

Mezclas bituminosas modificadas con polvo de caucho: un instrumento en la gestión de los neumáticos fuera de uso

Por RAMÓN TOMÁS RAZ, CENTRO DE INVESTIGACIÓN E.S.M. Y JUAN GALLEGO MEDINA, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Introducción

Durante la pasada década de los noventa, en Europa y Estados Unidos se han sucedido una serie de iniciativas encaminadas a poner a punto unas tecnologías capaces de incorporar el caucho de los neumáticos fuera de uso (NFU) en los pavimentos asfálticos de las carreteras. Este creciente interés hunde sus raíces en dos aspectos igualmente importantes: la mejora de las prestaciones de los pavimentos asfálticos y la preservación de nuestro medio ambiente frente a un residuo que supone en peso más del 1% de los residuos sólidos urbanos.

Ciertamente se han ido estableciendo unos hitos técnicos que permiten hoy garantizar el éxito en la incorporación del polvo de los neumáticos a las mezclas bituminosas. Sin embargo, el desarrollo normativo de la gestión de los NFU no ha aparecido hasta fechas muy recientes: la Directiva comunitaria 1999/31 relativa al vertido de residuos y que menciona explícitamente los NFU aparece al final de la década, y el Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso (PNNFU) de nuestro Ministerio de Medio Ambiente dos años más tarde, en octubre de 2001.

Con estos documentos normativos se abre un nuevo pa-



Foto 1. Acopio de neumáticos fuera de uso.

norama en la gestión de los NFU, con la prohibición de eliminar los neumáticos en vertedero renunciando a su valorización, el establecimiento de responsabilidades a la hora de cargar con los costes de la gestión y unos incentivos para que en el sector público y en el privado aparezcan unos agentes que gestionen la recogida y valorización del residuo, prefe-

rentemente mediante la reutilización y el reciclado. En definitiva, una racionalización de las condiciones que permitan abordar el problema de una forma moderna y eficaz.

Dos son las vías capaces de valorizar unas cantidades significativas de NFU: la incineración con recuperación de energía y el empleo en mezclas asfálticas. Desafortunadamente

el PNNFU otorga mayor peso a la incineración, a pesar de que el principio de jerarquía en la gestión de los residuos establece la reutilización y el reciclado con preferencia a cualquier otra forma de valorización. Esta situación debe cambiar a medida que el empleo de polvo de neumáticos triturados como modificador de mezclas bituminosas se generalice en nuestro país.

Este artículo presenta la problemática ambiental de este residuo, los cauces de solución que establece el PNNFU y el importante papel que la incorporación de polvo de caucho a las mezclas bituminosas está llamada a desempeñar como instrumento en la gestión integral de los NFU.

2. Cifras anuales sobre los NFU. Problemática ambiental

En España se generan cada año unas 280 000 toneladas de neumáticos fuera de uso. En el conjunto de la Unión Europea, la cifra asciende a más de dos millones de toneladas.

La *tabla 1* muestra una estimación de los porcentajes de este residuo que se destinaron en 1998 al recauchutado, la incineración, etc., tanto en España como en el conjunto de la Unión Europea.

Tabla 2. Destinos del caucho reciclado

% de material reciclado que se destina a:	En la Unión Europea
Superficies deportivas, parques, etc.	39
Productos de consumo	21
Construcción	19
Betunes-caucho	7
Vías del tren y tranvía	5
Otros usos	9
Total	100

España destina al vertedero (eliminación) el 80 % de sus NFU, mientras que en el conjunto de la Unión Europea sólo se elimina el 40%. También llama la atención la cantidad tan pequeña que se recicla en España (menos del 1%), frente al 18% en el conjunto de la Unión Europea. A modo de orientación, en 1999 el material de los neumáticos reciclados se destinó en el conjunto de la Unión Europea a los usos que muestra la *tabla 2*. En España no existen cifras fiables sobre los destinos de las exiguas cantidades que se reciclan.

Efectos sobre el medio ambiente

Cuando los neumáticos no se reutilizan o reciclan, acaban en un vertedero, controlado o incontrolado, lo que supone una serie de inconvenientes importantes. Considérense las dificultades de su compacta-

ción, su peculiar forma y su enorme resistencia a la biodegradación.

Otros problemas asociados a la deposición en vertedero son las emisiones sulfurosas que se producirían en caso de incendio del vertedero. También se emitirían hidrocarburos aromáticos policíclicos y benceno, de conocido efecto cancerígeno.

