



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

## ESTUDIO DE LA HOMOGENEIDAD LONGITUDINAL DE UN FIRME ENVEJECIDO MEDIANTE AUSCULTACIÓN ACÚSTICA Y SUPERFICIAL

PACS: 43.50 Lj

Terán Sierra, Fernando J.; Fernández Vázquez, Victoriano; Huertas Gallardo, Pedro; Expósito Paje, Santiago.

Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil.

Universidad de Castilla-La Mancha.

Avda. Camilo José Cela s/n 1

3071 Ciudad Real, España

Tel: 926 295 300

E-mail: Fernando.Teran@uclm.es

**Palabras clave:** Auscultación superficial, Ruido de rodadura, Macrotextura, Homogeneidad longitudinal

### ABSTRACT

Pavement damages lead to a reduction in ride quality, affecting both the functional characteristics and the safety of users. Noise and vibrations produced in damaged sections can negatively affect driving, thus it is necessary to identify such section in order to repair them. The present study reports on the surface monitoring (rolling noise and macrotexture) of an aged pavement located in an interurban section. Our data have been processed by means of specialized software, and results are shown on cartography, allowing us to evaluate pavement homogeneity.

### RESUMEN

El deterioro de la capa superficial de una carretera produce una reducción de la calidad de estas, afectando tanto a las características funcionales como a la seguridad de los usuarios. El ruido y las vibraciones producidas en tramos deteriorados pueden afectar negativamente a la conducción, por lo que es necesaria la identificación de estas zonas para su rehabilitación. En este trabajo se muestra la auscultación superficial (ruido de rodadura y macrotextura) de un firme envejecido en un tramo interurbano. Los datos se han procesado mediante software especializado propio, mostrándose sobre cartografía. La auscultación superficial permite evaluar la homogeneidad del firme.

### INTRODUCCION

Mediante la técnica desarrollada por el Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil (LA<sup>2</sup>IC) de la Universidad de Castilla-la Mancha (UCLM), estudia y analiza el sonido generado por la interacción neumático/pavimento, así como, el perfil de la superficie (textura y regularidad superficial). En este proceso se cuantifica el nivel de intensidad sonora mediante el método CPX, ya utilizado en trabajos anteriores por este grupo de investigación [1,2]. La textura superficial se obtiene del registro del perfil de la vía con un perfilómetro laser, que permite determinar la

profundidad media del perfil y la regularidad superficial. Las mediciones se hacen sobre la misma trayectoria de forma geo-referenciada. En este trabajo se muestra la evaluación de un firme envejecido de la CM-412 (entre los kilómetros 6 y 8) en la provincia de Ciudad Real próximo a la localidad de Picón, mediante el uso de un programa de ordenador especializado y diseñado por el LA<sup>2</sup>IC para ver los distintos parámetros sobre las coordenadas GPS del tramo estudiado [3].

## TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Para la auscultación de las carreteras y vías urbanas se cuenta con un equipo que permite la obtención de datos geo-referenciados, con las coordenadas GPS correspondientes, de los distintos tramos auscultados. La disposición del equipo y el método de trabajo permiten la realización de los ensayos gobernando el equipo desde un ordenador. El equipo es el denominado Tiresonic Mk4 LA<sup>2</sup>IC, el cual se encarga de registrar los niveles  $L_{CPTtr}$  (intensidad sonora) generados por el contacto neumático/pavimento. Este se ha colocado en un vehículo motriz, el cual circula a la velocidad deseada (Fig.1). Las características del equipo empleado en la geo-auscultación se muestran a continuación. [4]



Fig.1.- Equipos empleados en la auscultación acústica

### Tiresonic Mk4 LA<sup>2</sup>IC

Consiste en una cámara semianecoica en cuyo interior se monta un neumático de referencia. En las cercanías del neumático se disponen dos micrófonos, a una distancia y ángulo determinados respecto del neumático y de la superficie del pavimento. Todos los posibles elementos reflectantes dentro de la cámara semianecoica van recubiertos con material aislante, de modo que se eviten reflexiones indeseadas. El equipo registra los niveles de intensidad sonora generados en la interacción neumático/pavimento cada 0,2 segundos, en bandas de tercio de octava con ponderación A y en el intervalo de frecuencias comprendido entre 200 Hz y 10 kHz. El equipo también registra la velocidad instantánea del vehículo motriz. En la Fig.2 se puede apreciar la disposición de los micrófonos en el equipo.



Fig.2.- Equipo Tiresonic Mk4-LA<sup>2</sup>IC. Disposición de micrófonos.

Como se ha expresado en la Introducción, además del Tiresonic Mk4-LA<sup>2</sup>IC el coche lleva acoplado el LaserDynamicPG-LA<sup>2</sup>IC realizándose la auscultación del ruido de rodadura y de la textura de forma simultánea. De este modo las irregularidades o singularidades de la superficie auscultada quedan reflejadas en los registros de ambos equipos.

