

Francisco José Lucas Ochoa,
Director Técnico de Asfaltos Repsol
YPF Lubricantes y Especialidades,
S.A. ATC-Comité de Conservación.

Resumen

Los neumáticos fuera de uso representan un problema medioambiental y ya en el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso de España, aprobado en 2001 y revisado en 2006, se establecía como línea prioritaria de actuación la valorización de estos residuos mediante su reciclado, frente a otras alternativas



Rehabilitación de firmes con mezclas bituminosas en caliente fabricadas con betunes caucho

como la valorización energética, y la prohibición expresa del vertido de neumáticos. La legislación, los sistemas integrados de recogida, la reutilización y valorización de NFU, y la sensibilidad de ciertos sectores al problema, están posibilitando su minimización

La carretera es, probablemente, el mercado potencialmente más importante para la valorización del residuo. La normativa técnica en materia de mezclas bituminosas para carreteras está ampliamente desarrollada y catalogadas las diferentes técnicas y gamas de ligantes que contemplan el empleo de NFU.

Actualmente están normalizadas tres gamas de ligantes bituminosos fabricados con PNFU: los betunes mejorados BC, los betunes modificados BMC y los betunes modificados de alta viscosidad BMAVC. Las aplicaciones de estos ligantes son múltiples, permitiendo la fabricación de prácticamente cualquier tipo de mezcla considerada en la normativa de carreteras de España, por lo que en operaciones de rehabilitación de firmes, ya sea superficial o estructural,

en conservación de carreteras se puede contemplar el empleo de mezclas fabricadas con betunes con polvo de neumático fuera de uso.

Palabras clave: conservación, rehabilitación, firmes, mezclas bituminosas, betunes, polvo de neumático, medioambiente, sostenibilidad.

Antecedentes

El Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso (NFU) de España, aprobado en 2001 y revisado en 2006, establece como línea prioritaria de actuación la valorización de estos residuos mediante su reciclado, frente a otras alternativas como la valorización energética, y prohíbe expresamente el vertido de neumáticos, ya sean enteros o troceados.

Dentro de las posibles técnicas de valorización se contempla la de su utilización en las obras públicas, siempre que sea técnica y económicamente viable. En octubre de 2002 la Dirección General de Carreteras, perteneciente al Ministerio de Fomento

de España, emitió la Orden Circular 5 bis/02 en la que se establecen unas condiciones para la adición de polvo de neumáticos usados en mezclas bituminosas, cuyo objetivo básico era servir de puente hasta la correspondiente modificación del PG-3, normativa técnica de carreteras de España, que estableciera definitivamente los criterios de empleo de este modificador. Posteriormente, la O.M. 891/2004 aprueba las modificaciones de los artículos correspondientes del PG-3, dando prioridad a la utilización de polvo de neumático fuera de uso. Con la publicación del "Manual de empleo de caucho de NFU en Mezclas Bituminosas" por parte del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas) y finalmente, con las O.C. 21/2007 y O.C. 21 bis/2009 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU), finaliza un largo camino iniciado años atrás. Este impulso normativo por parte de la Dirección Ge-



neral de Carreteras del Mº de Fomento ha venido animando al sector en el desarrollo de nuevos procedimientos y aplicaciones de estos ligantes de forma que, en estos momentos, nos encontramos en una posición idónea para que, a través de distintos tipos de ligantes, se genere un consumo muy significativo de neumáticos reutilizados en los firmes de las carreteras españolas.

Aunque desde los primeros desarrollos y patentes existentes sobre la vía seca (introducción del polvo directamente a la mezcla áridos+betún)

se viene debatiendo en qué medida dicho sistema supone o no la existencia de un ligante diferente al betún utilizado en la mezcla, en este artículo se considerarán como ligantes elaborados con polvo de neumático fuera de uso a los productos resultantes del empleo de la llamada vía húmeda, esto es, la incorporación del polvo al betún previamente a su utilización en la mezcla bituminosa. No obstante, reseñar que tanto la OC 21/2007 como el "Manual de empleo de caucho de NFU en Mezclas Bituminosas" por parte del CEDEX, contemplan la posibilidad de emplear la vía seca.

2. Aspectos técnicos del betún caucho procedente de NFU

2.1. Interacción betún-caucho

Cuando el betún y el polvo de caucho se mezclan hay una interacción entre ambos materiales. Esta interacción, definida como reacción be-

ción que pueden ajustarse (dentro de unos límites) para obtener el producto deseado.

