Técnicas Experimentales LA^{2}IC para Elaboración de Mapas de Ruido de Rodadura (MR^2) y Características Superficiales dentro del Proyecto TRA2016-77418-R

Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil (LA^{2}IC)

Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM)

la2ic@uclm.es

http://blog.uclm.es/santiagoexposito/mapas-de-ruido-de-rodadura_tra2016/

15/02/2017

Método de registro de ruido de proximidad, *Close Proximity* (*CPX method*)

El método denominado ***Close Proximity*** (***CPX method***) está basado en la medida y el registro de los niveles sonoros generados durante la rodadura de un neumático de referencia y el pavimento que se quiere estudiar.

Permite caracterizar, a través de la emisión sonora, la homogeneidad longitudinal y el comportamiento acústico de la capa de rodadura en tramos extensos.

Para ello es necesario realizar los ensayos a velocidades por encima de los 30 km/h, en donde el sonido de rodadura es el dominante en el ruido proveniente de los vehículos.

Principios

Durante la rodadura sobre el pavimento que se quiere evaluar, o tramo de carretera que se quiere auscultar, diferentes micrófonos localizados en las cercanías de la zona de interacción neumático/pavimento, ver figura 1, miden el nivel sonoro equivalente con ponderación-A, generado por diferentes neumáticos de referencia, a una velocidad determinada.

Los neumáticos se pueden montar en un vehículo convencional, ver figura 2, o en un remolque con una cámara semi-anecoica que absorbe gran parte del sonido que le llega procedente de la interacción pavimento/neumático, evitando así reflexiones no deseadas (Fig 3), y que podrían enmascarar el comportamiento acústico del pavimento.

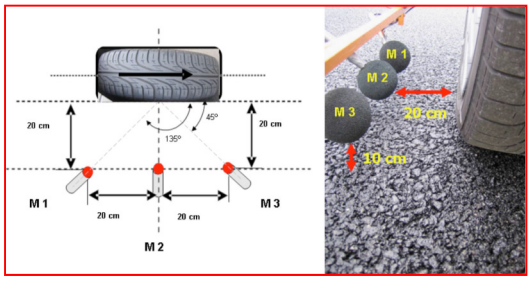

Figura 1. *Neumático de referencia y localización de micrófonos en el método CPX [1].*

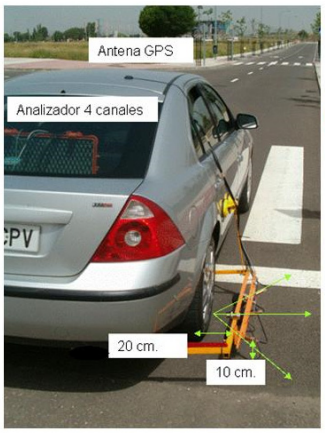

Figura 2. *Vehículo convencional para la auscultación acústica de la capa de rodadura [1, 2].*

Figura 3. *TireSonicMk4-LA²IC y localización de micrófonos en el interior de la cámara semi-anecoica [3, 4].*

Procedimiento

Durante la auscultación, el vehículo se desplaza a lo largo de la zona de ensayo, registrándose con diferentes micrófonos los niveles sonoros L_{CPtr} en dB(A), a lo largo de cada segmento de cierta distancia, 10 m por ejemplo.

Durante el ensayo la velocidad se mantiene constante, en la medida de lo posible, en la velocidad de referencia seleccionada (por ejemplo 50 km/h, 80 km/h, 110 km/h o cualquier otra velocidad que resulte de interés para la investigación).

El nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A se determina, en cada segmento recorrido, a través de:

$$L_{Aeq}[\Delta l] = 10 \cdot \log_{10}\left[\frac{1}{l_2 - l_1}\int_{l_1}^{l_2} \frac{P^2_{ef}(x)}{P^2_{ref}}\,dx\right]$$

Posteriormente, las señales de los micrófonos nos permiten obtener un valor medio del nivel sonoro.