### LaserDynamicPG-LA<sup>2</sup>IC

Este equipo está compuesto por un perfilómetro láser que permite el cálculo del perfil de textura de una superficie de manera dinámica y la obtención de parámetros de la carretera como la MPD (Profundidad Media del Perfil) de acuerdo con la norma UNE-EN ISO 13473-1 [5] o el IRI (Índice de Regularidad Internacional). El equipo está diseñado para colocarse en el exterior del vehículo, orientado hacia la superficie que se desea estudiar (Fig. 3). También permite la obtención de datos geo-referenciados, ya que registra las coordenadas GPS de forma continua durante la medición. El ordenador desde el que se gobierna el equipo se sitúan en el interior del vehículo.



Figura 3.- Detalle del perfilómetro Laser del equipo LaserDynamicPG-LA<sup>2</sup>IC.

Así al vehículo motriz se le acoplan, un texturómetro láser en la parte frontal del mismo, mientras que en la parte trasera se engancha el remolque encargado de la medición del ruido de rodadura. Ambos equipos están situados sobre el eje central del vehículo motriz. La configuración final del equipo Tiresonic & LaserDynamic en línea (Fig.1).

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El análisis de los resultados de esta comunicación se realiza sobre un kilómetro y medio entre los puntos kilométricos 6,700 y 8,200 de la carretera CM-412, próximo a la localidad de Picón en Ciudad Real. Esta zona de la carretera a su vez se ha dividido en 4 tramos, para una mejor presentación del estudio. El tramo A que comienza en el punto kilométrico 6,700, abarca una longitud de 330 metros que van desde 0 a 330 m, el tramo B tiene una longitud de 230 metros desde 330 m a 560 m, el tramo C se extiende durante 390 metros y va desde 560 m a 950 m y por último el tramo D que abarca 550 metros va desde 950 m a 1500 m en el punto kilométrico 8,200. Las medidas, en todo el tramo, están tomadas a la velocidad de 50 km/h.

Tramo A (0 a 330 m):

El tramo A se corresponde con una recta de 330 metros de la carretera (Fig. 4). Dentro de este tramo se puede distinguir una primera zona de 120 metros denominada subtramo A1, en la cual, entre distintos puntos hay diferencias máximas de hasta 3 decibelios obteniéndose valores punta de 97,6 dB, esto podría deberse a un deterioro de la capa de rodadura bastante pronunciado y desigual, porque en el inicio del subtramo A1 hay una incorporación de un camino rural desde el que se puede ir a distintas fincas agrícolas y al pantanillo de Picón. La incorporación a la carretera, en dirección a la población de Picón, de tractores agrícolas y remolques y vehículos de todo tipo, desde un camino sin asfaltar, provocaría en el tramo inicial de aceleración un acusado envejecimiento del pavimento, con grietas y colmataciones en la capa de rodadura, que se pone de manifiesto con los valores altos de los niveles de intensidad sonora (n.i.s.) (Fig. 4) en estos 120 metros iniciales, que si bien, parecen que disminuyen progresivamente, hay un tramo entre 80 y 100 m que vuelven a subir por el deterioro significativo en esa zona por presentar la capa de rodadura piel de cocodrilo (terminología utilizada entre los Ingenieros de carreteras para distinguir una zona muy agrieta o fisurada con ligeras elevaciones como la piel de los cocodrilos), es decir, esta zona de aceleración de los vehículos de todo tipo

que se incorporan a la carretera, traccionan intensamente y los neumáticos inciden fuertemente sobre la capa de rodadura, perjudicando notablemente el estado de ésta.

Después se puede distinguir un tramo de aproximadamente 80 metros (subtramo A2 desde 120 a 200 m) donde los vehículos ya han adoptado velocidades de marcha, la tracción es menor y la rodadura mejora, y sus efectos sobre la carretera disminuyen, respecto al subtramo anterior, como se puede comprobar al observar que los niveles sonoros son entre 94,5 y 95,5 dB (Fig. 4), es decir, oscilan 1 decibelio, lo que indica que se produce un deterioro más uniforme, hay más homogeneidad en este tramo de carretera.

