

NUEVOS FIRMES RECICLADOS: GENERACIÓN DEL RUIDO DE RODADURA

PACS: 43.50.Lj

Paz Núñez, Francisco; 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 13071 Ciudad Real, España
Tel: 926 295 300
E-mail: francisco.paz@uclm.es

ABSTRACT

Re-using construction materials that have lost their initial characteristics and recycling of waste materials are one of the goals of the construction of new roads, from an environmental point of view. Besides, these new surfaces have to ensure the same structural and functional characteristics of any new road built from virgin materials, such as comfort and safety of users. On the other hand, tire/road noise is one of the main environmental problems, principally in big cities. This paper studies the tire/road noise generated by wearing courses built with high percentages of Reclaimed Asphalt Pavement and compares their behavior with that of conventional wearing courses.

RESUMEN

Uno de los principales objetivos en la construcción de firmes, desde el punto de vista medioambiental, es el reciclado de materiales de desecho, y/o la reutilización de otros que han perdido sus características iniciales, todo ello conservando las propiedades estructurales y funcionales para los que fueron construidos, como el confort y seguridad para el usuario y demás ciudadanos. El ruido que transmite la interacción neumático/pavimento, sobre todo en grandes aglomeraciones, es otro de los problemas medioambientales fundamentales. Este trabajo estudia el ruido producido por firmes reciclados con alta tasa de reutilización, y su comparación con los pavimentos tradicionales.

TRODUCCIÓN

Uno de los principales objetivos del programa Europa Horizonte 2020 es que se utilicen de forma racional y eficaz todos los recursos para generar un crecimiento sostenible e integrador. Existe en la actualidad un gran marco normativo y legislativo sobre la generación, utilización y vertido de todo tipo de residuos, tanto a nivel Europeo (Reglamento CE 305/2011), como a nivel nacional, la Ley 10/1998 de residuos en la que se define el marco general para el tratamiento de residuos generados por la sociedad y en la que fija un criterio básico contemplado en su artículo 1.1, se trata de PREVENIR en la manera de lo posible, REUTILIZAR lo que se pueda, RECICLAR lo que no se pueda utilizar y VALORIZAR energéticamente todo lo que no se pueda reutilizar o reciclar.

La construcción en general, así como el mantenimiento y reposición de firmes de carreteras generan una gran cantidad de residuos de obra, en particular el procedente del fresado de las capas bituminosas envejecidas y deterioradas de los pavimentos de las carreteras, también llamado RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), el reciclado y/o la reutilización de este material es necesario no solo por meras cuestiones medioambientales sino que además existen otras muchas razones de orden técnico, económico e incluso social que permiten e implican a un imprescindible reaprovechamiento de estos materiales.

Desde hace aproximadamente unos 30 años se están estudiando y analizando las técnicas del reciclado de pavimentos bituminosos de los firmes de las carreteras superándose en la actualidad la mayoría de las dificultades técnicas y prácticas, empleándose diversos modos para su reutilización, en frío, en caliente, in situ, en central. Con más o menos tasa de reutilización del RAP. Pero las nuevas capas de firme reconstruidas con estos materiales, deben seguir manteniendo e incluso mejorando las características funcionales de las capas iniciales en cuanto a capacidad estructural, y de seguridad y confort para todos sus usuarios.

Una de las características fundamentales que tienen en cuenta las sociedades modernas es el ruido. El ruido es un tipo de contaminación que no se acumula como los residuos convencionales con los que estamos familiarizados, sino que es una forma de energía que se disipa tras un corto periodo de tiempo. Esta característica es la principal responsable de que tradicionalmente no se hayan establecido límites a las emisiones sonoras. Actualmente, la existencia de fuentes continuas de ruido como las infraestructuras del transporte (carreteras y autovías con tráfico continuo) han hecho que se revisen y adapten las legislaciones, estableciendo cotas máximas a la generación sonora en zonas urbanas o rurales según el uso al que están destinadas dichas áreas. Desde los años 80 ya existen precedentes de normativas de ámbito nacional e internacional, sin embargo, en España no se dispone de una legislación de ámbito estatal hasta 2003 [1], donde se busca prevenir y reducir la contaminación acústica siguiendo la idea que se recoge en la directiva europea de 2002 [2].