Este valor es corregido por velocidad. Para ello se utiliza la expresión siguiente [1-4]:

$$L_{corr} = L_{me} - B \cdot \log\left(\frac{v}{v_{ref}}\right)$$

siendo v_{ref} la velocidad de referencia seleccionada, v la velocidad registrada en cada momento y B la constante de velocidad, que se determina a partir de la medición del nivel sonoro frente a la velocidad, ver figura 4.

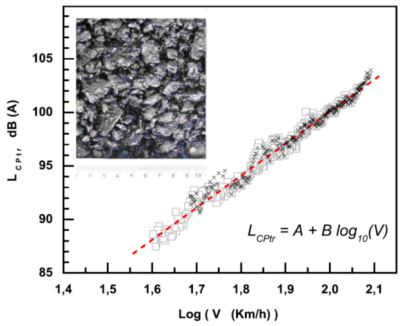

Figura 4. *Regresión lineal del nivel sonoro frente a la velocidad para la obtención de la constante de velocidad B [5].*

Se pueden realizar diferentes pasadas en el tramo de ensayo, con el fin de estudiar la repetitividad, y utilizar diferentes neumáticos de referencia, por ejemplo los presentados en la figura 5 junto con una cámara semi-anecoica, TireSonicMk4-LA^{2}IC.

Figura 5. *TireSonicMk4-LA^{2}IC, y neumáticos de referencia utilizados durante ensayos CPX [3, 4].*

Los sistemas de medida basados en el método CPX permiten la evaluación de la superficie de la carretera (evaluación de pavimentos en servicio) de forma geo-referenciada [6].

La figura 6 muestra las coordenadas GPS registradas durante una auscultación acústica de diferentes tipos de mezclas evaluadas por el LA^{2}IC en los últimos años.

