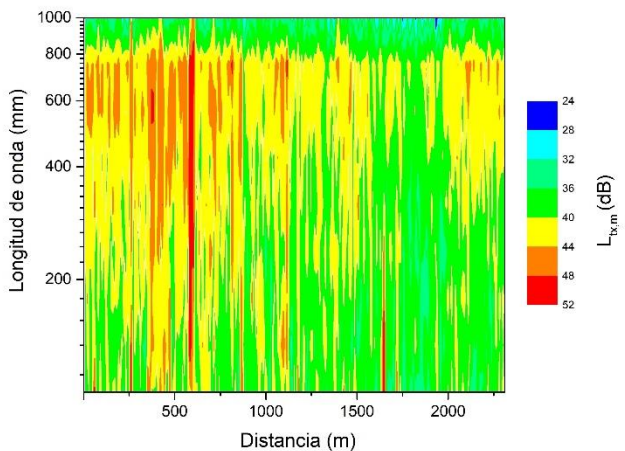


Figura 10. Evolución del espectro de textura ($L_{Tx,m}$) del tramo estudiado en la AP-7.

Tal y como se observa en las figuras anteriores, en algunos de los tramos existe una clara relación entre el ruido de rodadura y el espectro de textura. Este es el caso de la sección localizada a 600 m del inicio. En esta sección se registran los mayores niveles sonoros, y a la vez destaca por sus elevados niveles de textura en todas las longitudes de onda representadas. Sin embargo, en la figura 9 se observan otras secciones con niveles L_{CPr} elevados que se corresponden con niveles de textura $L_{Tx,m}$ reducidos en la figura 10. Este es el caso de las secciones localizadas en torno a 1800 m del inicio del tramo. En este caso, los reducidos niveles de textura no tienen un efecto claro sobre la reducción del ruido de rodadura. En cualquier caso, de acuerdo con los datos, en el tramo se observa una división en torno a la mitad del mismo. La parte inicial, aproximadamente hasta 1100 m, cuenta con una mayor textura y nivel de emisión sonora, mientras que el tramo final tiene claramente menor nivel de textura y ruido de rodadura.

Al analizar estos resultados, es necesario tener en cuenta que, debido a la distancia de muestreo, los espectros de textura se han obtenido para longitudes de onda a partir de 100 mm. Con estas características, los espectros únicamente reflejan la geometría de la capa de rodadura en el intervalo de la megatextura (entre 50 mm y 0,5 m) y de la regularidad superficial (entre 0,5 m y 50 mm). A raíz de los resultados, sería necesario realizar medidas con mayor precisión, cubriendo especialmente el intervalo de la megatextura y de la macrotextura (entre 0,5 mm y 50 mm). Estas medidas permitirían una descripción más detallada de la geometría del pavimento, así como una mejor correlación con los datos de emisión sonora por el contacto neumático/pavimento.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta la caracterización acústica y superficial de un tramo de vía de alta densidad de tráfico localizado en la AP-7. El objetivo del trabajo es obtener el espectro de emisión sonora del ruido de rodadura y el espectro de textura, con el fin de comparar los resultados y establecer la relación entre ambos métodos de auscultación.

A partir de los datos obtenidos, se ha observado que los mayores niveles de ruido están relacionados con un tramo con elevados niveles de textura en todas las longitudes de onda representadas. Sin embargo, las secciones con menores niveles de textura en las distintas longitudes de onda evaluadas en este estudio, no siempre se corresponden con aquellas con menores niveles de ruido. Para un análisis más detallado sería necesaria la auscultación de la textura superficial con mayor resolución, con el fin de obtener espectros de textura que cubran total o parcialmente los intervalos de megatextura y macrotextura.

A raíz de los resultados obtenidos, consideramos que esta técnica de análisis es adecuada para el análisis del comportamiento de una determinada sección de carretera. La técnica permite profundizar y analizar los niveles de ruido

para las distintas frecuencias, así como los niveles de textura en cada longitud de onda y la correlación entre ambos.

5. AGRADECIMIENTOS

Los resultados mostrados en este trabajo son parte del Proyecto de I+D+i con referencia: PID2020-118831RB-I00 financiado por MCIN/AEI/10.13039/501100011033.



6. REFERENCIAS

- [1] <https://www.race.es/coche-electrico-espana-cuantos-hay>
- [2] May López. *El vehículo eléctrico en España. Situación actual, objetivos y retos a abordar*. OBS Business School. 2021.
- [3] Sandberg, U., Ejsmont, J.A. *Tyre/road reference book*. INFORMEX Ejsmont & Sandberg Handelsbolag, printed by MODENA, Kysa, Sweden; (2002).
- [4] Vázquez, V.F., Terán, F., Paje, S.E., *Dynamic stiffness of road pavements: construction characteristics-based model and influence on tire/road noise*. Sci. Total Environ. 736, 139597; (2020).
- [5] Vázquez, V.F., A.M. García-Hoz, Terán, F., Gil-Abarca, A., Paje, S.E., *Functional characterization of a Cold-In place-Recycled pavement at different stages of the curing process*. Sci. Total Environ. 789, 148065; (2021)
- [6] Expósito-Sobrino, S., Vázquez, V.F., Cámara, A., Paje, S.E. *Evaluation of a pavement Surface renewal for urban traffic noise abatement*. Applied Acoustics 211, 109554; (2023).