

LECHADAS BITUMINOSAS MENOS SONORAS

PROYECTO FÉNIX
TAREA N° 9: SEGURIDAD Y CONFORT
DE LOS PAVIMENTOS

ASFALTOS Y CONSTRUCCIONES ELSAN S.A.

LABORATORIO DE ACÚSTICA APLICADA
A LA INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD
DE CASTILLA-LA MANCHA (UCLM)

LECHADAS BITUMINOSAS MENOS SONORAS

INTRODUCCIÓN

A finales del año 2006 y en la 2ª Convocatoria del Programa CENIT del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, se presentó un Proyecto de Investigación bajo el título: "INVESTIGACIÓN EN NUEVOS CONCEPTOS DE CARRETERAS MÁS SEGURAS Y SOSTENIBLES (PROYECTO FÉNIX)". Este Proyecto fue aprobado por CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial) en el año 2007 con el número: CEN20071014, para su desarrollo en cuatro años (2007 – 2010). El Proyecto Fénix representa el mayor esfuerzo en I+D puesto en marcha en Europa en el área de la pavimentación de carreteras.

El líder del proyecto es la Agrupación de Investigación Estratégica Proyecto Fénix A.I.E., compuesta por seis socios industriales procedentes del sector de la construcción y de la pavimentación (SACYR, ELSAN, PAVASAL, SORIGUÉ, COLLOSA Y SERVIÁ CANTÓN), un socio industrial fabricante de maquinaria de producción de mezcla bituminosa (INTRAME) y un laboratorio privado altamente especializado (CIESM). Además de esta Agrupación Proyecto Fénix A.I.E., hay tres socios más, que son los siguientes: uno de los fabricantes más importante de betún asfáltico en España (REPSOL YPF), un distribuidor de betún asfáltico (DITECPESA) y una aseguradora (CENTRO ZARAGOZA).

Como coordinador del Proyecto está el Dr. Juan José Potti Cuervo, una persona independiente de las empresas que participan en el Proyecto y con una muy amplia experiencia en Proyectos de Investigación a nivel español y europeo.

En este proyecto también participan quince organismos públicos de investigación (OPIs) procedentes de ocho universidades (Huelva, Cataluña, Madrid, Castilla - La Mancha, Valencia y Cantabria), cinco centros tecnológicos procedentes de Andalucía, Extremadura, Castilla y León y el País Vasco, un instituto de investigación del CSIC de Cataluña y el Laboratorio del Transporte del CEDEX. En total 26 organizaciones repartidas por la casi totalidad de la geografía española.

El proyecto, de cuatro años de duración, se estructura en 12 líneas de investigación originales que van desde el desarrollo de nanomateriales activos en la reducción de emisiones de los vehículos, al desarrollo de nuevas tecnologías de producción en plantas asfálticas más eficientes energéticamente, al desarrollo de nuevas mezclas bituminosas obtenidas mediante procedimientos más amigables con el medio ambiente y más seguras ante el riesgo de accidentes, al desarrollo de sistemas proactivos en la seguridad integrados en la carretera o en el aprovechamiento energético de la irradiación solar sobre el pavimento asfáltico o la regulación de un sistema urbano de drenaje sostenible constituido por un pavimento filtrante.

En concreto la TAREA nº 9 lleva por título: SEGURIDAD Y CONFORT DE LOS PAVIMENTOS y tiene como objetivo general: Investigar nuevos materiales y técnicas de pavimentación de carreteras que permitan mejorar la seguridad vial, tanto activa como pasiva, y la comodidad de los usuarios, contribuyendo así a los objetivos fijados por el “Programa de Acción Europeo de Seguridad Vial”.

En esta TAREA participan las Empresas siguientes: ELSAN S.A. (que actúa como líder de la misma), PAVASAL S.A., DITECPESA y EL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN SOBRE REPARACIÓN DE VEHÍCULOS S.A. (CENTRO ZARAGOZA).

Los Organismos Públicos de Investigación (OPIs) que participan en la TAREA son los siguientes: UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA (UCLM), INSTITUTO TECNOLÓGICO DE ROCAS ORNAMENTALES (INTROMAC), CIDAUT, GRUPO DE INVESTIGACION DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION DE LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (UNICAN) y FUNDACION LBEIN – TECNALIA.

La TAREA está dividida en cinco grandes grupos de actividades que determinan las líneas de investigación que se están desarrollando. Estas actividades son las siguientes:

1. PAVIMENTOS MÁS SILENCIOSOS
2. PAVIMENTOS MÁS SEGUROS
3. SEGURIDAD PROACTIVA EN LAS CARRETERAS
4. SISTEMAS ITS INTEGRADOS EN EL PAVIMENTO
5. ENSAYOS DE ADHERENCIA CON VEHÍCULOS INSTRUMENTALIZADOS

En concreto y dentro de la primera actividad, relativa a pavimentos más silenciosos, una de las líneas de investigación es la definición de lechadas bituminosas menos ruidosas. El objetivo de esta comunicación es describir el trabajo de investigación proyectado, cómo se está desarrollando el mismo y los primeros resultados que se están obteniendo.