Más grave aún puede ser la combustión de los neumáticos en condiciones de poco oxígeno, como ocurre cuando arden grandes montones, lo que desencadena un proceso de pirólisis que da lugar a aceites, benceno, fenoles y otras sustancias, que no sólo contaminan el aire, sino también los suelos y las aguas subterráneas.

En la bibliografía se citan frecuentemente incendios de montones de neumáticos que han provocado verdaderas catástrofes ecológicas. En Hagersville (Canadá) el incendio duró 17 días, y la población tuvo que ser evacuada. En Winchester (Estados Unidos) el cielo perdió su claridad durante meses a causa del humo. En Saint-Amable (Canadá) se estimaron en dos millones de litros los aceites pirolíticos que contaminaron los suelos y las aguas subterráneas. En Seattle (Washington) ardieron durante tres meses más de un millón de neumáticos.

Tabla 1. Destinos de los NFU. 1998.

% Destinado a:	En España	En la Unión Europea
Exportación		
neumático de 2ª mano	1,5	11
Recauchutado	14,6	11
Reciclaje	0,4	18
Valorización		
energética	3,3	20
Vertido	80,2	40
Total	100,0	100

El depósito en vertedero debe ser considerado como eliminación

Legislación sobre NFU

En este apartado se repasa la normativa sobre la gestión de los NFU, tanto a nivel comunitario como nacional, las vías de financiación previstas y los riesgos que podrían asumir los gestores de este residuo valorizable.

3.1. Normativa comunitaria

La principal referencia a nivel comunitario sobre la gestión de los NFU es la Directiva 1999/31/CE del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos y a la que las normativas nacionales y autonómicas tienen la obligación de dar cumplimiento.

En dicha Directiva comunitaria (art. 5) se establece la prohibición de llevar neumáticos a vertedero, con el siguiente calendario:

a) Para neumáticos enteros, dos años después de la entrada en vigor de la normativa nacional que da cumplimiento a la Directiva.

b) Para neumáticos reducidos a tiras, cinco años después de la entrada en vigor de la normativa nacional que da cumplimiento a la Directiva.

Dado que el artículo 18 de la Directiva establece que los Estados miembros deberían poner en vigor una normativa nacional antes de dos años tras su publicación en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas, se estaría hablando de julio de 2003 y de julio de 2006 para los neumáticos enteros y los neumáticos reducidos a tiras,



Foto 2 En España se generan cada año unas 280 000 t de neumáticos fuera de uso

respectivamente. Éstas son aproximadamente las fechas que se mencionan en el borrador del Plan Nacional de NFU.

3.2. Normativa nacional

La normativa fundamental en lo referente a residuos en España es la Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. Dicha ley tiene por objetivo (art.1) establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de residuos y fomentar, por este orden, **su reducción, su reutilización, reciclado y otras formas de valorización** [...].

Siguiendo la terminología de esta Ley, por **reducción** debe entenderse, en el caso de los neumáticos, la prolongación de su vida útil mediante la utilización de materiales que sufran un menor desgaste; por **reutilización** (o reciclado para el mismo uso), su recauchutado; por **reciclado** para otros fines, su trituración y la obtención de materias primas secundarias (acero, fibra y caucho); pero no la incineración con recuperación de energía, que debe incluirse en **otras formas de valorización**. El depósito en vertedero debe ser considerado como **eliminación**.

Para la consecución de estas prioridades, corresponde a la Administración General del Estado la elaboración de planes nacionales de residuos (art. 4, apartado 1). A su vez, las Comunidades Autónomas deberán redactar planes acorde con los nacionales; y por último, las entidades locales también serán responsables de la recogida, del transporte y, al menos, de la eliminación de los residuos urbanos (art.4, apartados 2 y 3).

El art. 6 de la citada ley prevé que el Gobierno podrá establecer objetivos de reducción en la generación de residuos, así como de reutilización, reciclado y otras formas de valorización obligatorios para determinados tipos de residuos.

En este sentido, y para el caso de los NFU, el 5 de octubre de 2001 se aprobó el texto definitivo del PLAN NACIONAL DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (PNNFU), impulsado por el Ministerio de Medio Ambiente. En él se reafirma de nuevo el llamado *principio de jerarquía*. Así, en el punto 2.1 del citado Plan se puede leer: "Se trata, por lo tanto, de prevenir en la medida de lo posi-

ble, reutilizar lo que se pueda, reciclar lo que no se pueda reutilizar, y valorizar energéticamente todo lo que no se pueda reutilizar o reciclar". Sin embargo, a continuación señala: "Este principio de orden general puede ser matizado en razón de los condicionantes tecnológicos y económicos que se den en cada caso".