Se produce un proceso de absorción, por parte de las cadenas de polímero natural y sintético existentes en el grano de polvo de neumático, de los componentes más ligeros o aromáticos del betún, produciéndose en el mismo un efecto de hinchamiento. Así pues, a priori, parece que no se trata de una reacción química. El caucho natural es más reactivo con las fracciones más aromáticas del betún que el sintético, y parece evidente que cada grupo de cadenas caracterizará de manera diferente al ligante en función de su tipología.

La reacción no termina con una fusión del polvo de caucho en el betún, sino que a medida que interacciona con el betún se va hinchando y ablandando. Además, las partículas que han reaccionado se hacen más pegajosas y desarrollan una cierta capacidad adhesiva. Una partícula totalmente reaccionada puede incrementar su volumen de 3 a 5 veces respecto a su volumen original.

Una forma de controlar el proceso es medir la viscosidad del sistema betún+polvo. A medida que el betún y el polvo de caucho van interaccionando, éste absorbe la fracción aromática del betún, perdiendo este último fluencia; y la viscosidad de la mezcla se incrementa según se reduce la capacidad de lubricación de los aceites aromáticos del ligante. Además, el hinchamiento y las características adhesivas del caucho ya reaccionado favorecen el incremento de la viscosidad.

2.2. El neumático

La capacidad del polvo de caucho para mejorar las capacidades del ligante depende de su compatibilidad con el betún que, a su vez, está ligada a la composición de ambos materiales. La composición del polvo de caucho es una mezcla de numerosos cauchos provenientes de diferentes tipos y partes de neumáticos. Para cualquier propósito práctico, la capacidad de cambiar la composición total de esta mezcla es relativamen-

tún-caucho, viene condicionada por diferentes parámetros. Con carácter general, es decir, independientemente del proceso de fabricación de los betunes con polvo de NFU, la reacción está influenciada por la temperatura a la que se produce, el tiempo durante el que la temperatura permanece elevada, el tipo y cantidad de energía mecánica aplicada, el tamaño y la textura del polvo de caucho, y la fracción aromática del betún. La temperatura de mezcla, el tiempo y la energía mecánica, son parámetros del proceso de produc-

te limitada; y probablemente cualquier pre-proceso de selección de los neumáticos tenga una repercusión económica inaceptable para que el proceso se estandarice con cierta normalidad. No obstante, conviene tener presente que la compatibilidad de los cauchos naturales, mayoritaria en los neumáticos de vehículos pesados, es mayor que la de los cauchos sintéticos, mayoritarios en los vehículos ligeros: por lo que suelen preferirse los neumáticos procedentes de camiones a los de coches.

El grado de estudio y perfeccionamiento alcanzado en los neumáticos para dar las prestaciones para las que son diseñados, ha hecho que los diferentes componentes del mismo hayan alcanzado un alto grado de especialización para obtener el máximo rendimiento: por lo que los diferentes elementos que constituyen el neumático tienen estructuras químicas muy diferentes. Pero sí se puede hablar de al menos un elemento común: el caucho, el cual se encuentra en el neumático en estado natural y sintético. El primero proporciona elasticidad, mientras que el segundo confiere estabilidad térmica al mismo ante la interacción neumático-rodadura.

Durante la fabricación del neumático, el caucho se somete a un proceso de encadenamiento de polímeros del propio caucho con moléculas de azufre con la ayuda de presión y temperatura, produciendo enlaces muy estables y de difícil rotura.

Otro componente que entra en juego es el negro de humo, el cual se emplea para garantizar la adecuada resistencia del caucho a la oxidación. Otros elementos que encontramos en el neumático son textiles y acero, los cuales constituyen la estructura del neumático, responsable de absorber y de transmitir cargas y esfuerzos.