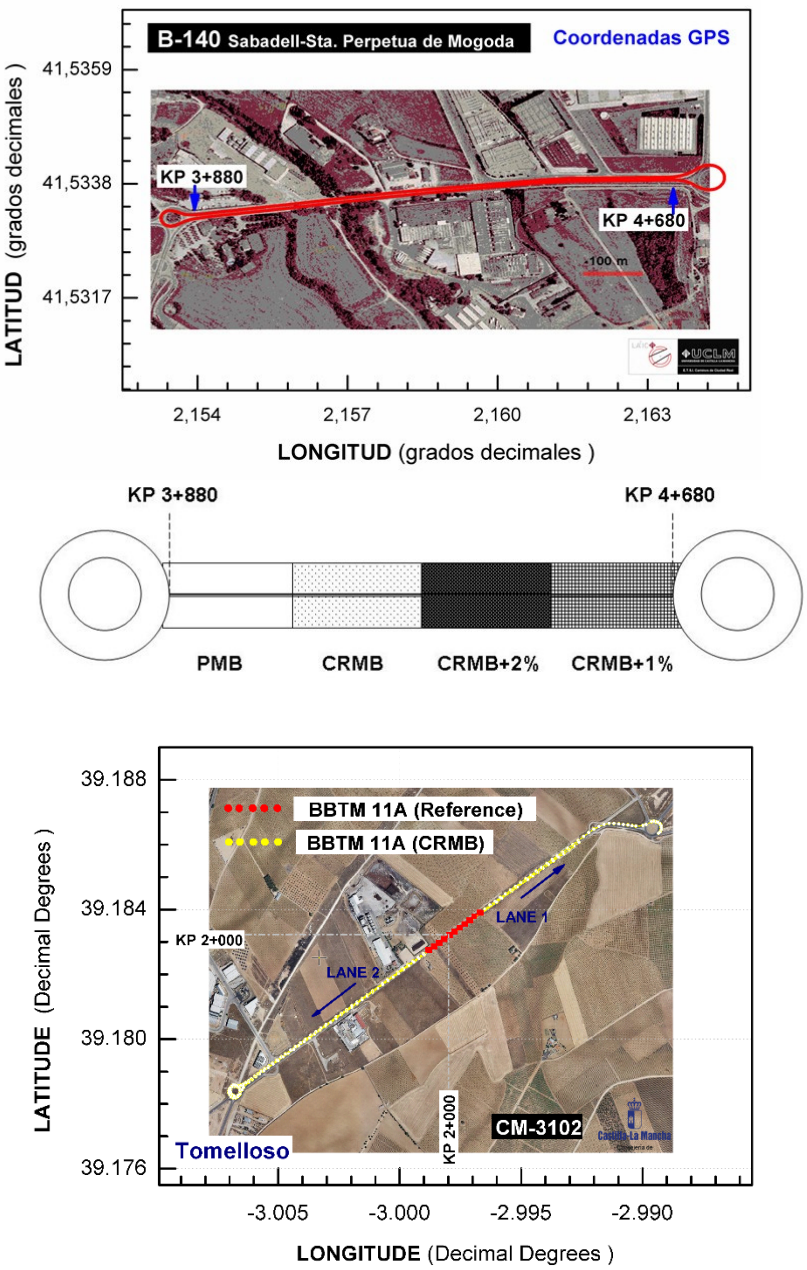

Figura 6. Registro de coordenadas GPS durante los ensayos CPX en los tramos fabricados con mezclas novedosas [3, 7].

Este tipo de geo-auscultación permite la correlación de niveles sonoros con coordenadas de posicionamiento global GPS, dando lugar a mapas de estado de la vía [4, 8, 9].

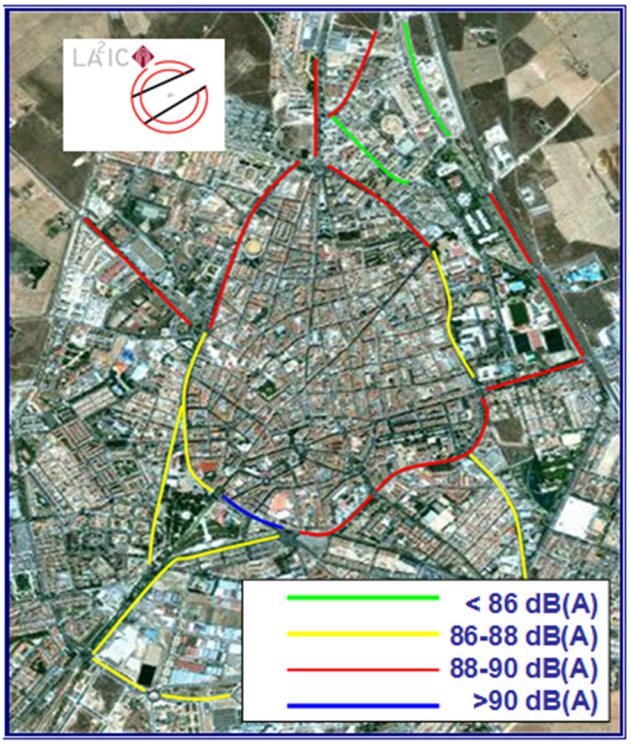

Figura 7. *Mapa de ruido de rodadura a 50 km/h que refleja los niveles sonoros de las principales vías de Ciudad Real en el año 2007, y su relación directa con el estado de conservación del pavimento, [4, 8, 9].*

Método de registro del perfil de la carretera, Perfilómetro Laser

La textura de la superficie del pavimento es una de las principales características de la carretera que tiene importantes efectos sobre la seguridad, el ahorro energético y el medioambiente (**ruido ambiental** generado por tráfico rodado).

La textura y particularmente la macrotextura, tienen un papel fundamental tanto en la reducción de la emisión sonora como en la mejora de la adherencia neumático/pavimento. La utilización de perfilómetros láser móviles permiten la medida de los perfiles longitudinales de la superficie de la vía, en algunos casos de forma continua y geo-referenciada, para posteriormente procesar y analizar dicha información.