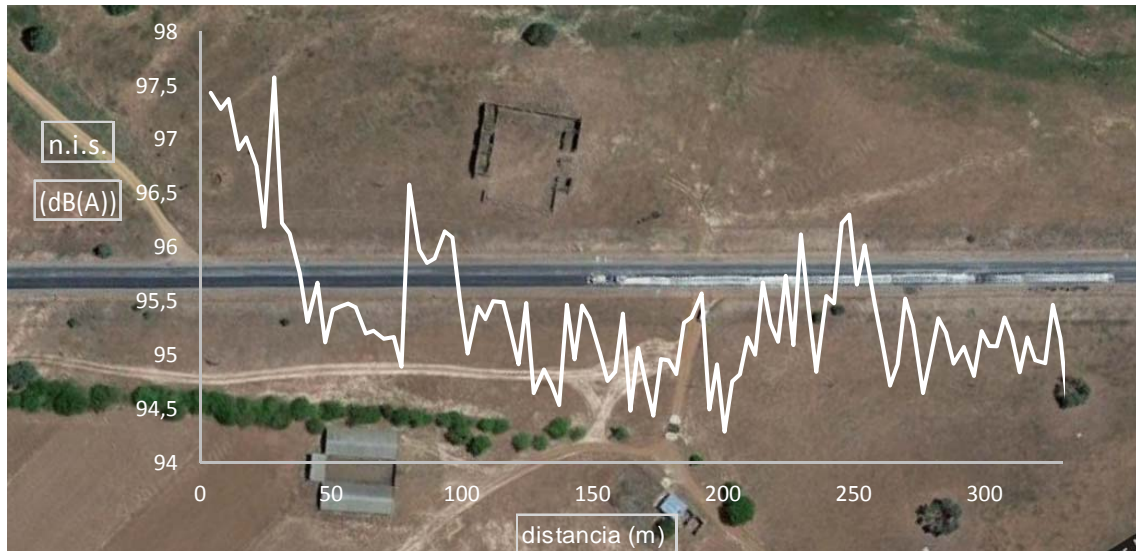


Figura 4.- Niveles de intensidad sonora en el Tramo A

Los siguientes 70 metros (subtramo A3 desde 200 a 270 m) muestran un incremento progresivo de los niveles sonoros de 95 a 96,5 dB (Fig. 4), como consecuencia de un menoscabo de la capa de rodadura más intenso que en el subtramo A2 porque aparece una incorporación lateral de un camino de una instalaciones agrícolas y para ir a otras fincas que facilita la entrada de vehículos de distinto tipo como en el subtramo A1 pero en este caso en menor cantidad, lo que hace que durante los 70 metros, que se pueden considerar de aceleración de los vehículos, se envejezca antes la capa de rodadura y por tanto se produzcan niveles sonoros mayores que en el subtramo A2 y A4 que a continuación se analizará, pero menores que en el subtramo A1. La última zona que se analiza del tramo A es una recta que consta de 60 metros (subtramo A4 270 a 330 m) donde los esfuerzos de los neumáticos sobre la capa de rodadura ya no son tan intensos y por tanto el deterioro es menor como se puede apreciar en los niveles sonoros que son más parecidos a los del subtramo A2 e incluso de valores extremos prácticamente en 0,5 dB, se mantiene más homogeneidad en el pavimento.



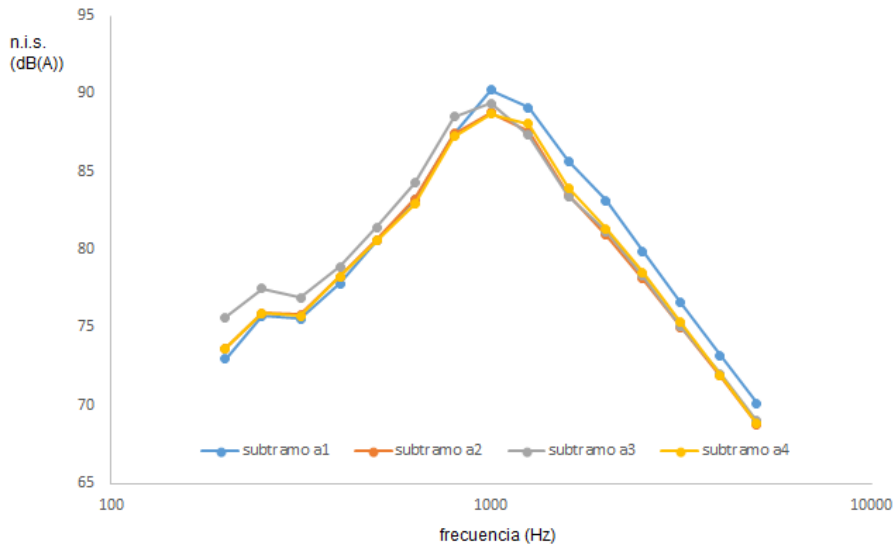


Figura 5.- Espectros de emisión sonora del Tramo A

Los espectros de los subtramos en función de las frecuencias y los valores medios de niveles sonoros se pueden apreciar en la Figura 5, en donde, los dos subtramos menos deteriorados A2 y A4 muestran graficas similares, solapándose una con la otra, mientras que el subtramo A1 el más deteriorado y menos homogéneo muestra valores más altos de niveles sonoros para las altas frecuencias por encima de 1000 Hz, ocurriendo al revés para el subtramo A3 en donde es a baja frecuencias donde se advierten los niveles sonoros más altos, esto podría ser debido a una mayor colmatación de los huecos en el subtramo A1 por el material terroso que introducen los vehículos agrícolas y en el subtramo A3 por pérdidas del árido del pavimento por las aceleraciones.