Entre los objetivos ecológicos (punto 2.2) establece los siguientes:

a) Recuperación y valorización del 100% de los NFU enteros antes de 2003. Valorización del 100% de los NFU troceados antes de 2007, incluidos los NFU ya almacenados en los vertederos o depósitos existentes.

b) Prohibición de la eliminación (vertido o incineración sin recuperación energética) de los NFU enteros a partir del 1 de enero de 2003. Prohibición de la eliminación (vertido o incineración sin recuperación energética) de los NFU troceados a partir del 1 de enero de 2006.

Obsérvese que en estos apartados no se prohíbe la incineración con recuperación de energía.

e) Valorización diferente del recauchutado del 65% en peso de los NFU procedentes de vehículos de turismo generados antes del 1 de enero de 2005.

f) Reciclado del 25% en peso de los NFU procedentes de vehículos de turismo antes del 1 de enero de 2007. Este porcentaje se revisará en los años 2003 y 2005 a la luz de las nuevas posibilidades técnicas de reciclaje que se vayan conociendo.

g) Valorización de, al menos, el 95% de los NFU procedentes de camiones, antes del 1 de enero de 2003. Antes del 1 de enero de 2007, reciclado de, al menos el 25% en peso de los NFU procedentes de camiones. Este porcentaje se revisará en los años 2002 y



Foto 3. Experiencia llevada a cabo en la M-300 (Madrid) en la que se emplearon distintas modalidades de lechada asfáltica hecha con polvo de caucho.

2004 a la luz de las nuevas posibilidades técnicas de reciclaje que se vayan conociendo.

Respecto a estos tres apartados, cabe señalar que se establecen unos objetivos ambiciosos en cuanto a la valorización, pero limitados en cuanto al reciclado. El propio Plan de forma explícita concede más posibilidades a la incineración que a la obtención de polvo de caucho para nuevas aplicaciones. En la tabla 7 del Plan se prevé una capacidad anual para las centrales de trituración de 180 000 t, mientras que la capacidad de las centrales de granulación y producción de polvo sólo llega a las 20 000 t por año. Esta estructura del sector de tratamiento de los NFU conduciría a la incineración de los neumáticos con recuperación de energía. Así lo demuestra también el que se prevea la adaptación de hornos que, en su conjunto, podrán quemar 144 000 t de NFU anualmente. Además, el Plan prevé una inversión muy importante en el capítulo de "Otras plantas de incineración".

Esta orientación del PNNFU parece quedar al margen de las posibilidades que ofrecen las

tecnologías de incorporación del caucho a los pavimentos asfálticos de las carreteras. Si se diera a esta alternativa el peso que realmente le corresponde, podría en buena medida restablecerse el llamado "principio de jerarquía" en la gestión de los residuos, admitido en todas las normativas modernas (incluida la española), y que da preferencia a la reutilización y al reciclado frente a la combustión con recuperación de energía.

3.3. Instrumentos para el logro de los objetivos del PNNFU en las obras públicas

El Plan menciona distintas medidas encaminadas al logro de sus objetivos. Más allá de las económicas, que se comentan en el apartado siguiente, en lo que a obra civil se refiere cabe destacar las siguientes:

a) Antes del 31 de julio de 2003 se elaborarán unas normas de calidad para los diferentes materiales reutilizables o reciclables obtenidos de los NFU.

b) En las obras públicas donde su utilización sea técnica y económicamente viable, se dará prioridad a los materiales

procedentes del reciclaje de los NFU. En estos casos, se exigirá la inclusión de este requisito en los correspondientes Pliegos de Prescripciones Técnicas.

De llevarse a efecto estas medidas (lo que implicaría a las Administraciones de Carreteras), se tendría que en las licitaciones para la adjudicación de obras tendrían preferencia las soluciones que incluyeran el empleo de caucho procedente de los NFU.

3.4. Instrumentos económicos para la gestión de los NFU

Ya se ha mencionado la obligación que tienen los productores de neumáticos de colaborar, también económicamente, en la gestión de los NFU.

La Ley 10/1998 de residuos establece de un modo muy general que "las Administraciones Públicas, en el ámbito de sus respectivas competencias, podrán establecer las medidas económicas, financieras y fiscales adecuadas para el fomento de la prevención, la aplicación de tecnologías limpias, la reutilización, el reciclado y otras formas de valorización de residuos [...]. En el establecimiento de estas medidas se tendrán en cuenta las peculiaridades de las pequeñas y medianas empresas".