El análisis del perfil de la carretera proporciona la caracterización de la macrotextura superficial de la vía en términos de la profundidad media del perfil, MPD [10, 11], del índice de regularidad superficial (IRI) y del espectro de textura del perfil. La MPD está definida, ver figura 8, según la expresión:

$$MPD = \frac{Nivel\ del\ pico\,(1^{o}) + Nivel\ del\ pico\,(2^{o})}{2} - Nivel\ medio$$

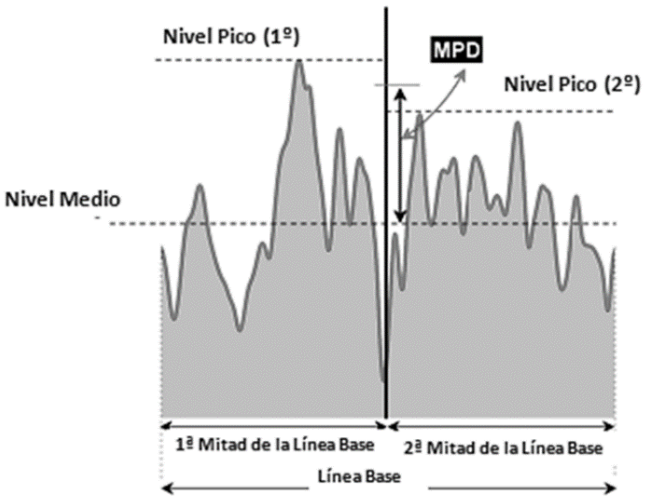

Figura 8. Ilustración del método de cálculo de la MPD [7].

El nivel del perfil de la textura (L_t) en función de la longitud de onda o de la frecuencia espacial está definido como **espectro de textura**:

$$L_t(\lambda_k) = 10\, lg \frac{{C_k}^2}{{h_0}^2}$$

donde, L_t es el nivel de textura; C_k es el coeficiente complejo de Fourier; y $h_0 = 10^{-6}$ m.

La técnica de transformada rápida de Fourier (FFT) y procesos de filtrado de señales son utilizados para el cálculo del parámetro MPD y L_t a partir de la altura del perfil de la superficie del pavimento, z(x). La figura 9 muestra el equipo utilizado por el LA²IC para la caracterización del perfil en laboratorio [11].

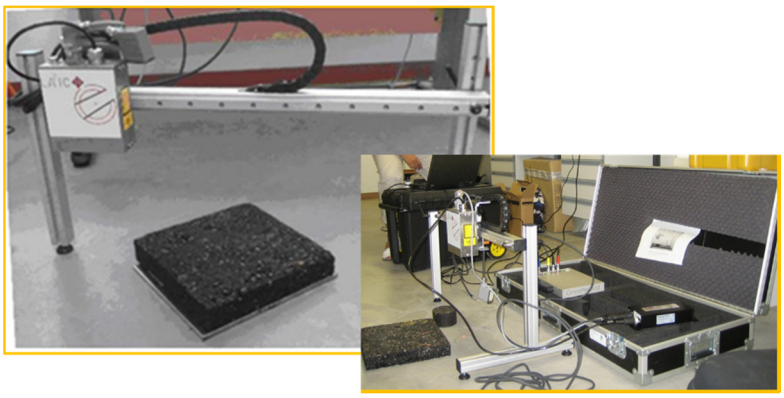

***Figura 9**. Equipo laser estacionario utilizado para la medida del perfil de probetas en laboratorio e in-situ, y el posterior cálculo del espectro de textura [11].*

Los perfilómetros láser de medida en continuo y de forma geo-referenciada están facilitando el estudio y evaluación de la macrotextura de grandes tramos de carretera con nuevas mezclas. La figura 10 muestra un detalle de un vehículo utilizado para la medida geo-referenciada del perfil longitudinal de la vía y la representación geo-referenciada de la MPD durante un ensayo de una mezcla bituminosa novedosa tipo

BBTM11A con betún tipo BMVAC (alto contenido en polvo de caucho incorporado por vía húmeda).

Los equipos de auscultación montan un dispositivo que suele estar configurado con un láser de alta frecuencia y un sistema de posicionamiento global de alta precisión. Un odómetro montado con imanes sobre la rueda trasera izquierda del vehículo de ensayo, como se aprecia en la figura 10, permite la medida de las distancias recorridas con gran precisión. Una caja de control recoge la información suministrada por el láser, el odómetro, el acelerómetro y el GPS, que es gobernada a través de un ordenador personal situado en el vehículo de ensayo.