RUIDO DE RODADURA. DEFINICIÓN Y GENERACIÓN

El ruido producido por el tráfico rodado es la suma de los distintos tipos de emisiones procedentes de cada uno de los vehículos que circulan por una misma carretera. Cada vehículo tiene diferentes fuentes de emisión que combinadas dan el nivel total del ruido generado por un vehículo.

Las principales fuentes de ruido en el tráfico rodado son las siguientes:

- Propulsión del vehículo, en las que interviene el motor, la transmisión, el sistema de admisión y escape de gases, los frenos y la suspensión.
- Ruido aerodinámico o de turbulencias originado por la interacción de la carrocería del vehículo y el aire. Depende de la forma de la carrocería y aumenta con la velocidad. Se suele medir en túneles de viento, con el motor parado, con objeto de estudiar específicamente esta fuente de ruido.
- Ruido de rodadura originado por la interacción del neumático con la superficie de la carretera.

Un factor importante que influye directamente en la generación del ruido producido por el tráfico rodado es la velocidad del vehículo. Como norma general se puede indicar que para los vehículos ligeros actuales, circulando hasta 40 Km/h, la influencia en la generación del ruido es predominantemente de tipo mecánico, siendo el ruido de rodadura a velocidades superiores. Este límite es de 70-80 Km/h para vehículos pesados. En la tabla siguiente se muestran porcentajes de contribución al ruido total con un pavimento de mezcla bituminosa convencional.

Fuente de Ruido	V = 50 km/h		V = 80 km/h	
	Vehículos ligeros	Vehículos pesados	Vehículos ligeros	Vehículos pesados
Motor	20 - 50 %	10 - 80 %	15 - 35 %	50 - 70 %
Transmisión	5 - 35 %			
Tubo de escape	15 - 35 %			
Ventilador/radiador	0 - 30 %			
Admisión/escape	10 - 35 %	0 - 10 %		
RODADURA	10 - 15 %	10 - 15 %	65 - 85 %	30 - 50 %

Otro factor importante que influye directamente en el ruido de rodadura es el tipo y estado del neumático del vehículo. Así mismo, tanto en la generación como en la propagación del ruido hay factores externos que también influyen, siendo las condiciones meteorológicas (lluvia, viento, temperatura, etc.) el factor externo que mayor influencia tiene.

Se puede concluir que el ruido de rodadura es resultado de una compleja interacción entre el neumático y la superficie de rodadura. Como ya se ha comentado, es la mayor causa del ruido de tráfico, particularmente en vehículos que circulan a velocidades medias y altas. Con el objetivo de diseñar pavimentos más silenciosos es necesario conocer los mecanismos que gobiernan la generación y propagación de este tipo de ruido.

Los mecanismos de generación de ruido de rodadura se suelen clasificar en dos grupos: vibratorios y aerodinámicos.

Los mecanismos vibratorios comprenden los impactos y la adhesión neumático-pavimento. Las vibraciones se deben al choque del relieve del neumático contra el pavimento; son vibraciones locales tanto normales como tangenciales con respecto al eje de giro del neumático. Suelen ser la causa de las emisiones de ruido a bajas frecuencias (<1000Hz) y son importantes en el caso de superficies de rodadura rugosas (alta macrotextura).



Las vibraciones de tipo radial se originan en el relieve del neumático al "contactar/abandonar" el pavimento. Estos relieves se comprimen/descomprimen más o menos debido al impacto, en función de la velocidad del vehículo y la rigidez de los compuestos de la goma de los que están fabricados.



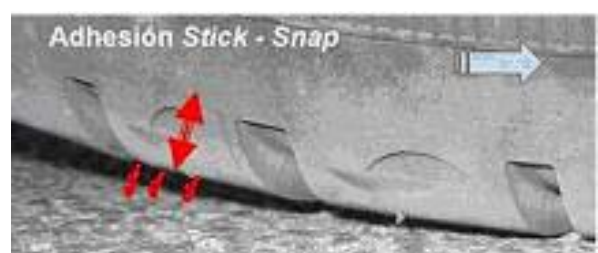
Las vibraciones de tipo tangencial se producen por la deflexión de los tacos de relieve del neumático, como en el caso de las radiales, pero en la dirección de marcha.