En el caso particular de las vías de comunicación, existen diferentes fuentes de generación de ruido provocadas por la circulación de un vehículo sobre la carretera. Entre las distintas fuentes, el ruido de rodadura es predominante para velocidades de circulación superiores a 40 km/h, es decir, para la mayoría de vías urbanas e interurbanas. Es por ello que es de gran importancia el conocer los distintos mecanismos de generación del ruido de rodadura, así como la participación en la emisión sonora total de cada uno de ellos y el modo de actuar con el fin de reducir este tipo de contaminación.

Este trabajo se centra en el estudio de las características superficiales de los nuevos pavimentos realizados con el reciclado y/o la reutilización de los materiales fresados y procedentes del pavimento antiguo ya deteriorado. Así como en la generación del ruido que la iteración neumático/pavimento del tráfico rodado provoca en estos nuevos firmes reciclados. Para ello se han realizado numerosas medidas y toma de datos en obras realizadas ensayando con el remolque Tiresonic Mk4 LA²IC. Por otro lado, se han realizado ensayos de absorción acústica y macrotextura, con el fin de determinar las diferencias existentes entre las mezclas bituminosas convencionales y las nuevas con material reciclado. Los resultados permitirán determinar según la composición y características de las mezclas, su repercusión en el ruido de rodadura.

TÉCNICAS EXPERIMENTALES

Existen varias técnicas para la caracterización acústica de mezclas bituminosas. El Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil (LA²IC) cuenta con varios equipos, como son el Tiresonic Mk4 LA²IC (Figura 1), o el LaserStaticPG-LA²IC (Figura 2). Dichos equipos tienen como objetivo la determinación del ruido de rodadura mediante la metodología CPX [3-7] y la textura del pavimento, respectivamente [8]. La disposición de los equipos y el método de trabajo permiten la realización de los ensayos de modo simultáneo, gobernando los equipos desde dos ordenadores independientes. El equipo también registra la velocidad instantánea del vehículo de ensayo mediante un tacómetro directamente conectado al analizador, así como su posicionamiento mediante coordenadas GPS. El LA²IC también cuenta con un tubo de impedancia con el que se estudia el efecto de la impedancia acústica sobre la generación de

ruido de rodadura. Este efecto está encuadrado dentro de los mecanismos relacionados con la amplificación o reducción del ruido de rodadura, de acuerdo con la clasificación de Sandberg y Ejsmont [9].

Tiresonic Mk4-LA²IC

Consiste en un remolque con una cámara semianecoica en cuyo interior se monta un neumático de referencia tipo Pirelli P6000. 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 presión 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 5 kHz.



Figura 1. Tiresonic Mk4 LA²IC

LaserDynamicPG-LA²IC

Este equipo está compuesto por un perfilómetro láser que permite el registro de datos para 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 [8] o el IRI (Índice de Regularidad Internacional). El equipo tiene unas dimensiones reducidas, lo que facilita su instalación. Está diseñado para colocarse en el exterior del vehículo, orientado hacia la superficie que se desea estudiar. También permite la obtención de datos geo-referenciados, ya que registra las coordenadas GPS de forma continua durante la medición. En la Figura 2 se muestra la disposición del perfilómetro láser en la parte delantera del vehículo. El PC desde el que se gobierna el equipo se sitúan en el interior del vehículo.



Figura 2.- Detalle del perfilómetro Laser del equipo LaserDynamicPG-LA²IC.

Tubo de Impedancia

Para la realización de las medidas de absorción acústica se ha empleado el método del tubo de impedancia o tubo de Kundt (Figura 3) [13]. Este método permite determinar el coeficiente de absorción (α) de las mezclas bituminosas. El método de ensayo emplea un tubo de impedancia con una fuente sonora en uno de sus extremos y la muestra ensayada en el extremo opuesto. El intervalo de frecuencias estudiado con este equipo es el comprendido entre 50 Hz y 1,6 kHz.



Figura 3. Tubo de impedancia

ZONA Y MATERIALES ESTUDIADOS.

El RAP es el material procedente del fresado de las capas bituminosas de un firme deteriorado o envejecido, este producto está constituido por materiales de alto valor técnico y económico que hace adecuado su reciclado y reutilización. Si el RAP procede de materiales utilizados en capa de rodadura o intermedia, la calidad de estos materiales hace deseable su reutilización en capas con la misma funcionalidad para aprovechar al máximo el valor de los mismos, característica esta no necesaria si se destina a mezclas recicladas para capas de base. La solución adecuada sería la de reutilizar el RAP generado en la propia capa de reposición, evitando residuos o excedentes que podrían destinarse a empleos con menos valorización.