Tramo B (330 a 560 m):

Este tramo sigue siendo una recta de 230 metros en donde no hay ningún camino lateral de acceso, como se puede apreciar en la figura 6. Los valores de intensidad sonora son durante 150 metros subtramo B1 desde 330 m a 480 m, similares a los obtenidos en el subtramo A4, con una variación algo mayor entre valores máximos y mínimos y el deterioro del pavimento es similar al subtramo A4. Los vehículos en este tramo mantienen una velocidad más homogénea y exigen menos en la interacción a la capa de rodadura.

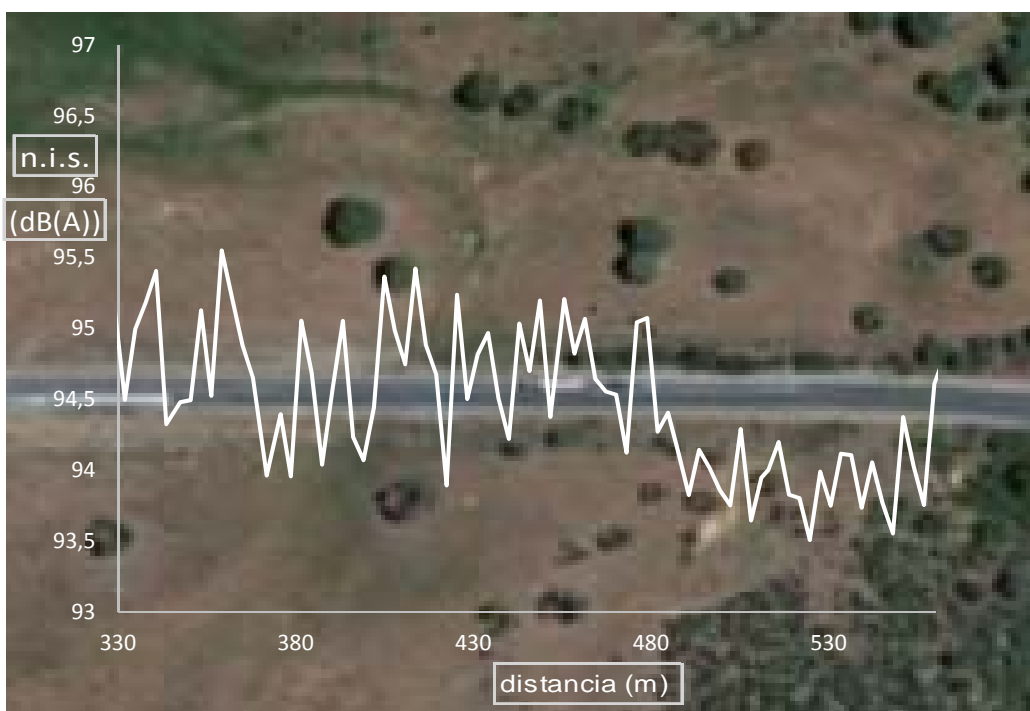


Figura 6.- Niveles de intensidad sonora en el Tramo B

Los últimos 80 metros, subtramo B2 desde 480 m a 560 m, presentan unos niveles de intensidad sonora menores que en los primeros metros del tramo (Fig. 6), de media alrededor de 1,5 dB. En principio y a simple vista no se observa un deterioro distinto al que se tiene a lo largo del subtramo B1, probablemente estos niveles menores de intensidad sonora sean fruto de que en el siguiente tramo C aparecen curvas y en este subtramo B2 se deje de acelerar en los vehículos antes de proceder a la frenada lo que determina una interacción neumático pavimento más suave en este pequeño intervalo espacial, el vehículo rueda sin tracción, que produce un menor deterioro.

Los espectros de los subtramos de este tramo son prácticamente iguales (Fig. 7), lo cual es razonable pues el deterioro es muy similar durante todo el tramo y no se aprecian zonas diferentes o que se haya producido un mayor deterioro de la capa de rodadura.