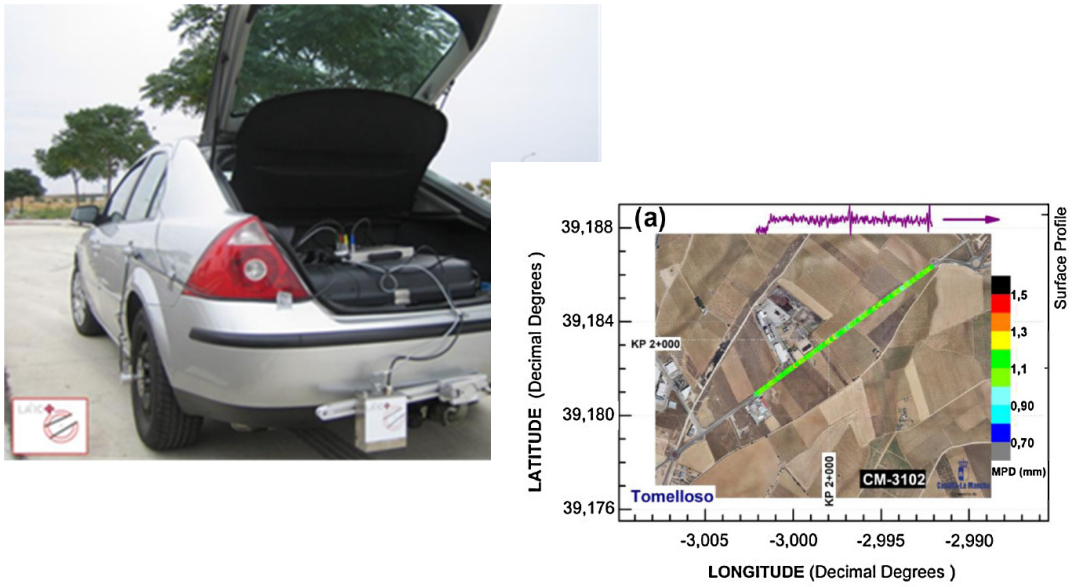

Figura 10. Equipo móvil LaserDynamicPG-LA²IC utilizado para la medida del perfil longitudinal de la carretera. Ejemplo de perfil de la vía y representación de la MPD [11, 7].

Diferentes estudios demuestran que el ruido de rodadura está generado por diferentes procesos asociados a la textura del pavimento de forma que a bajas frecuencias (por debajo de 900 Hz para la mayoría de pavimentos) el ruido de rodadura es directamente

proporcional a la textura mientras que para altas frecuencias (por encima de los 2 kHz para la mayoría de los pavimentos) el ruido de rodadura es inversamente proporcional a la textura (ver por ejemplo [11]).