En España el estudio y características técnicas de los materiales y unidades de obras utilizados en los reciclados de firmes bituminosos, vienen recogidos en los Pliegos de Prescripciones Técnicas y las Normas de la Dirección General de Carreteras [14,15 y 16].

Las mezclas reutilizables en la reposición, y que puedan incorporar RAP, pueden ser ejecutadas *in situ* o en central y a su vez pueden ser recicladas en caliente en planta. No obstante, su tasa de reciclado está limitada (Según la normativa anterior a un 50-60% como máximo) y no permiten un reciclado total, por lo que no es posible con esta técnica volver a colocar en la misma capa todo el RAP generado. Hay otras técnicas, con capacidad para producir mezclas con tasa total de reciclado, como son las de reciclado en frío *in situ* con emulsión bituminosas que sí permiten la utilización del RAP en altas tasas o con reciclado total de la mezcla; sin embargo también presentan algunas limitaciones técnicas y estructurales (curado y resistencia) en los inicios tras su puesta en obra, aunque son indudables sus ventajas de tipo medioambiental.

Esta última técnica es la que se ha utilizado en la zona de estudio donde se ha realizado la toma de datos y auscultación de los trabajos realizados, siendo esta la Carretera Provincial CM-412, entre los PK 0,0 y 11,00, perteneciente a la Junta de Comunidades de Castilla-la Mancha en la provincia de Ciudad Real. En la que se ha realizado un reciclado en frío, *in situ* con emulsión bituminosa, en adelante RFE, en una profundidad media de 10 cm, para su posterior utilización como capa de base, y un posterior refuerzo con dos capas de mezcla bituminosa convencional.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Ruido de rodadura

Se han realizado mediciones y toma de datos sobre la carretera anteriormente mencionada, antes de la realización de los trabajos de reciclado, para evaluar el estado de deterioro del firme antiguo y así poder comparar los resultados con el nuevo materia ya reciclado.

De los datos obtenidos se puede observar el gran deterioro y desgaste que tiene este firme antiguo. Se obtienen valores del nivel sonoro asociado al ruido de rodadura L_{CPTf} muy altos, medidos en decibelios A, siendo estos de 93,7 dB(A) para una velocidad media de 50 km/h y de 101,3 dB(A) para una velocidad media de 80 km/h, ambos valores con las correcciones por temperatura ya realizadas (Figura 4).

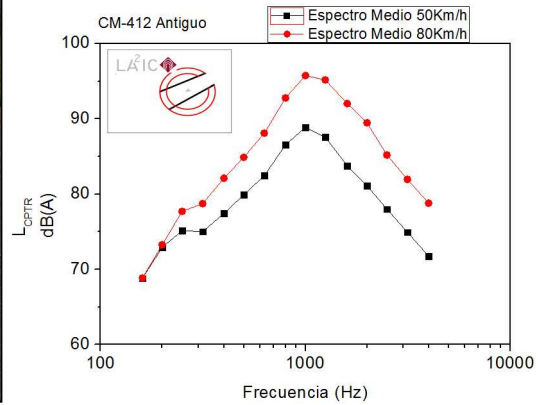


Figura 4.- Firme CM-412 deteriorado (izquierda) y espectro L_{CPTtr} de esta vía (derecha)

Posteriormente se volvieron a tomar el mismo tipo de datos pero con el firme ya reciclado. Obteniéndose unos valores medios más suaves y correctos que nos indican una regularidad superficial buena en el firme ya reciclado. Estos valores fueron de 85,5 dB(A) para una velocidad media de 50 km/h y de 94,2 dB(A) para una velocidad media de 80 km/h (Figura 5).