En el caso de los NFU, el Plan Nacional de NFU dedica su capítulo tercero a la financiación necesaria para su puesta en práctica. Las cifras del presupuesto del Plan están en su tabla nº 7, ascendiendo a un total de 80 836 128 euros, distribuidos en Prevención (8 414 169 euros), inversión en infraestructuras (50 485 017 euros), acciones de I+D+I (12 020 243 euros), sensibilización y formación (8 414 169 euros) y control estadístico (1 502 530 euros). Se financiará con cargo a las contribuciones de los agentes, organizaciones o personas

responsables del coste de la gestión ambiental del residuo, y en su caso con aportaciones presupuestarias de las Administraciones Públicas competentes.

A grandes rasgos puede señalarse que la financiación tiene cuatro orientaciones distintas:

a) *Inversiones de iniciativa pública en prevención e infraestructura.* En este apartado se impulsará especialmente la utilización de Fondos de Cohesión y Fondos FEDER como instrumentos de apoyo a su financiación.

b) *Inversiones de iniciativa privada.* El Ministerio de Medio Ambiente, previa evaluación de la adecuación de la inversión al Plan, contribuirá financieramente según sus disponibilidades presupuestarias y en colaboración con las Comunidades Autónomas.

c) *Inversiones de investigación, desarrollo e innovación (I+D+I);* tendentes a potenciar y mejorar el conocimiento de las más avanzadas técnicas en la gestión, la reutilización y el reciclaje. Se podrá acudir a estas ayudas en distintas convocatorias que se irán haciendo públicas.

d) *Actuaciones de concienciación ciudadana, control es-*

tadístico y formación de personal especializado. Se enmarcará esta iniciativa en las Campañas de Comunicación sobre el Desarrollo Sostenible que llevará a cabo el Ministerio de Medio Ambiente.

Actualmente el Ministerio de Medio Ambiente, a través de un grupo de trabajo compuesto por fabricantes, Comunidades Autónomas y demás agentes implicados trata de concretar los cauces de financiación, e impulsar así la aplicación y el desarrollo del PNNFU.

4. Posibles aplicaciones del caucho de FNU

La mejor clasificación de los usos que pueda darse a los neumáticos viejos se debe basar en la capacidad que presenten para aprovechar el residuo. Por ello se ha distinguido entre aplicaciones con poca capacidad de consumo y con alta capacidad de consumo.

4.1. Aplicaciones con poca capacidad consuntiva

Existe una serie de usos atrayentes en principio; pero carecen de normalización po-



Foto 4. Copa de mezcla con caucho recién extendido.

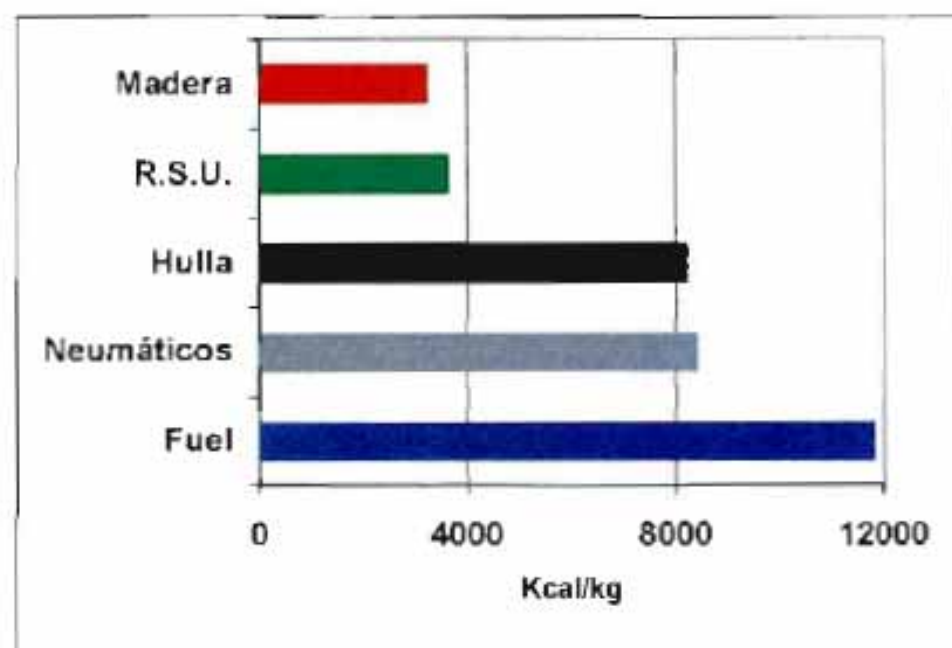


Figura 1. Poder calorífico de diversos combustibles

sible, y se limitan a actuaciones locales, con lo que se consumen muy pocos neumáticos:

- Usos agrícolas. Parques y jardines.
- Elementos de seguridad de la circulación.
- Productos fabricados con caucho triturado: suelas de calzado, pequeños utensilios, etc.
- Caucho triturado empleado como relleno de bajo peso específico.
- Fabricación de neumáticos nuevos (como aditivo).
- Pirólisis controlada (obtención de varios productos en general de baja calidad).