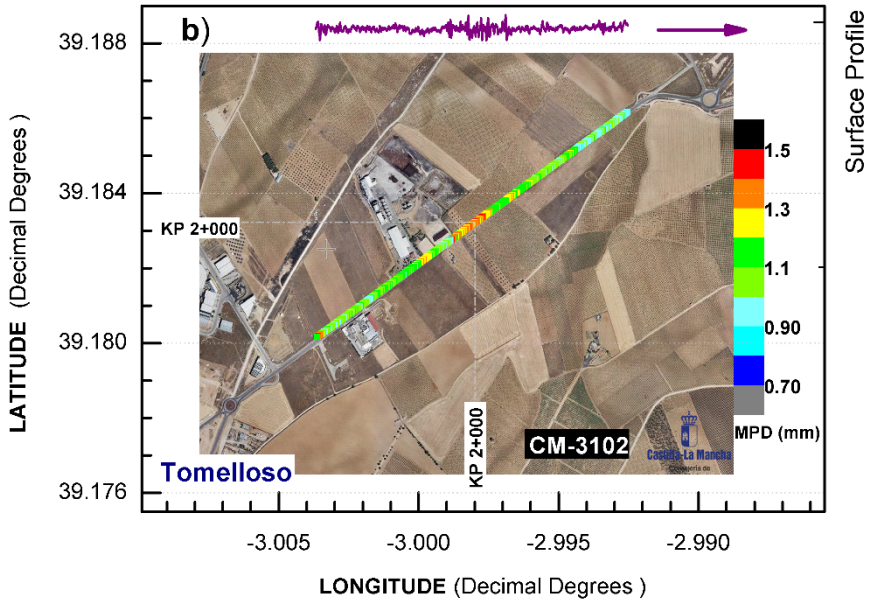

Figura 11. Resultado obtenido con el equipo móvil LaserDynamicPG-LA²IC utilizado para la medida del perfil longitudinal de la carretera, y representación de la MPD [7].

En la actualidad es posible la medida y registro del sonido generado y del perfil de la carretera de forma geo-referenciada y simultánea. De esta forma se puede correlacionar características funcionales de la superficie del pavimento con el ruido generado en la interacción neumático/pavimento [12].

Referencias

[1] S. E. Paje, M. Bueno, F. Terán and U. Viñuela. *Monitoring road surfaces by close proximity noise of the tire/road interaction.* Journal of the Acoustical Society of America, 122 (5): 2007; 2636-2641.

[2] S. E. Paje, F. Terán, U. Viñuela, S. López, A. Sanz, R. Crespo del Rio, F. J. Saura, F. Cendrero y R. Martín-Serrano. *Evaluación acústica de la superficie de rodadura para su gestión y rehabilitación.* VII Congreso Nacional de Firmes. Ávila, 2006.

[3] S. E. Paje, M. Bueno, F. Terán, Miró R, Pérez-Jiménez F, Martínez AH. *Acoustic field evaluation of asphalt mixtures with crumb rubber*. Applied Acoustics 2010; 71:578–82.

[4] M. Bueno. *Caracterización acústica de mezclas asfálticas para atenuar la contaminación sonora*. Tesis Doctoral, Universidad de Castilla-La Mancha, Junio 2010.

[5] S.E. Paje, M. Bueno, U. Viñuela, F. Terán. *Toward the acoustical characterization of asphalt pavements: analysis of the tire/road sound from a porous surface*. Journal of the Acoustical Society of America 2009;125(1):5–7.

[6] S. E. Paje, M. Bueno, F. Terán, R. Miro. F. Pérez-Jiménez. A.H. Martinez. *Acoustic field evaluation of asphalt mixtures with crumb rubber*. Applied Acoustics, 71, 578-582, (2010).

[7] S. E. Paje, J. Luong, V. F. Vázquez, M. Bueno and R. Miró, *Road pavement rehabilitation using a binder with a high content of crumb rubber: Influence on noise reduction*. J. Construction and Building Materials, Volumen: 47, Páginas: 789-798 (2013).

[8] S. E. Paje, M. Bueno, F. Terán, U. Viñuela, J. Luong. *Assessment of asphalt concrete acoustic performance in urban streets*. Journal of the Acoustical Society of America 2008; 123(3):1439 –45.

[9] M. Bueno, U. Viñuela, F. Terán, J. Luong and S.E. Paje, *A first step toward a close proximity noise map*. ACOUSTICS2008, París, Francia (2008).

[10] A. Amírola y F. Ruiz, Textura d Pavimentos. *Cálculo y consideraciones sobre el indicador Mean Profile Depth (MPD)*, VIII Congreso Nacional de Firmes, Valladolid, (2008).

[11] J. Luong. *Evaluación de la superficie de mezclas asfálticas: Textura y absorción acústica relacionadas con el ruido de rodadura*. Tesis Doctoral, Universidad de Castilla-La Mancha, Julio 2012.

[12] V. F. Vázquez. *Evaluación de la rigidez dinámica y caracterización acústica de mezclas bituminosas*. Tesis Doctoral, Universidad de Castilla-La Mancha, Julio 2015.