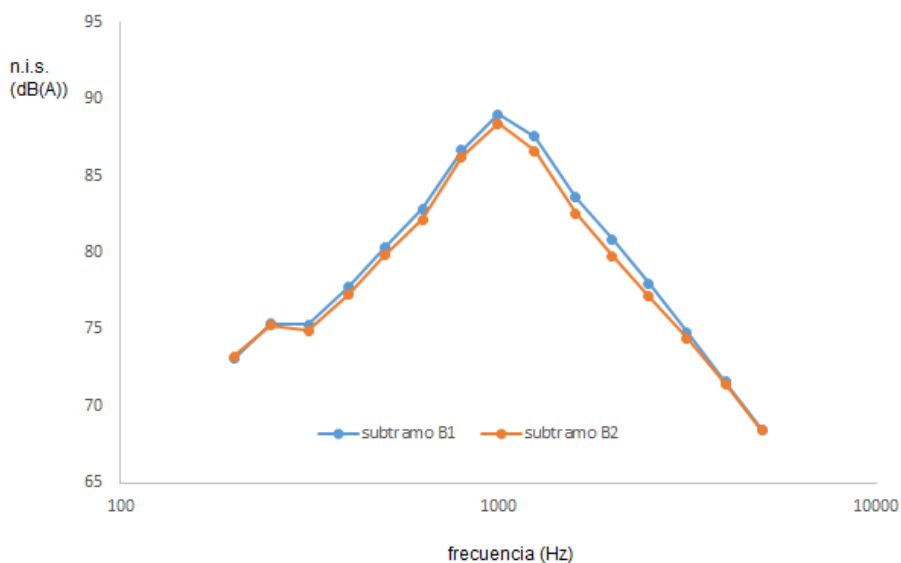


Fig. 7.- Espectros de emisión sonora del tramo B

Tramo C (560 a 950 m):

Este tramo C consta inicialmente de una zona curvada ligeramente y tramo más recto, después una curva pronunciada y para terminar el tramo una zona recta (Fig. 8). Se divide este tramo en 3 subtramos, subtramo C1 de 120 metros, desde 560 m a 680 m, subtramo C2 de 170 metros, desde 680 m a 850 m. y subtramo C3 de 100 metros desde 850 m a 950 m. En el subtramo C1 se pueden apreciar diferentes zonas deterioradas del pavimento como muestran los niveles de intensidad sonora, picos de 96,5 dB y valores mínimos de 94 dB, esto es debido a las frenadas iniciales en el tramo como consecuencia de la primera curva ligera, menos deterioro en el paso de la curva y de nuevo nuevas frenadas de los vehículos para la curva más pronunciada que aparece a partir de los 680 metros.