4.1. Aplicaciones con alta capacidad consuntiva

Junto a las vías de reutilización tradicionales, como el recauchutado, se encuentran otras aplicaciones más recientes. Se caracterizan todas ellas por tener capacidad para valorizar una enorme cantidad de neumáticos de desecho.

Recauchutado

En el neumático (sobre todo el de camión) se produce mucho antes el desgaste del ranurado de su banda de rodadura que el agotamiento de la carcasa. En tal caso es

posible su recauchutado: se quitan las gomas de la banda de rodadura, se reparan las zonas dañadas y se le reconstruye una nueva banda de rodadura. Hoy se consiguen unos neumáticos recauchutados de muy buena calidad. Sin embargo, en los neumáticos de los turismos no parece que el proceso ofrezca ventajas: económicamente, la diferencia entre uno nuevo y otro recauchutado no compensa la mala imagen que entre los usuarios ha tenido tradicionalmente esta técnica. Y en cualquier caso, cuando estos recursos agotan sus posibilidades, queda un neumático sin utilidad.

Combustión en centrales térmicas

Los neumáticos usados pueden utilizarse como combustible en instalaciones de producción de energía. En este sentido considérese que el poder calorífico de los trozos de neumático, incluido el acero, es tan alto como el del carbón que se utiliza habitualmente en muchas de estas instalaciones. La figura 1 compara el poder calorífico de diversos combustibles, incluidos los neumáticos usados.

Incineración en hornos de cemento

Como se ha comentado, el poder calorífico de los neumáticos es comparable al del carbón, y su menor contenido en nitrógeno y azufre hacen de ellos un buen combustible en los hornos de cemento. En este caso se tiene además la ventaja de que el acero se incorpora al clinker, proporcionando hierro adicional al cemento. Las altas temperaturas del proceso consiguen la combustión total del neumático con la oxidación total del acero, sin afectar negativamente al funcionamiento del horno. Por lo tanto, no es necesario retirar del neumático el refuerzo de cables de acero. Por otra parte, el azufre se incorpora a la cal formando sulfato cálcico (yeso), presente también en el cemento, y la escoria absorbe las cenizas de la combustión. Como consecuencia, en el proceso no se genera material de rechazo.

Respecto a las emisiones gaseosas, existen opiniones diversas. Ronda y Urcelay exponen que el grado de toxicidad se mantiene tras sustituir un 20% del coque necesario por neumáticos enteros, salvo los óxidos de nitrógeno y azufre que experimentan una reducción. Por el contrario, Carrasco, Bredin y Heitz mantienen que los óxidos de carbono y azufre aumentan junto con el cloruro de hidrógeno, mientras el óxido de nitrógeno disminuye. En ambos casos, los datos proceden de medidas directas en fábricas de cemento que emplean neumáticos enteros en sustitución del combustible convencional.

Se han empleado combinado con otros combustibles, generalmente carbón, de tal modo que su aportación no suele superar más del 25% de las calorías necesarias en el proceso. Parece ser que la temperatura del horno es más fácil de con-

trolar empleando carbón. Además, la mezcla neumático-carbón complica algunos aspectos de la combustión, lo que influye en el nivel de toxicidad de las emisiones gaseosas. Por último, suele mencionarse que una excesiva proporción de neumáticos puede perturbar la composición del cemento obtenido, al que se incorporan, como se ha dicho, los residuos de la combustión.

Reciclado y empleo en capas asfálticas de pavimentos de carretera

Esta aplicación, al tiempo que proporciona una enorme capacidad de consumo, está de acuerdo con las directrices básicas de la legislación ambiental actualmente en vigor, ya que permite el reciclado de los neumáticos en detrimento de opciones que, como la incineración, son menos respetuosas con el medio ambiente. En el apartado siguiente se describe con mayor detenimiento el empleo de caucho en mezclas asfálticas para carreteras, y se da una guía general para su utilización, a modo de especificaciones técnicas.

Utilización de NFU en mezclas asfálticas para carreteras

Como sucede con otros aditivos, el caucho puede incorporarse en los materiales asfálticos mediante dos procedimientos:

- **Via húmeda:** el betún asfáltico se modifica con caucho de neumáticos, como si se tratase de cualquier otro polímero. El betún modificado con caucho (en adelante **betún-caucho**), puede emplearse en riegos, mezclas asfálticas, etc.