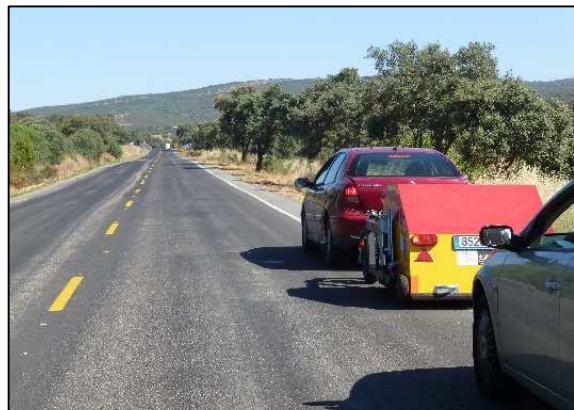
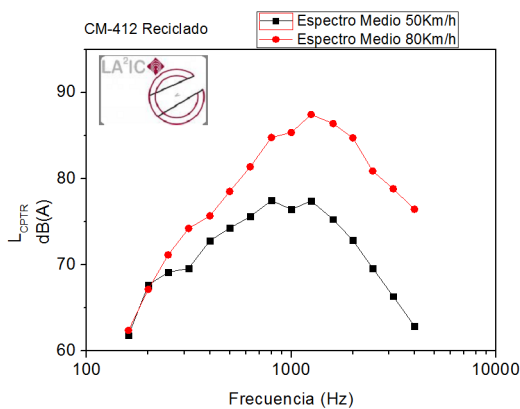


Figura 5.- Espectro L_{CPTtr} de la vía CM-412 reciclada (izquierda) y detalle de la vía (derecha)

Además se tomaron datos de la capa de reciclado en distintos tramos, que se ejecutaron en diferentes fechas, con el fin de poder comprobar el proceso de curado de este tipo de pavimento reciclado. Este proceso de curado, consiste en la pérdida del agua que contiene la emulsión bituminosa añadida al RAP en el proceso de reciclado y reutilización del material fresado, este proceso termina cuando se alcanza un nivel estable de humedad en el firme. En ellos se puede apreciar que el nivel sonoro es aproximadamente 1 dB mayor en el pavimento ya seco (Figura 6, izquierda).

Posteriormente, para comparar y tomar como referencia el nivel de ruido en una capa de rodadura convencional (Figura 6, derecha), se realizó también una medición sobre un tramo ejecutado un año antes en la misma carretera, con el mismo procedimiento de reciclado pero con el pavimento ya totalmente terminado y con una capa de rodadura realizada con un hormigón bituminoso tipo AC 16 S. en este tramo el tráfico rodado ya lleva un año en circulación y se aprecia que el nivel global del ruido producido es aproximadamente 2 dB mayor que en el tramo actual, este efecto es mayor en las altas frecuencias (más de 1000 Hz) y menor en las bajas frecuencias.

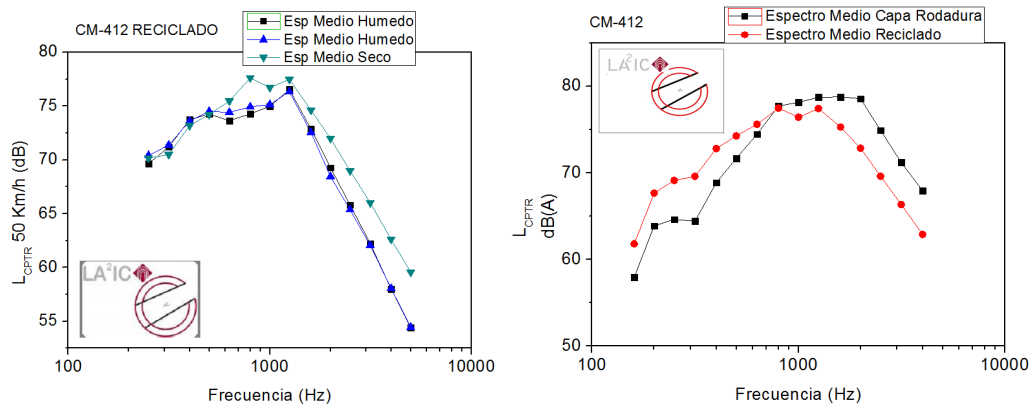


Figura 6.- Espectro del firme Reciclado (CM-412) en distintos momentos durante el curado (izquierda) y Comparación entre la capa de rodadura (AC 16 S) y la mezcla reciclada (derecha)

Tubo de Impedancia

Mediante el tubo de impedancia se han ensayado probetas fabricadas en laboratorio con mezcla con tasa total de material reciclado RAP (Figura 7). Los resultados de absorción acústica se han comparado con los obtenidos con dos mezclas del tipo BBTM 11A: una primera mezcla fabricada con betún convencional, y otra fabricada con polvo de caucho (betún BMAVC) (Figura 7). Como se observa en la figura, el comportamiento de ambas mezclas no tiene grandes diferencias, encontrándose por debajo de 0,2 en la mayor parte del espectro. Destaca la absorción de la mezcla reciclada en las altas frecuencias, por los valores más elevados de absorción, aunque este comportamiento no debe tener gran relevancia en el ruido generado por la interacción neumático/pavimento.