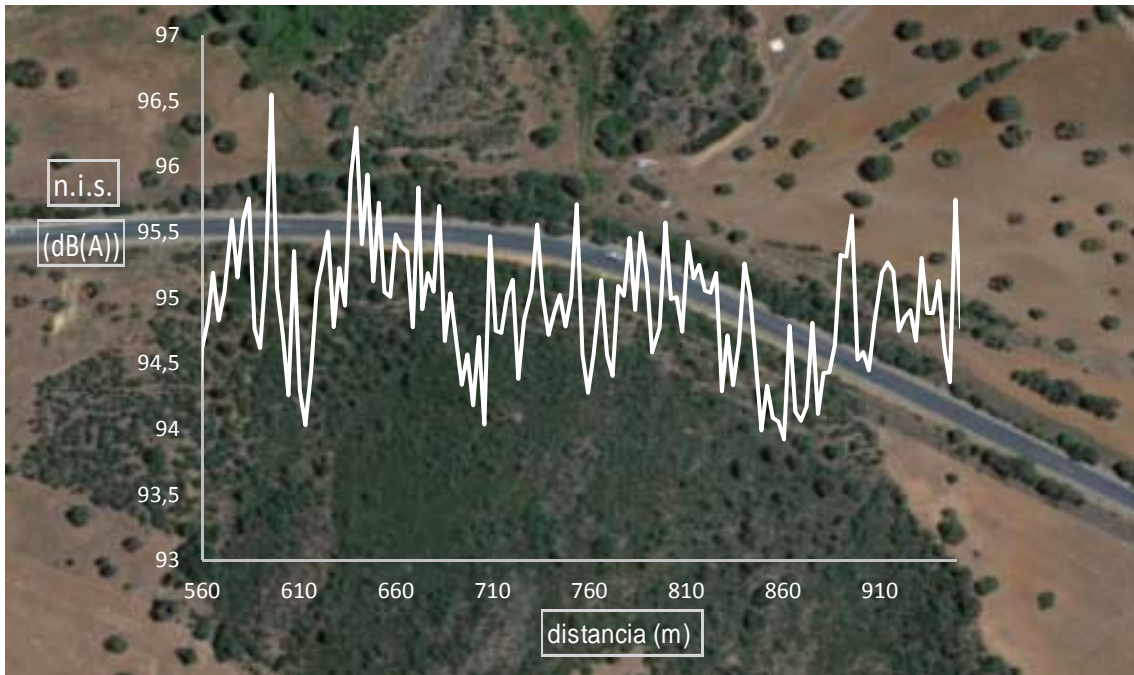


Figura 8.- Niveles de intensidad sonora en el Tramo C

Durante el paso de la curva los valores de intensidad sonora varían entre sus valores máximos y mínimos aproximadamente 1 dB, es decir, bastante uniforme el estado de la capa de rodadura. Lógicamente las velocidades son menores para tomar la curva con seguridad y los esfuerzos a los que se somete a la capa de rodadura también son menores, existe un deterioro similar en toda el subtramo C2 y por tanto una homogeneidad en su estado. En el subtramo C3 que se corresponde con la salida de la curva y comienzo de aceleración de los vehículos, los índices de niveles sonoros aumentan respecto a los que se tienen en el subtramo C2 (Fig. 8). Los vehículos traccionan más y producen un deterioro del pavimento mayor que en el paso de curva como queda reflejado en los niveles de intensidad sonora.

Los espectros de los subtramos C2 y C3 son muy similares (Fig. 9), y el subtramo C1, zona de las frenadas, presenta ligeramente mayores valores para bajas frecuencias que podría deberse a la pérdida de arido por esfuerzos tangenciales que lleva a mayor ruido a bajas frecuencias

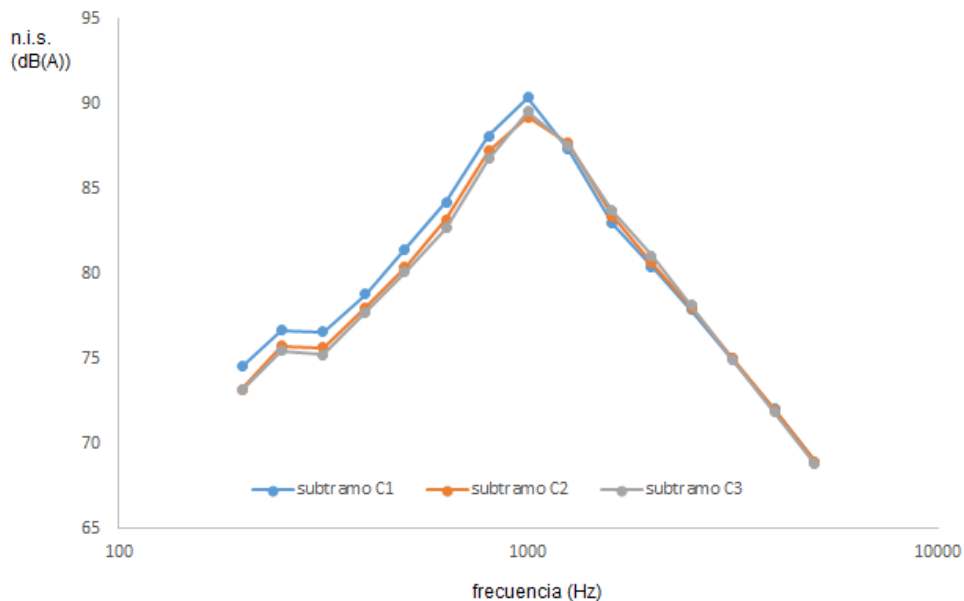


Figura 9.- Espectros de emisión sonora del tramo C

Tramo D (950 a 1500 m):

El tramo D consta de una recta de aproximadamente 550 m y se analizará el tramo entero sin dividirlo en subtramos. En este tramo se puede apreciar que los valores de las medidas de intensidad sonora fluctúan en el entorno de 1 dB (Fig. 10), lo cual, se corresponde con la homogeneidad que presenta este tramo, es decir, el deterioro es menor que en otros tramos analizados anteriormente y más parecido en toda su extensión. Hay que considerar que este es un tramo recto donde los vehículos ya han cogido velocidad de cruce y no se producen acelerones o frenadas bruscas.

Cabría destacar tres pequeños intervalos dentro de este tramo D. El primero sería en una zona estrecha alrededor de los 1010 metros, en donde se puede apreciar que se obtienen unos valores de intensidad sonora significativamente más bajos que en el resto del tramo, llegando a marcar un mínimo de 92,5 dB (Fig. 10). Observando in situ la capa de rodadura no se aprecia un deterioro menor que en el resto del tramo y puede ser debido a que en este punto hay un paso inferior por debajo de la carretera para fluidos o animales que está hecho de hormigón, con lo cual la base de la capa de rodadura es diferente que en el resto del tramo. Alrededor de los 1200 metros del tramo analizado se observa que hay una incorporación o cruce con la carretera CR-P-7111 y no se aprecia variación importante de los niveles de intensidad sonora, ni del deterioro del pavimento, respecto al resto del tramo D, cuando en el tramo A que presentaba dos incorporaciones si se habían detectado valores diferentes de intensidad sonora y fuerte deterioro de la capa de rodadura. Esto puede ser debido, a que la incorporación en este caso es desde otra carretera asfaltada, en lugar de caminos rurales como en el tramo A y los vehículos que se incorporan son más urbanos y no agrícolas, que por su mayor tracción sobre el pavimento y la suciedad que puedan traer en las ruedas deteriora significativamente más la capa de rodadura.