2.3. Mecánica de los betunes caucho e influencia posterior en la mezcla.

Para comprender los mecanismos de funcionamiento de las mezclas con polvo de caucho hay que tener presente que, en general, los sistemas de producción no llegan a completar

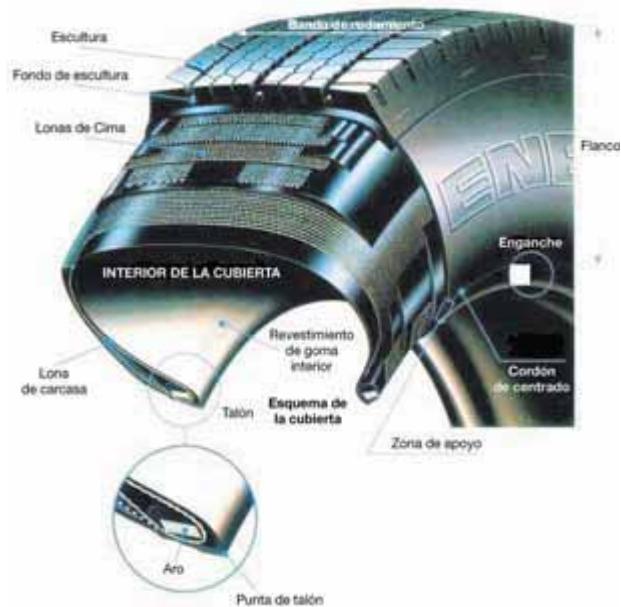
el proceso de hinchamiento-plastificación de los gránulos de caucho. Por ello, la OC 21 bis/2009 indica un período mínimo de digestión, asegurando así un tiempo suficiente para que el ligante resultante obtenga las prestaciones deseadas (sólo aplicable a betunes mejorados y betunes modificados de alta viscosidad con caucho).

Nos encontramos, por tanto, con un porcentaje de gránulos que mantienen total o parcialmente su carácter de sólidos elásticos dispersos en el betún, el cual a alta temperatura durante el proceso de mezcla con los áridos tiende al estado líquido.

En general, la presencia de estos gránulos elásticos aumentará la capacidad de respuesta elastomérica de la mezcla y, en sentido positivo, esto debería conducir a mejorar su comportamiento en algunos aspectos como un mejor comportamiento frente a la reflexión de fisuras, una menor generación de ruido de rodadura (a igualdad de textura superficial de la mezcla) y, eventualmente, una mayor facilidad para el despegue/rotura de una película de hielo.

Sin embargo, el factor que más suele verse afectado y al que hay que prestar más atención es el de la compactación. Por lo que hemos ido viendo, las mezclas que contienen polvo de neumático presentan mayor dificultad para alcanzar la compactación por el efecto elástico de los gránulos, que deshacen parcialmente el efecto de los compactadores, especialmente con temperaturas altas. De hecho se observa que el porcentaje de huecos obtenido en el ensayo Marshall resulta mayor que los que posteriormente se obtienen en obra con un cuidado proceso de compactación.

Mantener la compactación más allá



de los límites de temperatura habituales parece la mejor receta para evitar problemas. Como es lógico, este efecto se pone más de manifiesto cuanto mayor es el contenido de caucho reciclado y menor su nivel de hinchamiento-plastificación, es decir: cuando el porcentaje de polvo que no ha absorbido la parte aromática del betún es alto.

3. Tipología de betunes con caucho y mezclas aptas para su empleo en conservación de firmes

Dentro del campo de la vía húmeda nos encontraríamos ante tres tipos de ligantes fabricados con caucho reciclado, que responderían a las denominaciones de: betunes modificados de alta viscosidad con caucho o de alto contenido de caucho, betunes modificados con caucho o de medio contenido de caucho, y por último, betunes mejorados con caucho o de bajo contenido de caucho.

3.1. Betunes modificados de alta viscosidad con caucho (BMAVC).

Se trataría de un grupo de betunes modificados con una elevada tasa de adición de polvo de NFU o igualmente, no teniendo esa alta tasa de incorporación, que contemplarían una concentración media de polvo de neumático pero alcanzando los niveles de viscosidad mediante la adi-



Refuerzo de altas prestaciones. M-501 y M-855. Comunidad de Madrid. Contratista: Ecoasfalt. BBTM 11 M B con BMAVC-3.

ción de aditivos, los cuales además reforzarían la capacidad de retorno elástico que el polvo de neumático sólo moderadamente aporta.

Como se verá posteriormente, parece que a priori, debido a la posibilidad de una mayor dotación de ligante en mezcla por la mayor viscosidad del sistema betún/polvo, esta tipología sería interesante en sistemas resistentes a la fisura por reflexión (recordar que el betún es el elemento capaz de absorber los esfuerzos de tracción a los que se verá sometida la mezcla); y esta última propiedad mejorada de recuperación elástica incrementaría el valor funcional del sistema. De hecho, la propia O.C. 21/2007 especifica, en su definición del betún modificado de alta viscosidad con caucho, que “la incorporación esencial para su obtención debe ser caucho procedente de neumáticos fuera de uso, pero se puede admitir la adición de otros productos elastoméricos, al objeto de mejorar y garantizar sus propiedades”.