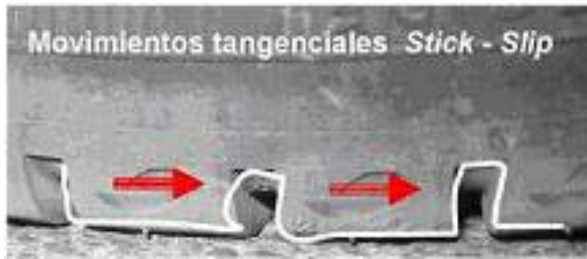
Además, también existen las vibraciones de los flancos de los neumáticos que sufre la alternancia de compresiones y de expansiones en función de la estructura del neumático, la carga por eje y la presión de inflado.



Estas vibraciones, aun en el caso de generar menos energía sonora que las radiales, pueden tener importancia cuando se producen fenómenos de resonancia acústica.

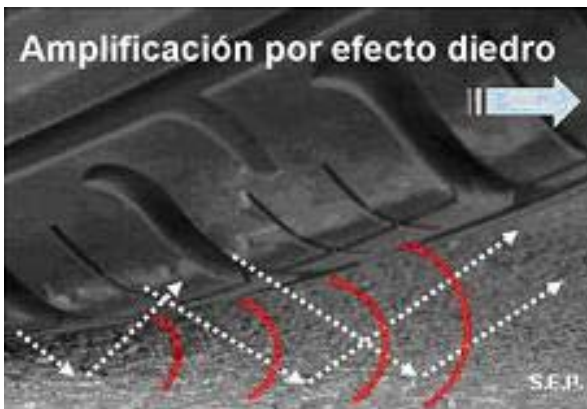
Los mecanismos de adhesividad neumático-pavimento corresponden al efecto pegado-despegado (efecto stick-snap) similar al efecto ventosa, entre la superfi-





cie del pavimento y el relieve del neumático. Por otro lado también se producen deflexiones tangenciales del relieve del neumático en el contacto con el pavimento al derrapar ligeramente (efecto stick-slip).

Los mecanismos generadores de vibraciones toroidales se producen por la ondulación de los cinturones de la carcasa de refuerzo del neumático al contactar con el pavimento.



Los mecanismos aerodinámicos (air pumping) corresponden al bombeo del aire debido a la compresión y expansión del aire atrapado en las cavidades originadas en la zona de contacto limitadas por la banda de rodadura del neumático y la superficie del pavimento.



Todos estos mecanismos son responsables del incremento y reducción del ruido de rodadura. Principalmente están compuestos por el efecto diedro (bocina), el efecto de la impedancia acústica (comunicación de cavidades entre pequeñas cámaras de aire y tubos) y la resonancia toroidal de la carcasa del neumático. Estos mecanismos son los responsables de las frecuencias medias y altas (>1000Hz) del ruido de rodadura. El nivel de ruido producido en el bombeo de aire aumenta cuando las superficies de las capas de rodadura son lisas y disminuyen cuando son rugosas dentro de un cierto límite que corresponde a macrotexturas con longitud de onda $\lambda \leq 10$ mm.

Una propiedad importante de la capa de rodadura de un firme, desde el punto de vista de la sonoridad, es la absorción acústica, que interviene tanto en la emisión como en la propagación del ruido. Cuando una onda sonora choca contra una superficie dura, se refleja con casi toda la energía incidente; esto es lo que suele ocurrir con las rodaduras convencionales formadas por mezclas bituminosas de los tipos densas o semidensas, tratamientos superficiales o por pavimentos de hormigón.

Otra característica muy importante de un pavimento es la textura superficial, evaluada por los parámetros definidos como microtextura y macrotextura, que son determinantes en la comodidad y seguridad de los usuarios, por su influencia en la resistencia al deslizamiento y por su influencia en la generación del ruido de rodadura y la absorción acústica del pavimento, según que la macrotextura sea positiva o negativa. La mayor absorción acústica se produce en pavimentos con elevada macrotextura de tipo negativa (mezclas porosas).

LECHADAS BITUMINOSAS. SONORIDAD Y ABSORCIÓN ACÚSTICA

Los tratamientos superficiales con lechadas bituminosas para la renovación superficial de pavimentos forman una familia de materiales muy conocida y desarrollada técnicamente, con unas excelentes prestaciones para la impermeabilización de firmes envejecidos o para conseguir pavimentos resistentes al deslizamiento.