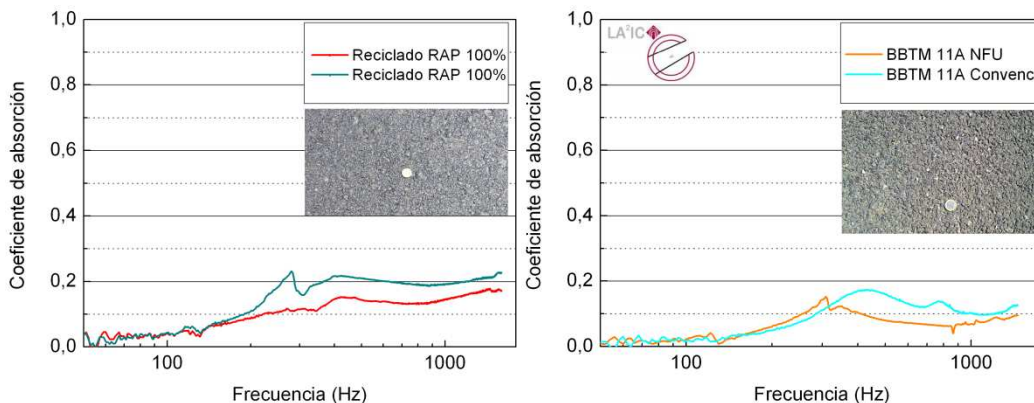


Figura 7. Coeficientes de absorción de las mezclas recicladas (izquierda) y de mezclas convencionales del tipo BBTM 11A (derecha)

Macrotextura superficial

En este apartado se compara la macrotextura superficial de las mezclas fabricadas con alta tasa de material recuperado (RAP) y las mezclas convencionales BBTM 11A incluidas en el apartado anterior sobre absorción acústica.

Como se observa en la Figura 8, la mezcla fabricada en frío, con una tasa de material reciclado del 100%, no tiene una MPD muy superior a la obtenida en otras mezclas como las que se muestran en la figura (mezcla BBTM 11A convencional y con polvo de caucho). Sin embargo, la MPD de este tipo de mezclas recicladas tiene una gran variabilidad dependiendo del punto donde se realiza la medición, si se compara con los valores obtenidos para los otros dos tipos de mezclas bituminosas. Este tipo de mezclas no están diseñadas para ser usadas como capas de rodadura, por lo que se justifica este comportamiento, sin embargo, si se desea emplearlas como este tipo de capas, sería necesario optimizar su macrotextura.

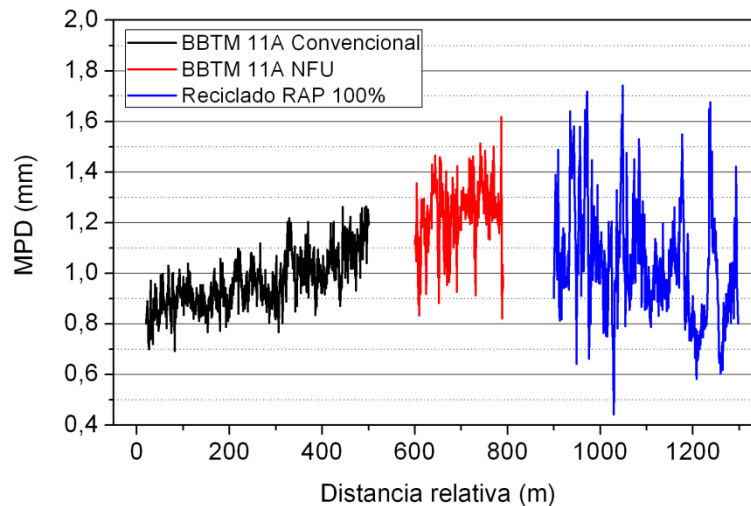


Figura 8. Comparación entre la MPD de varias mezclas bituminosas: Mezclas BBTM 11A y mezclas en frío con material reciclado RAP en un contenido del 100%

CONCLUSIONES

La técnica de reciclado de pavimentos bituminosos en frío RFE con la adición de emulsiones específicas y adaptadas al material procedente del fresado es una técnica con mucho potencial de empleo por sus grandes cualidades técnicas, económicas y medioambientales.