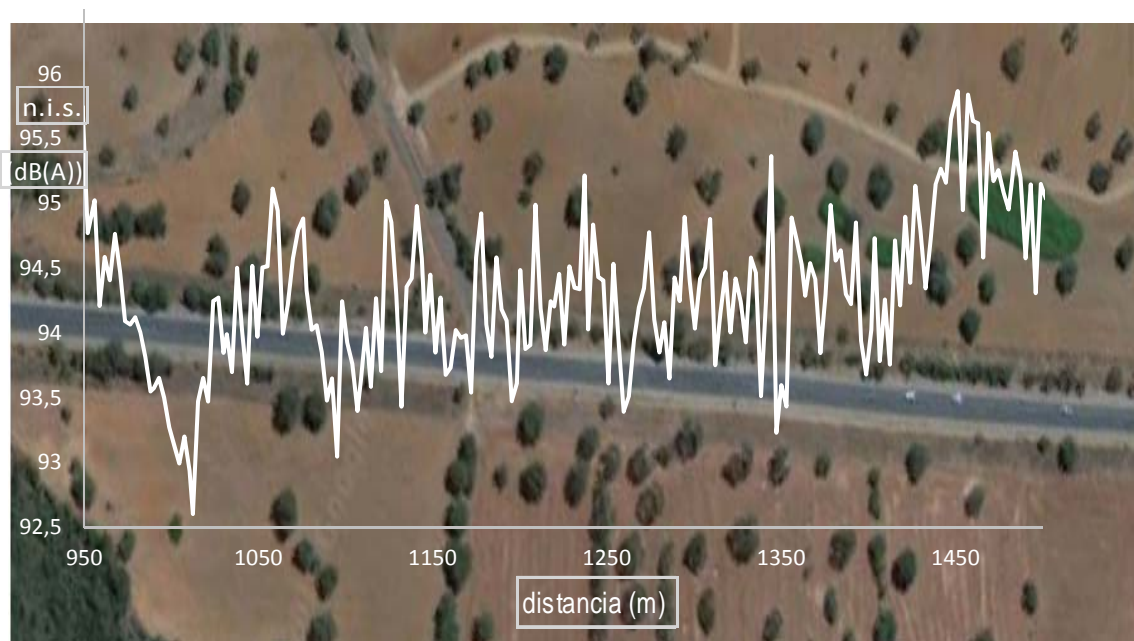


Figura 10.- Niveles de intensidad sonora en el Tramo D

Por último, se puede ver en la figura 10 como al final del tramo aproximadamente a los 1450 metros se produce un aumento generalizado de los niveles de intensidad sonora, aparentemente no tienen una explicación pues estos metros finales del tramo D no están más deteriorados que los anteriores, es decir, se debería haber mantenido la uniformidad de los valores de intensidad sonora, podría deberse a factores constructivos iniciales.

El espectro del tramo D es similar al del tramo B (Fig. 11), zonas que por las características de la conducción de los vehículos no producen agresivas interacciones con el pavimento, más rodadura simple, y por tanto no deterioran tanto la capa de rodadura.