Las lechadas bituminosas, especialmente las más gruesas, por su elevada macrotextura de tipo positivo, son pavimentos con un elevado ruido de rodadura y una baja absorción acústica. En este sentido, en estudios y pruebas realizadas con distintos tipos de pavimentos, al medir el ruido de rodadura en el exterior del vehículo a una distancia de 7,50 metros del mismo, mientras que con una mezcla bituminosa porosa (pavimento con baja sonoridad) se obtienen valores entre 69 y 76 dB (en estas mezclas el ruido de rodadura depende, principalmente, del espesor de la capa, del contenido en huecos de la mezcla y del tamaño máximo del árido), con una mezcla bituminosa convencional los valores del ruido de rodadura varían entre 74 y 79 dB, para un tratamiento con lechada bituminosa dicho ruido en el exterior del vehículo oscila entre 74 y 82 dB y para pavimentos de hormigón, los valores varían entre 76 y 85 dB.

Esta elevada sonoridad de las lechadas bituminosas, junto con los problemas de tiempo de curado y apertura al tráfico que tienen estos tratamientos, han limitado su utilización en muchas carreteras, especialmente en zonas urbanas o periurbanas, a pesar de ser una técnica de pavimentación con una relación calidad precio muy alta y que permite obtener unos pavimentos muy seguros.

Por este motivo, en el Proyecto FÉNIX se ha planteado, dentro de la TAREA denominada Seguridad y Confort de los pavimentos, la investigación de un tipo de lechada bituminosa que permita acortar el tiempo de curado y su apertura al tráfico y que, de manera especial, permita reducir el ruido de rodadura producido por la rodadura de los vehículos

sobre esta superficie. Las dos líneas de investigación paralelas puestas en marcha, con este fin, son las siguientes:

- Obtener un tipo de ligante, en forma de emulsión bituminosa, que permita disminuir la cantidad de agua de preenvuelta necesaria para fabricar las lechadas bituminosas y que desarrolle valores elevados de la cohesión a muy corto plazo, permitiendo abrir al tráfico el tratamiento en muy corto tiempo, disminuyendo o incluso eliminando las retenciones de tráfico en vías de elevada IMD.
- Estudiar la incorporación de polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso, sustituyendo una parte del árido que constituye la lechada bituminosa. Las posibles ventajas de esta nueva técnica de pavimentación serían: una buena textura, un nivel de sonoridad menor y posiblemente un comportamiento aceptable en condiciones de bajas temperaturas al facilitar la rotura de las capas delgadas de hielo por el paso de los vehículos sobre una capa muy flexible como podría ser la obtenida con estas lechadas bituminosas con polvo de caucho de neumáticos fuera de uso.

LECHADAS BITUMINOSAS CON POLVO DE CAUCHO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)

La utilización de polvo de caucho de neumáticos fuera de uso (NFU) en las técnicas bituminosas de pavimentación, especialmente con las mezclas bituminosas en caliente, está muy desarrollada y son conocidas las ventajas que aporta. En el mes de mayo del año 2007, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) ha publicado un documento denominado: "MANUAL DE EMPLEO DE CAUCHO DE NFU EN MEZCLAS BITUMINOSAS", que recoge el estado del arte, en cuanto a conocimientos y experiencia en España, del empleo del polvo de caucho de NFU en mezclas bituminosas, para ayudar a los técnicos y Administraciones responsables de las carreteras a utilizar adecuadamente este material, definiendo las condiciones que permitan su empleo, de acuerdo con las directrices del Plan Nacional de Neu-

máticos Fuera de Uso y del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Así mismo, en el mes de julio de 2007, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento ha emitido la ORDEN CIRCULAR 21/2007, SOBRE EL USO Y ESPECIFICACIONES QUE DEBEN CUMPLIR LOS LIGANTES Y MEZCLAS BITUMINOSAS QUE INCORPOREN CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU).

En las técnicas en frío, como es el caso de las lechadas bituminosas, la mejora que produce la incorporación del polvo de caucho al betún se puede obtener en la fabricación de la emulsión, es decir, la denominada vía húmeda.

En el caso de utilizar la denominada vía seca, incorporación del polvo de caucho directamente en la mezcla, al realizarse a temperatura ambiente, no hay reacción entre el caucho y el ligante, actuando el polvo de caucho exclusivamente como una fracción más del árido utilizado. En este sentido y buscando su influencia en la generación de ruido de rodadura, el tamaño del polvo de caucho que se ha elegido y utilizado, después de los primeros estudios, es de 2 a 4 mm. Esta es la línea de investigación que se está desarrollando en el Proyecto FÉNIX.

Trabajo de Laboratorio

El trabajo en Laboratorio se ha planteado de acuerdo con las líneas siguientes:

- Compatibilidad del polvo de caucho con el ligante en forma de emulsión.