Dentro de las características superficiales que aportan este tipo de firmes reciclados, se encuentra la de proporcionar un menor nivel sonoro al efecto de generación de ruido entre neumático y pavimento en unos niveles de aproximadamente unos 2 dB(A), que hacen factible su clasificación como pavimentos sonorreductores de acuerdo a la clasificación que hace de ellos el Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil de la universidad de Castilla la Mancha [17].

Se observa también como va aumentando el nivel sonoro a medida que se va curando la mezcla reciclada y va perdiendo humedad, esto también hace que la mezcla este viva y tenga mayores deformaciones e irregularidades. Estos mecanismos que afectan a la textura superficial (MPD) pueden ser los responsables de los mayores niveles sonoros mostrados en el espectro medio de la Figura 6, derecha, para las bajas frecuencias, y sin embargo se produce un menor ruido en medias frecuencias que es debido a la menor rigidez de este tipo de mezclas recicladas en comparación con una mezcla convencional [18].

Debido a esto último y a otras características técnicas y estructurales hacen que este tipo de Mezclas no se utilicen para capas de rodadura, salvo en excepciones para caminos de baja intensidad de tráfico y solo se utilicen para capas de base, perdiéndose así las buenas características del material de fresado y todas sus ventajas económicas y medioambientales. Por ello es fundamental seguir trabajando en el desarrollo técnico y de puesta en obra de este tipo de mezclas con el fin de mejorar su comportamiento estructural y superficial (optimización de la MPD) que proporcione el confort y seguridad de una capa de rodadura.

AGRADECIMIENTOS

Para el desarrollo de este trabajo se ha contado con la financiación de la Consejería de Ciencia y Tecnología de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha a través del proyecto PP11-2014-012-A. "Utilización de materiales de desecho en mezclas asfálticas: aplicaciones acústicas, eléctricas y electromagnéticas" y con la financiación del Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO) y fondos FEDER, dentro del marco del proyecto BIA 2012-32177. También se agradecer a la delegación Provincial de la Consejería de Fomento de la JCCM en Ciudad Real, a su jefatura de Carreteras y a su Laboratorio de Control de Calidad por la ayuda recibida para la elaboración de este trabajo.

REFERENCIAS

- [1] *Ley 37/2003, de Ruido*, de 17 de noviembre de 2003 (Boletín Oficial del Estado num. 276)
- [2] Directiva 2002/49/CE de 25 de junio de 2002 *sobre evaluación y gestión del ruido ambiental*
- [3] R. Miró, F. Pérez-Jiménez, A.H. Martínez, O. Reyes, S.E. Paje, M. Bueno, *Effect of crumb rubber bituminous mixes on functional characteristics of road pavements*. Transportation Research Record 2126 (2009) 83-90
- [4] 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 (L)*. J. Acoust. Soc. A. 125, 2009
- [5] 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) 578-582
- [6] M. Bueno, J. Luong, U. Viñuela, F. Terán, S. E. Paje, *Pavement temperature influence on close proximity tire/road noise*, Applied Acoustics 72 (2011) 829-835
- [7] S.E. Paje, J. Luong, V.F. Vázquez, M. Bueno, R. Miró, *Road pavement rehabilitation using a binder with a high content of crumb rubber: influence on noise reduction*, Construction and Building Materials 47 (2013) 789-798
- [8] 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
- [9] U. Sandberg, J.A. Ejsmont. *Tire/Road Noise Reference Book*. Ed. Informex (Suecia 2002)
- [13] Norma UNE-EN ISO 10534-2 *Acústica. Determinación del coeficiente de absorción acústica y de la impedancia acústica en tubos de impedancia. Parte 2: Método de la función de transferencia*
- [14] Dirección General de Carreteras, Mº Fomento: "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes" PG-3. 2004. Y su Nueva revisión de 3-1-2015
- [15] Dirección General de Carreteras, Mº Fomento: Norma 6.3-I.C. "Rehabilitación de firmes" 28 de Noviembre, 2003.
- [16] Dirección General de Carreteras, Mº Fomento: "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de conservación de carreteras" PG-4. 18 de enero de 2002.
- [17] S.E. Paje, M. Bueno, M.Arana "Innovación para el control del ruido ambiental" Universidad de castilla la Mancha .2013
- [18] V.F. Vázquez, *Evaluación de la Rigidez Dinámica y Caracterización Acústica de Mezclas Bituminosas*, PhD tesis, ETSI de Caminos, Canales y Puertos de Ciudad Real – Universidad de Castilla-La Mancha (España), (2015).