- **Via seca:** se utiliza sólo en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente, y consiste en la mezcla directa del caucho con los áridos durante el



Foto 5. En el neumático (sobre todo el de camión) se produce mucho antes el desgaste del ranurado de su banda de rodamiento que el agotamiento de la carcasa.

proceso de fabricación, antes de incorporar el ligante al mezclador.

Aunque han existido muchas iniciativas en el mundo no sólo a nivel experimental, sino también industrial y empresarial, actualmente el caucho se emplea habitualmente en mezclas asfálticas en Estados Unidos. Entre los exponentes más claros se encuentran Arizona, California y Florida, cuyos pliegos de especificaciones técnicas incluyen mezclas con caucho de neumáticos.

En España el estudio de mayor envergadura lo realizó en

entre 1994 y 1999 el Grupo Elsamex, a través del Centro de Investigación E.S.M., con la colaboración del Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid. Los trabajos fueron parcialmente financiados por el Centro de Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) y por el entonces Ministerio de Industria y Energía (MINER).

Las conclusiones de este estudio, que incluyó tanto trabajos de laboratorio como tramos de ensayo en carreteras en servicio, ponen de manifiesto la viabilidad técnica del empleo del caucho de los neumáticos e las mezclas asfálticas para carreteras españolas, tanto si el caucho se emplea por vía húmeda como si se emplea por vía seca.

El caucho de los neumáticos se puede emplear en mezclas cerradas, en microaglomerados de granulometría discontinua y en mezclas drenantes.

**En nuestro país el
consumo
de betún anual
puede estimarse en
1 200 000 t/año**

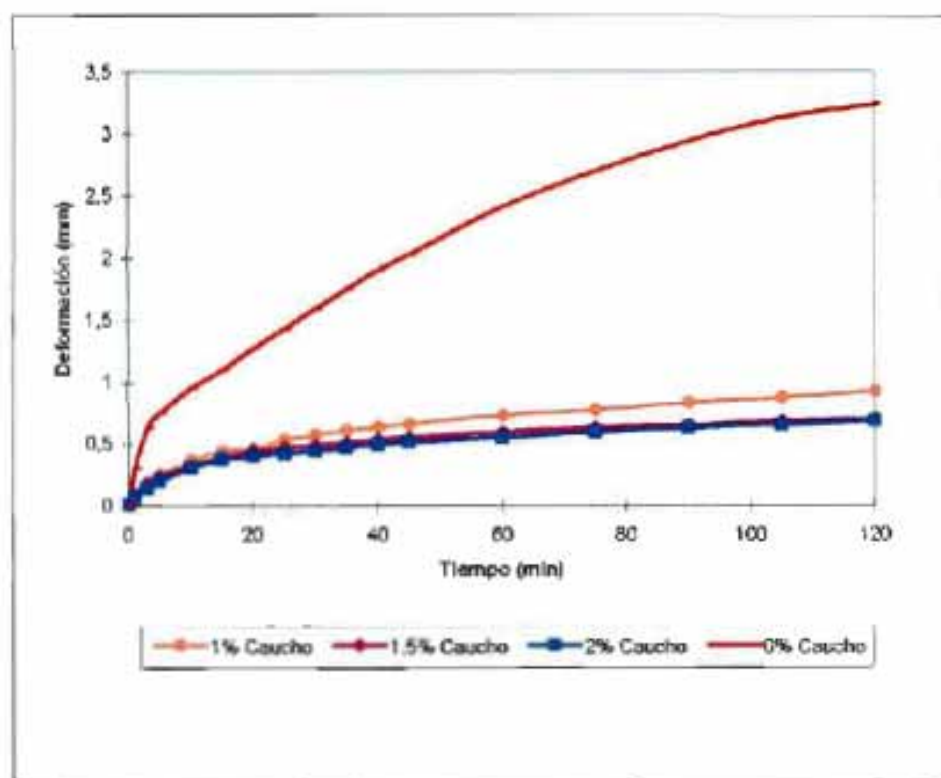


Figura 2. Variación de la deformación plástica con el contenido de caucho por vía seca. Mezcla S20.