- Estudio de la influencia del tamaño del polvo de caucho de NFU.
- Diseño a nivel de Laboratorio de distintos tipos de lechadas bituminosas, de las prescritas en el Artículo 540 del vigente PG-3, incorporando polvo de caucho de NFU, de tamaño de 2 a 4 mm., y utilizando como ligante emulsiones convencionales de los tipos ECL-2d y ECL-2dm (Artículos 213 y 216 del PG-3) y una emulsión sintética de color rojo. La cantidad de polvo de caucho incorporado varía entre el 5 y el 10% en peso de árido.
- Diseño de lechadas bituminosas con la incorporación de polvo de caucho de NFU en cantidades sensiblemente mayores de las utilizadas en los diseños anteriores. Utilización de granulometrías del árido no incluidas en la normativa vigente.
- Análisis de los resultados obtenidos y nuevas líneas de investigación.

Los dos primeros apartados se desarrollaron en el año 2007. El diseño de lechadas bituminosas se inició a finales de 2007 y se ha completado en el primer semestre de 2008.

En el segundo semestre de 2008 y el primero de 2009 se está realizando el estudio de nuevos tipos de lechadas bituminosas con un contenido de polvo de caucho de NFU sensiblemente mayor (hasta el 30% en peso de árido).

Por último, está previsto durante el segundo semestre de 2009 analizar los resultados obtenidos

y plantear posibles nuevas líneas de investigación para completar el trabajo en 2010.

Tramos de ensayo

A partir de los buenos resultados obtenidos en el Laboratorio, se ha planteado la necesidad y conveniencia de realizar tramos de ensayo a escala real para comprobar la posibilidad de fabricación y puesta en obra de las lechadas bituminosas con polvo de caucho de NFU diseñadas en el trabajo de investigación.

En esta línea, en mayo de 2007 se realizaron unos primeros tramos de ensayo con ligante sintético de color rojo, con un árido de granulometría tipo LB-4 de las prescritas en el Artículo 540 del PG-3 y utilizando polvo de caucho de NFU de dos tamaños diferentes, de 0,0 a 1,5 mm. y de 1,5 a 4,0 mm. Se fabricaron tres tipos de lechadas, sólo con polvo de caucho fino, sólo con polvo grueso y con una mezcla al 50% de ambos tipos de polvo de caucho.

Los resultados fueron en todos los casos buenos y confirmaron la conveniencia de utilizar exclusivamente el polvo de caucho de NFU grueso.

En junio de 2008, una vez obtenida a nivel de Laboratorio la Fórmula de Trabajo de la lechada bituminosa con polvo de caucho de NFU por vía seca, se realizó un nuevo tramo de ensayo, en las instalaciones de Asfaltos y Construcciones ELSAN S.A. en Arganda del Rey, en los viales de acceso a la planta de fabricación de mezcla bituminosa en caliente. La lechada bituminosa diseñada fue del tipo LB-2 (Artículo 540 del PG-3) con emulsión tipo ECL-2dm y con la incorporación del 7% de polvo de caucho de NFU (de granulometría de 2 a 4 mm.) en peso de árido.

Se extendieron dos tramos contiguos, en un caso con la incorporación de polvo de caucho y en el otro sin él.



Lechada sin polvo de caucho.



Árido con polvo de caucho.



Extendido lechada con polvo de caucho.



Lechada con polvo de caucho.



Textura de la lechada con polvo de caucho.



Tramos de ensayo realizados.

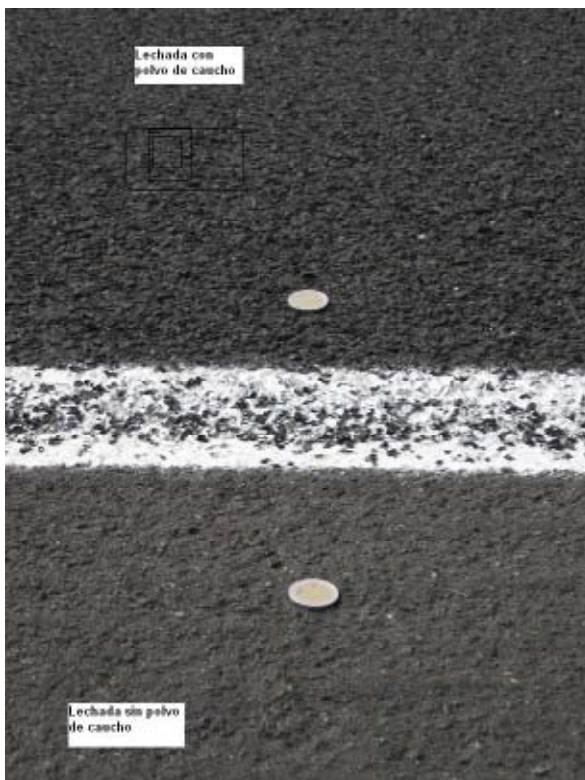
El paso siguiente ha sido la realización de un tramo de ensayo en una carretera convencional, formando parte de un tratamiento generalizado con lechada bituminosa, lo que nos ha permitido medir el ruido de rodadura que se produce sobre este material y su comparación con los valores de dicho ruido sobre otros tipos de pavimento en la misma carretera.