Se caracterizan esencialmente por su alta viscosidad a temperaturas elevadas, un elevado punto de reblandecimiento y unos valores de retorno elástico moderados, que como hemos comentado, en fabricación en central podría ser indudablemente mejorado.

En la normativa española, y a propuesta del “Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas”, existen tres niveles de BMAVC correspondiendo con las tres penetraciones más bajas: 15/30, 35/50 y 55/70 de los betunes modificados del artículo 215 del PG-3 de betunes

modificados. A menor penetración, mayor sería la viscosidad a alta temperatura y el punto de reblandecimiento. Por el contrario, los mejores valores de recuperación elástica y punto de fragilidad corresponderían al tipo de mayor penetración.

El campo de aplicación más interesante para estos ligantes, y del que existe más experiencia en España, sería el de las mezclas en caliente con alta resistencia a la fisuración por reflexión. La granulometría de la mezcla debería ser suficientemente abierta para posibilitar un diseño con contenidos muy altos (superior al 7% s/áridos) de BMAVC. Este tipo de mezclas están siendo ampliamente consideradas en operaciones de conservación de carreteras que presentan una fisuración acusada, especialmente las procedentes por reflexión de capas inferiores tratadas con conglomerante hidráulico.

Parece claro que estos ligantes también estarían indicados para el diseño de mezclas discontinuas, resultando más coherentes en las mezclas BBTM B frente a las BBTM A, y mezclas drenantes PA en todas las rodaduras de carreteras con tráficos altos en lugar de los betunes modificados clásicos, frente a los que presentan la ventaja de poder aumentar el contenido de ligante y con ello su durabilidad, pero también el coste.

En el balance durabilidad/ coste estaría el quid de la decisión, aunque parece claro que la experiencia española de los últimos 20 años con los betunes modificados clásicos es tan positiva que únicamente en cir-

cunstancias excepcionales tendría sentido el empleo de los modificados de alta viscosidad. Quizá uno de ellos podría ser el del diseño de mezclas drenantes con porcentajes de huecos próximos al 30%, en la búsqueda de una mayor capacidad de drenaje o de una importante reducción del impacto acústico.

Por el contrario, no parece que los betunes modificados de alta viscosidad sean adecuados para ser empleados en mezclas de granulometría cerrada, al menos sin un cuidadoso estudio de la criticidad de la composición y de las condiciones de compactación.

3.2. Betunes modificados con caucho (BMC)

Se trataría de los betunes modificados del artículo 215 del PG-3, en los que la modificación se obtiene mediante la adición, exclusiva o no, de caucho. Por tanto deberían cumplir las especificaciones del 215, y así lo recoge inequívocamente la O.C. 21/2007.

Se cabe hacer una clara separación entre los siete tipos de betunes modificados del art. 215. Por un lado estarían los poco elastoméricos, diseñados originalmente con polímeros del tipo plastómero, es decir BM-1, BM-2 y BM-3a, caracterizados por admitir ductilidades y retornos elásticos muy bajos. Ya existen experiencias positivas de fabricación y empleo de BM-2 y BM-3a con caucho de NFU. No así, al parecer, de BM-1.

En el segundo grupo estarían los betunes modificados de carácter “elastomérico”, es decir: BM-3b, BM-3c, BM-4 y BM-5, cuyas características de ductilidad y, especialmente, de retorno elástico a torsión, requieren necesariamente para poder ser fabricados con polvo de NFU algún tipo de aditivo mejorador, típicamente algún polímero elastomérico. También existe amplia experiencia en la fabricación de BM-3b y BM-3c con caucho de NFU. No así de BM-4 y BM-5.

Con la experiencia acumulada hasta el momento, la fabricación de estos ligantes puede hacerse tanto en una planta fija de betunes modificados

o en planta móvil adosada a la de mezcla en caliente, aunque las plantas fijas suelen disponer de mejores medios de control de producción y de control de calidad del producto terminado. Los porcentajes de polvo de caucho empleado suelen estar entre el 8% y el 12%, dependiendo fundamentalmente de la tipología y cantidad de aditivo estabilizador y garante de las condiciones de retorno elástico.