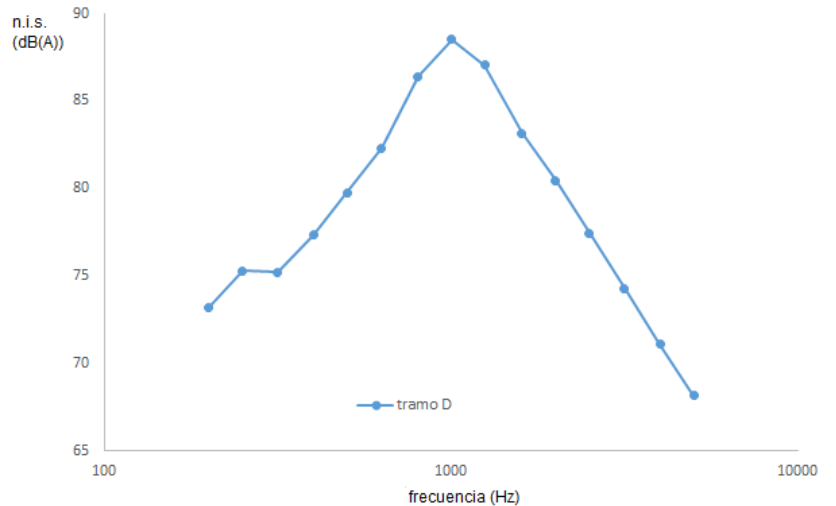


Figura 11.- Espectro de emisión sonora del tramo D

La macrotextura medida según la profundidad media del perfil MPD se muestra, para los 1500 metros analizados, en la figura 12. En esta se aprecia cómo se tiene una MPD media de alrededor 1,70 milímetros que es relativamente alta e indica un fuerte deterioro de la capa de rodadura. Al principio los valores no son muy altos probablemente por la colmatación que se indicó al analizar el subtramo A1 igual que se produce un aumento importante cercano a los 100 m que es donde se encontraba la piel de cocodrilo del pavimento, zona muy fisurada. También se obtiene valores altos de la MPD en el entorno de los 600 metros que coincide con la zona de frenadas con la posible pérdida de áridos del pavimento y un valor muy alto para los 1300 metros que en este caso no se corresponde con un aumento del nivel de intensidad sonora pero que indica un perfil muy desgastado, por eso la MPD es complementaria a los niveles de intensidad sonora para evaluar el estado de un pavimento en uso e identificar puntos más deteriorados.

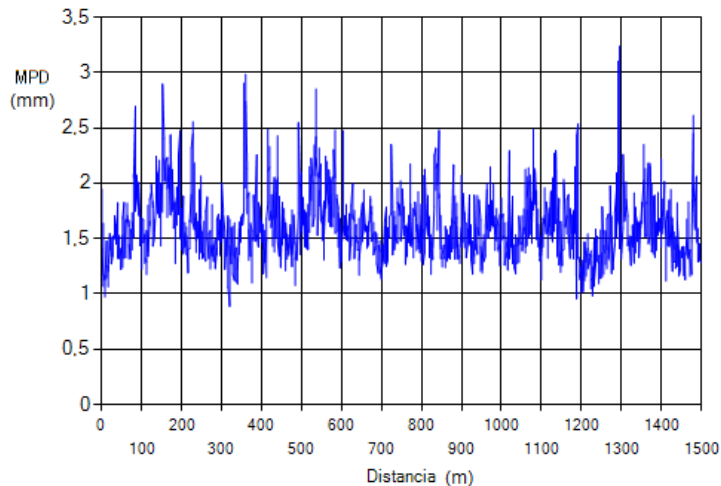


Figura 12.- MPD para todo el tramo 1500 m

## CONCLUSIONES

El tramo de carretera que se ha estudiado estaba significativamente deteriorado, con poco mantenimiento en los años de servicio.

El someter una carretera o parte de ella a un estudio de auscultación superficial, midiéndose los valores del ruido de rodadura y la macrotextura de la capa de rodadura, tras un análisis de estas medidas, permite identificar que zonas de la carretera han sufrido un mayor desgaste o deterioro, por el uso de la carretera, en algunos casos sin poderse apreciar ese deterioro a simple vista.

El estudio ayuda a las administraciones a tomar las decisiones de donde acometer trabajos de mejora inmediatamente o esperar a otras fechas, si realizar los trabajos de mejora para tramos independientes o para todo un tramo según disponibilidad económica. La auscultación se realiza sin necesidad de cortar el tráfico, ni generando impedimentos a la circulación de los vehículos, de forma rápida y efectiva.

## **AGRADECIMIENTOS**

Para la realización del trabajo se ha contado con la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) dentro del marco del proyecto TRA2016-77418-R (AEI / FEDER, UE).

## **REFERENCIAS**

- [1] S.E. Paje, M. Bueno, F. Terán, R. Miró, F. Pérez-Jiménez, A. H. Martínez, "Acoustic field evaluation of asphalt mixtures with crumb rubber" *Applied Acoustics*. 71, 2010.
- [2] M. Bueno, J. Luong, U. Viñuela, F. Terán, S.E. Paje, "Pavement temperature influence on close proximity tire/road noise" *Applied Acoustics*. 72, 2011.
- [3] Terán, F., Fernandez Vazquez, V., Huertas, P., Expósito Paje, S., "Software para la representación cartográfica de características funcionales de capas de rodadura" *TECNIACUSTICA* 2017.
- [4] J. Luong, Evaluación de la Superficie de Mezclas Asfálticas: textura y Absorción Acústica relacionadas con el Ruido de Rodadura, PhD thesis, ETSI de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real - Universidad de Castilla-La Mancha (Spain), 2012.
- [5] S.E. Paje, M. Bueno, F. Terán, U. Viñuela, J. Luong. *Assessment of asphalt concrete acoustic performance in urban streets*. *J. Acoust. Soc A*, 123 (2008), 1439-1445.