En los meses de junio y julio de 2008 Asfaltos y Construcciones ELSAN S.A. ha realizado un trabajo de pavimentación con lechada bituminosa



del tipo LB-3 y emulsión ECL-2m (modificada con polímeros) en la carretera CM-4106, entre los P.K. 54,700 y 70,100, que corresponde entre las poblaciones de Horcajo de los Montes y Alcobá, en la provincia de Ciudad Real. La obra se ha ejecutado por encargo de la empresa CONTRATAS LA MANCHA, responsable de la conservación de la misma.

Para la ejecución del tramo de ensayo se solicitó la autorización correspondiente a la Administración propietaria de la carretera CM-4106, que pertenece a la Red Comarcal de Carreteras de la Dirección General de Carreteras de la Consejería de Ordenación del Territorio y Vivienda de la



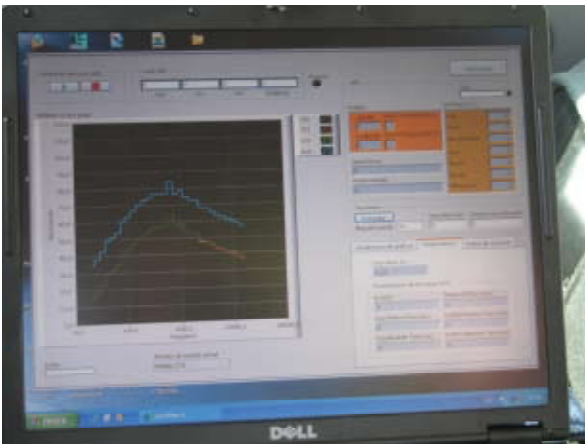
Junta de Castilla - La Mancha, habiendo recibido toda la colaboración e interés de la Delegación Provincial de Carreteras de Ciudad Real de la citada Consejería.

El paso siguiente ha sido medir el ruido de rodadura en diversos tramos de la citada carretera CM-4106 con técnicas de pavimentación diferentes. Este trabajo ha sido desarrollado por el Laboratorio de Acústica Aplicada a la Ingeniería Civil (LA2IC) de la Universidad de Castilla - La Mancha (UCLM) que participa en el Proyecto FÉNIX como Organismo Público de Investigación (OPI).

Ruido de rodadura en diversos tramos de la carretera CM-4106.

Se han llevado a cabo diferentes campañas de medida en ciertos tramos situados en la CM-4106 de la provincia de Ciudad Real para realizar la auscultación acústica geo-referenciada con la cámara semianecoica TireSonic MK4-LA2IC. El fin es caracterizar el ruido de interacción neumático/pavimento de diferentes capas de rodadura.





La longitud total de auscultación en diversos tramos es de unos 18 km, entre los pueblos Horcajo de los Montes (PK 54) y El Robledo (PK 92). En esta zona de ensayo nos encontramos mezclas y tratamientos superficiales diferentes.

Estas medidas fueron llevadas a cabo el 1 de Octubre de 2008: dos meses después de la puesta en obra de un tramo experimental con lechada bituminosa LB-3 con polvo de caucho procedente de NFU situado entorno al PK 68 de la citada vía.

Este estudio de auscultación en los tramos de ensayo se ha completado con campañas de medida de textura geo-referenciada (macrotextura) y medidas en laboratorio de la absorción acústica de diferentes testigos de lechadas bituminosas, con y sin polvo de caucho, elaborados por Elsan, y de testigos extraídos de tramos de ensayo experimentales.

Uno de los objetivos finales de este estudio es conseguir la mejora y optimización del comportamiento acústico de las lechadas bituminosas. Para ello es

imprescindible conocer los mecanismos involucrados en la generación y emisión sonora de las capas de rodadura estudiadas, y fundamentalmente de las lechadas bituminosas con y sin polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU).

Se han realizado medidas sobre las siguientes capas de rodadura:

- MBC "antigua".
- LB-3 "nueva".
- LB-3 "nueva" con polvo de caucho procedente de NFU.
- MBC "nueva".
- LB-3 "antigua".

Las medidas sobre capas de rodadura de Mezclas Bituminosas (MBC) nos han permitido comparar el comportamiento acústico de éstas con las Lechadas, o utilizarlas como referencia.