Respecto a los campos de aplicación de estos betunes modificados con caucho, en lo relativo a mezclas para ser empleadas en refuerzos de firmes, serían los mismos que los betunes modificados clásicos: capas de rodadura para tráficos altos obligatorio y opcional en los tráficos bajos; capas intermedias en las que se quiera potenciar alguna propiedad como la resistencia a deformaciones plásticas (BMC-1 o BMC-2), o fatiga (BMC-3b y BMC-3c); mezclas antifisuras (BMC-3c y BMC-4) o sistemas antifisuras tipo SAMI o geotextil impregnado (BM-4 y BM-5). En principio, la única limitación estará del lado de las mezclas de alto módulo que, conforme al artículo 542 de Mezclas Bituminosas en Caliente del PG-3, se deben fabricar con BM-1. Las razones serían las mismas que en el caso de los betunes modificados de alta viscosidad. Asimismo, en el caso de las mezclas de granulometría cerrada se deberá estudiar con cuidado la composición para tener en cuenta el efecto del caucho y evitar problemas en la compactación y post-compactación.

3.3. Betunes mejorados con caucho (BC)

Se trataría de betunes modificados con caucho que no cumplen la especificación del artículo 215 del PG-3, pero en los que la incorporación del polvo de NFU permite alcanzar unas características interesantes para ser empleados con ventaja frente a los betunes convencionales, que no frente a los modificados. Estas características quedarían intermedias entre las de los betunes convencionales del artículo 211 y los modificados del 215. Los porcentajes de polvo de NFU en estos ligantes se sitúan



Fresado y reposición A-6. Valladolid. Ministerio de Fomento. Hergonsa. AC 22 S con BMC-2.

alrededor del 6- 8%, y podrían también llevar algún aditivo para permitir la estabilización de la mezcla y poder trabajar con ellos como con los betunes convencionales.

El campo prioritario de estos ligantes mejorados sería el mismo que el de los betunes normales, esto es, las mezclas tipo AC S y G para capas intermedias y de base en todo tipo de tráfico, con el objetivo de aprovechar las características del caucho para aumentar la durabilidad de los firmes: por lo que son muy adecuadas para las típicas operaciones en actuaciones de conservación de fresado y reposición. En este sentido, parece lógico que existan, al menos, betunes mejorados de penetración similar a la de los convencionales más empleados: B 35/50 y B 50/70, con características mejoradas frente a las de éstos.

También podrán emplearse estos betunes mejorados en capas de rodadura para tráficos menores, en las que el coste de los betunes modificados clásicos ha venido, hasta ahora, limitando el uso de este tipo de ligantes. Este empleo podría extenderse tanto a mezclas cerradas como a mezclas discontinuas, menos empleadas en estos tráficos más ligeros, poniendo el énfasis en el diseño de mezclas flexibles para tráficos ligeros y en rodaduras discontinuas en tráficos ligeros, que proporcionen mayores niveles de seguridad y confort. En cualquier caso, no debería entenderse esto como una invitación a sustituir los modificados

clásicos por estos mejorados con caucho, ya que sus características están lejos de poder asimilarse. Los betunes mejorados deberían servir para mejorar las prestaciones de las mezclas que actualmente se diseñan con betunes convencionales.

Puede derivarse de la O.C. 21/2007 que, respecto al betún mejorado con caucho BC, especifica que podrá utilizarse "En la fabricación de mezclas bituminosas en caliente, en las mismas condiciones y capas que las indicadas para los betunes de penetración en las tablas 542.1 y 543.1 del PG-3. Serán por tanto de aplicación en las capas inferiores (intermedia o base) de los firmes de las categorías de tráfico pesado a T41 y en la capa superior (rodadura) en las categorías de tráfico pesado T1 a T4": lo cual representa el grueso del paquete de firme, y por lo tanto, un mayoritario porcentaje de las toneladas de betún que se venden en España. Parece pues, que es precisamente este ligante mejorado el que pudiera resolver parcialmente la acumulación de las más de 300 000 t que se generan al año de neumáticos fuera de uso, si lo comparamos con las anteriores soluciones de betunes modificados y betunes modificados de alta viscosidad, donde indudablemente, a pesar que los contenidos unitarios de polvo de neumático son mayores, su presencia en el paquete de firme es significativamente menor.

Conclusiones

- Los neumáticos fuera de uso representan un problema medioambiental. La legislación, los sistemas integrados de recogida, reutilización y valorización de NFU, y la sensibilidad de ciertos sectores al problema, están posibilitando su minimización

- La carretera es probablemente el mercado potencialmente más alto para la valorización del residuo. La normativa en materia de mezclas bituminosas para carreteras está ampliamente desarrollada, catalogando perfectamente las diferentes técnicas y gamas de ligantes que contemplan el empleo de PNFU.