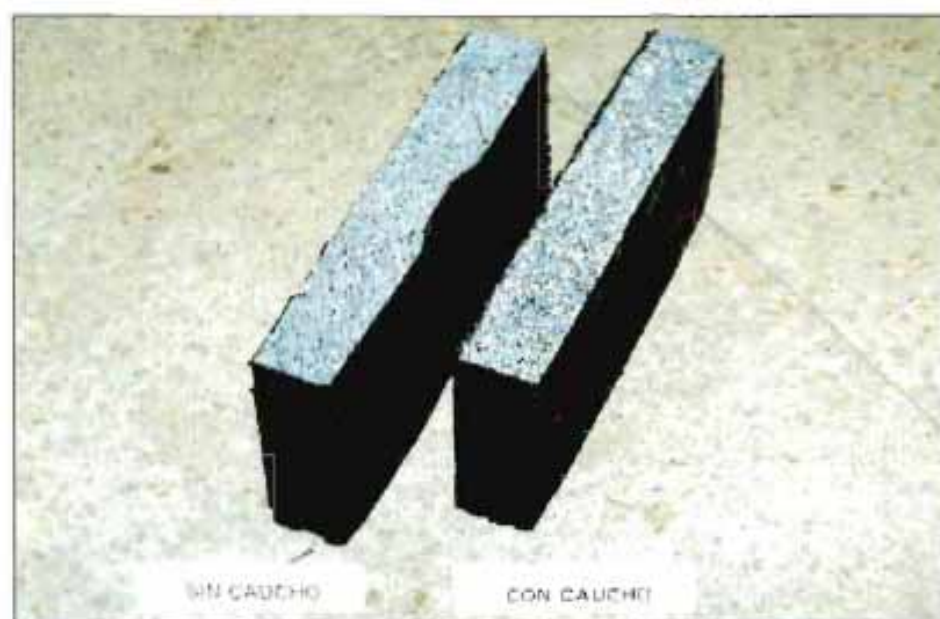


Foto 6. Aspectos de las probetas de pista de laboratorio.

En nuestro país el consumo de betón anual puede estimarse en 1 200 000 t/año. Es utópico pensar que todo el betón se vaya a modificar con triturado de NFU, ya que nos son necesarias, en todas las carreteras españolas, las calidades que se alcanzarían.

No es ya utópico, sino una

realidad, que, de todo ese betón, unas 100 000 t se modifican con polímero; y, por lo tanto, es también realista pensar que la mitad, es decir 50 000 t, se podrían modificar con NFU, para alcanzar un producto de características similares a un coste parecido e incluso más bajo, evitando

el consumo de cauchos vírgenes del tipo SBS o EVA. Si consideramos que la proporción que se suele emplear oscila entre el 10 y el 20% del betón, se está hablando de reutilizar de cinco a diez mil toneladas por esta vía cada año.

Por vía seca, el triturado no sustituye a un polímero de alto coste, sino a un árido de coste muy bajo; por lo que esta vía encarece el sistema (respecto al tradicional) en un 15-20%. Es necesario, pues, apelar para su viabilidad a las mejoras técnicas que se obtengan y a la solución medioambiental que se consigue.

El total de mezclas asfálticas que anualmente se producen en nuestro país suele estar comprendido entre 20 y 25 millones de toneladas. Al igual que en la vía húmeda, la utopía sería pensar en incorporar a todas polvo de neumático, aunque técnicamente es viable. Dado que el porcentaje que a la mezcla se añade de NFU triturados es del orden del 1-3% del peso del árido, se estaría hablando de un consumo anual medio de polvo de neumáticos de 400 000 t.

Otro cálculo que puede servir de referencia es pensar que en las capas de rodadura se emplean alrededor del 50% del total de mezclas; por tanto, si sólo se empleara en estas capas, se daría salida a 200 000 t. Así se podría continuar haciendo cuantas aproximaciones se deseen.

La exposición de estos números no pretenden bajo ningún concepto minimizar otras alternativas, sino poner de manifiesto que la carretera es capaz de solucionar o, al menos, contribuir a la solución medioambiental de los NFU.

A continuación se revisan, siquiera brevemente, algunos de los principales beneficios del empleo del caucho de los