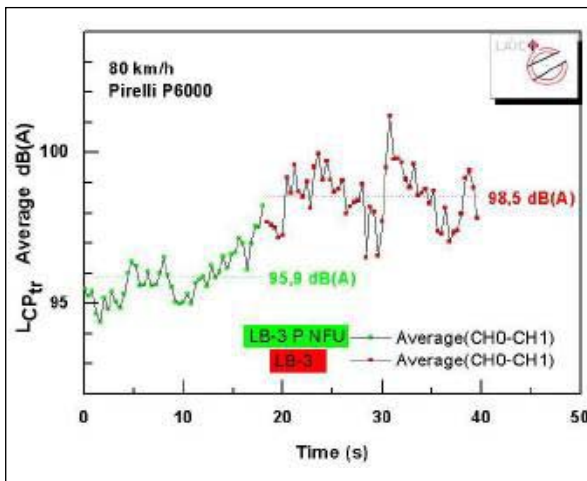
Para realizar las medidas de campo se ha utilizado una metodología y equipos puestos a punto en el LA2IC para medir exclusivamente las características acústicas de las capas de rodadura en carretera (sonido exclusivamente de rodadura), para realizar auscultación acústica de carreteras y para la clasificación acústica de las mezclas bituminosas y los tratamientos superficiales.

Se han medido los niveles sonoros en campo próximo (sonido de rodadura), LCPtr, a una velocidad de referencia de 80 km/h y con uno de los neumáticos de referencia utilizados por el LA2IC en numerosas investigaciones: el Pirelli P6000.

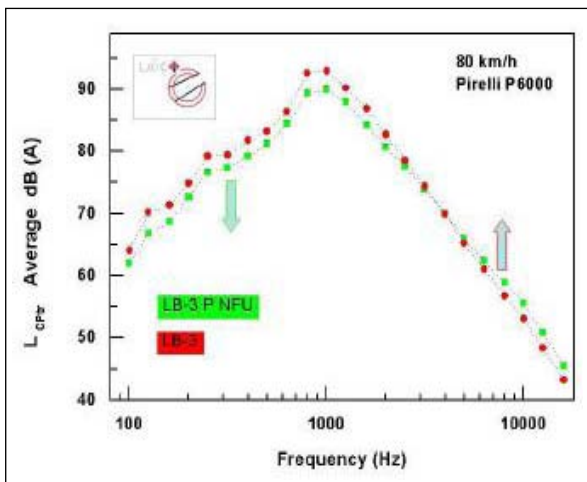
Como algunos de los resultados fundamentales de esta investigación señalaremos que:

- **Se ha medido una reducción en los niveles sonoros globales, LCPtr (Niveles del Sonido de Rodadura), superiores a 1,5 dB(A) para la lechada LB-3 con un 7% de polvo de caucho de NFU con respecto al mismo tipo de lechada bitumi-**

nosa sin la adición de polvo de caucho. En algunos de los subtramos estudiados, esta diferencia entre lechadas “nuevas” con y sin polvo de caucho llega a ser superior a 2,5 dB(A). Los estudios preliminares de la macrotextura en los tramos de ensayo indican que este resultado no es debido a una mayor macrotextura en las lechadas sin polvo de caucho.



Evolución de los niveles sonoros de rodadura en la zona de ensayo con Lechada con polvo de neumático (en verde) y sin polvo de neumático (en rojo), y los niveles medios obtenidos en uno de los ensayos llevados a cabo. CM-4106, Ciudad Real.



Espectro sonoro medio en tramos de ensayo de las diferentes lechadas bituminosas, con y sin polvo de caucho. Se observa cómo el mecanismo sonoro que se consigue mejorar con la lechada con polvo de caucho es fundamentalmente el mecanismo de generación de sonido por impacto del neumático con la carretera (bajas frecuencias).

• **Los niveles sonoros globales, LCPtr (Niveles del Sonido de Rodadura), registrados en el tramo experimental con la lechada LB-3 con**

un 7% de polvo de caucho de NFU son comparables a los niveles globales registrados en una mezcla bituminosa, que hemos denominado MBC “antigua”. En algún tramo en curva, los niveles sonoros asociados a la MBC “antigua” son superiores en 1,5 dB(A) a los obtenidos en la LB-3 con polvo de caucho.

- La mezcla denominada MBC “nueva” es la que presenta la emisión sonora más baja durante la rodadura: algo más de 1 dB(A) inferior a los niveles medios registrados en la LB-3 con polvo de caucho.
- Las diferencias en los niveles registrados del sonido de rodadura pueden variar de forma significativa, dependiendo de los tramos estudiados. Así, existen dos tramos de lechadas “antiguas” y “nuevas” con unas diferencias de alrededor de 1 dB(A). Cabe señalar que estudios realizados con el equipo de auscultación geo-referenciada TireSonic-MK4-LA2IC dan una repetibilidad de los resultados sonoros que dan una desviación estándar inferior a los 0.2 dB (A) para un tramo de ensayo de unos 500 metros de longitud.
- El análisis de los espectros sonoros en las lechadas con y sin polvo de caucho indicarían que en las primeras, los mecanismos de generación sonora por impacto y vibraciones de los neumáticos del los vehículos durante la rodadura se han conseguido disminuir apreciablemente.