- La vía húmeda de incorporación del PNFU al betún, en su empleo en la fabricación de MBC, es una alternativa de valorización material de los NFU, aunque no única, probada, con numerosas experiencias reales, y normalizada

- El PNFU interactúa con el betún de penetración, confiriendo al ligante cualidades mejoradas.

- Están normalizadas tres gamas de ligantes bituminosos fabricados con PNFU: los betunes mejorados BC, los betunes modificados BMC y los betunes modificados de alta viscosidad

BMAVC. Las aplicaciones de estos ligantes son múltiples, permitiendo la fabricación de prácticamente cualquier tipología de mezcla considerada en la normativa de carreteras de España.

- Las operaciones de rehabilitación de firmes, superficial o estructural, en conservación de carreteras, pueden considerar el empleo de mezclas fabricadas con betunes con polvo de neumático fuera de uso.

Bibliografía

Dirección General de Carreteras, Mº Fomento: Orden Circular 5bis/2002 sobre las condiciones para la adición de polvo de neumáticos usados en las mezclas bituminosas.

Madrid, 31 de octubre de 2002.

Dirección General de Carreteras,

Mº Fomento: 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). Madrid, 11 de julio de 2007.

Dirección General de Carreteras, Mº Fomento: Orden Circular 21bis/2009



Planta adaptada a OC 21 bis/2009, Grupo Sacyr. Aranda de Duero (Burgos).

sobre betunes mejorados y betunes modificados de alta viscosidad con caucho procedentes de neumáticos fuera de uso (NFU) y criterios a tener en cuenta para su fabricación *in situ* y almacenamiento en obra. Madrid, 23 de marzo de 2009.

Dirección General de Carreteras,

Mº Fomento: "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes" PG-3. 2004.

Dirección General de Carreteras,

Mº Fomento: Norma 6.3-I.C. "Rehabilitación de firmes" 28 de Noviembre, 2003.

Dirección General de Carreteras,

Mº Fomento: "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de conservación de carreteras" PG-4. 18

de enero de 2002.

CEDEX (Centro de Estudios y Ex-

perimentación de Obras Públicas), Mº de Fomento: "Manual de Empleo de Caucho de NFU en Mezclas Bituminosas". Mayo de 2007

Bardesi, A. "Nuevos ligantes modificados con Polvo de Caucho". Empleo de Polvo de Neumáticos Fuera de Uso en Mezclas Bituminosas. Jornada Intevía, Valencia, Abril 2007.

Tomás, R. "El polvo de neumático fuera de uso. Aplicaciones". Empleo de Polvo de Neumáticos Fuera de Uso en Mezclas Bituminosas. Jornada Intevía, Valencia, Abril 2007.

López, J.; Grau, J., S.; Muñoz, E.: "Relación de los Firmes Asfálticos Fabricados con Neumáticos Usados (PNFU) y la Seguridad Vial. Firmes Ecoseguros". IV Jornada Nacional de ASEFMA. Madrid, 25 y 26 de marzo de 2009.

García, C; Del Cerro, J.; Hernández, M. J.; Hidalgo, A.: "Investigación de Mezclas Bituminosas en Caliente fabricadas con PNFU para la reducción del Ruido de Rodadura". II Jornada Nacional de ASEFMA, Madrid, 2008.

De la Riva Francos, J. A.: "Experiencia en la utilización de polvo de neumáticos (NFU) en las mezclas bituminosas empleadas

en las carreteras de la Comunidad de Madrid". I Jornada Europea sobre reciclado y valorización de neumáticos fuera de uso. Sevilla 6 y 7 de Mayo de 2009.

Cabanillas, P.; Colás, M. M.; Soto, J. A.: "Influencia de las características del polvo de NFU en la calidad de los betunes con caucho". V Jornada Nacional de ASEFMA, 19 de mayo de 2010.

Lucas, F. J.; Martín, C. M.; Ci-

fuentes, J. L.; Pradas, J. L.; Corraliza, S.: "Empleo de BMAVC-3 como ligante en mezclas discontinuas de altas prestaciones para capas de rodadura. Experiencia Comunidad de Madrid". V Jornada Nacional de ASEFMA, 19 de mayo de 2010. ■