En primer lugar queremos destacar que estos resultados corresponden a un único tramo de ensayo y que deberán ser confirmados con nuevos tramos y nuevos tipos de lechas bituminosas con polvo de caucho de NFU.

Por los resultados registrados, la utilización de lechadas con polvo de caucho con la formula de trabajo inicialmente obtenida en el trabajo de investigación desarrollado por ELSAN dentro del Proyecto FÉNIX, permitiría incrementar hasta al doble el volumen de tráfico sin verse incrementado el sonido ambiental procedente de la interacción neumático pavimento, si lo comparamos con una lechada sin la utilización de polvo de caucho. Esto sería válido para velocidades

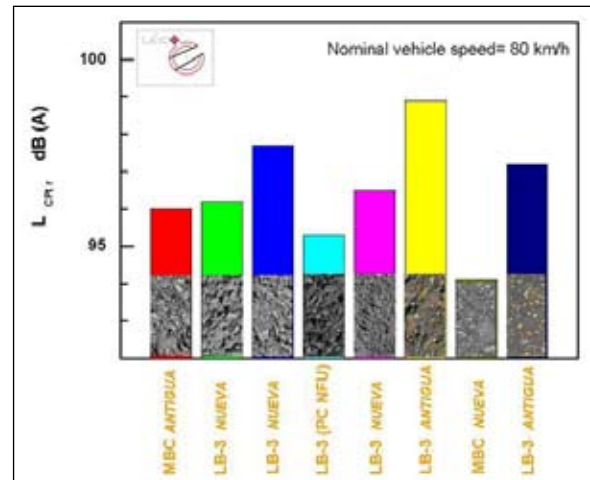
medias por encima de los 40-50 km/h y tráfico fluido, en donde el ruido de rodadura es el dominante.

La Tabla siguiente es un resumen de las características acústicas, en cuanto a ruido de rodadura, de los pavimentos evaluados en la carretera CM-4106 entre los P.K. 54,0 y 92,0 (Ciudad Real).

		Nivel sonoro medio dBA) <i>L_{CRP}</i>	Foto Superficie	Velocidad media (km/h)
Zona 1	MBC <i>antigua</i> PK 54-54,7	96		80.1
	LB-3 <i>nueva</i> PK 54,7-58	96,2		79.6
Zona 2	LB-3 <i>nueva</i> PK 66-67,9	96,8		80.1
	LB-3 con PC NFU PK 67,9-68,3	95,3		79.7
	LB-3 <i>nueva</i> PK 68,3-70,1	96,5		80.1
	LB-3 <i>antigua</i> PK 71-74	99		80.0
Zona 3	MBC <i>nueva</i> PK 90-91,55	94,2		80.2
	LB-3 <i>antigua</i> PK 91,55-92	97,2		80.1

Esta auscultación acústica de las infraestructuras viarias nos ha permitido clasificar acústicamente diferentes capas de rodadura presentes en la CM-4106 en la provincia de Ciudad Real. Hemos clasificado diferentes capas de rodadura, algunas de gran interés tecnológico y científico que podrían permitir tener carreteras más seguras y sostenibles en el futuro cercano. Presentamos en la siguiente figura el resultado de esta clasificación.

En estos momentos se continua el trabajo de investigación a nivel de Laboratorio según la planificación inicial y esperamos obtener nuevos resultados, en esta misma línea, a lo largo del año 2009.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

MONOGRAFÍA nº 3 ASEFMA, 2009. Reducción del Ruido Ambiental en Origen. La Contribución del Sector de las Mezclas Asfálticas.

Artículos y Comunicaciones a Congresos sobre la Metodología CPX (Comportamiento Acústico de Pavimentos Asfálticos), Absorción Acústica, Auscultación, Mapas de Ruido de Rodadura-Estado de Conservación del Pavimento. Mecanismos de Generación del Ruido en Pavimentos Porosos.

S. E. Paje, M. Bueno, U. Viñuela y F. Terán. Toward the acoustical characterization of asphalt pavements: Analysis of the tire/road sound from a porous surface (L). Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 125 (1), x-x, (2009).

S. E. Paje, M. Bueno, F. Terán, U. Viñuela and J. Luong. Assessment of asphalt concrete acoustic performance in urban streets. Journal of the Acoustical Society of America. Vol. 123 (2), 1439-1445 (2008).

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, Vol. 122 (5), 2636-2641 (2007).

S. E. Paje, M. Bueno, F. Terán and U. Viñuela. Influence of sound absorption on close proximity noise of porous pavement. Meeting Acoustics'08. ASA, EAA, SFA . 2008.