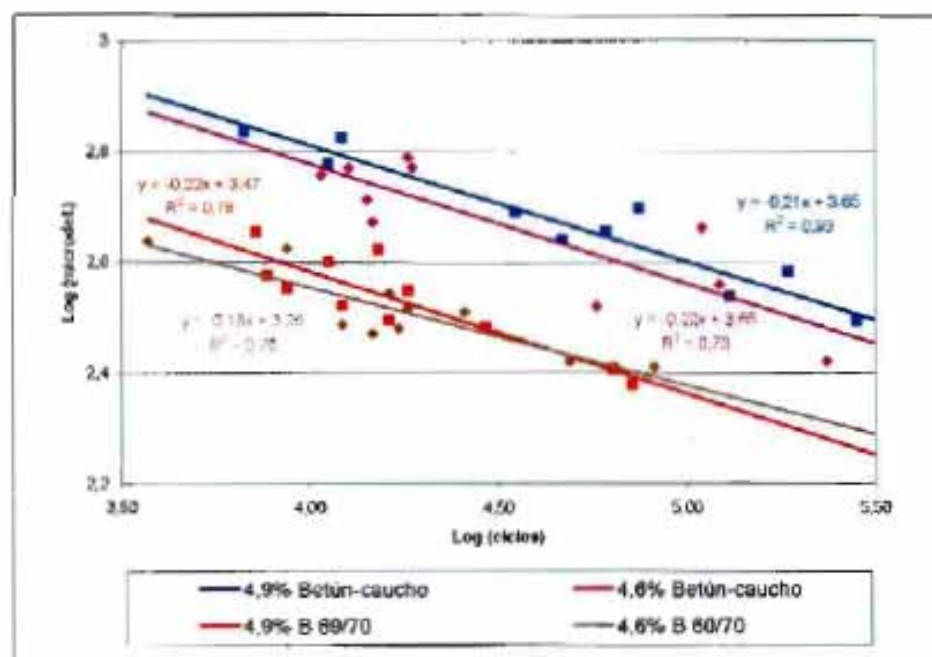


Figura 3. Leyes de fatiga de mezclas S20.

neumáticos en las mezclas bituminosas para carreteras.

5.1. Disminución del riesgo de roderas

La climatología española, con altas temperaturas estivales, y las características del tráfico, con cargas máximas por eje mayores que en otros países, son dos de las causas que pueden favorecer la aparición de roderas en nuestras carreteras.

Este fenómeno se pretende evitar al diseñar la mezcla bituminosa, utilizando para ello el ensayo de pista de laboratorio (NLT-173), que permite limitar la deformabilidad de la mezcla a temperaturas de servicio elevadas (60°C).

Pues bien, los ensayos en pista de laboratorio realizados sobre mezclas bituminosas que incorporaban caucho de neumáticos, por vía seca o por vía húmeda, demostraron que este aditivo, en cantidades del 1-2% del peso de los áridos, reduce drásticamente la deformabilidad de la mezcla. Así puede apreciarse en la figura 2, con unas curvas de deformación mínimas si se comparan con la de la mezcla de referencia. La fotografía 6 presenta el aspec-

to de dos probetas tras su ensayo: la probeta que contenía caucho permaneció prácticamente inalterada.

Esta disminución de la deformabilidad plástica se debe a la componente elástica que introduce el caucho en la naturaleza del ligante, incluso a altas temperaturas de servicio.

5.2. Incremento de la vida frente a la fatiga

La incorporación del caucho a los productos bituminosos incrementa su vida frente a la fatiga. La mejora de la adhesividad árido-ligante, la mayor flexibilidad, el incremento en el contenido de betón, gracias a su mayor viscosidad, están entre las causas del incremento

de la resistencia a la fatiga de las mezclas bituminosas que incorporan caucho de neumáticos, particularmente si lo hacen por vía húmeda.

La figura 3 muestra cómo, independientemente de que el contenido de ligante sea 4,6 ó 4,9%, las mezclas que incorporan el betón-caucho tienen una vida mayor frente a la fatiga. Este hecho debe tenerse en cuenta al comparar costes, puesto que la conservación que precisarán las mezclas con caucho será más reducida que la exigida por las mezclas bituminosas convencionales.

5.3. Resistencia al envejecimiento de la mezcla

Este interesante aspecto, el de la durabilidad, no debe confundirse con la resistencia a fenómenos de fatiga mecánica. La durabilidad de la mezcla se define como su capacidad para conservar en el tiempo sus propiedades originales; y si bien se ve afectada por las cargas del tráfico, igual o mayor es el efecto de la elevada temperatura de fabricación y después de la radiación solar, de los ciclos frío-calor o de la acción de microorganismos.

Existen varios procedimientos para determinar el grado de envejecimiento de una mezcla bituminosa, dado que este proceso se acompaña de una rigidización de la mezcla, a menudo se recurre a la recuperación del betón contenido en la mezcla envejecida, y a la medida de sus propiedades, particularmente de su penetración. Cuanto más envejecido esté el ligante, menor será su penetración.

La figura 4 presenta los valores de la penetración de seis betunes recuperados de otras tantas mezclas bituminosas. El envejecimiento de las mezclas se llevó a cabo en laboratorio. Para ello, tras su fabricación se mantenía en estufa la mezcla a

**La incorporación del
caucho a los
productos
bituminosos
incrementa su vida
frente a la fatiga**

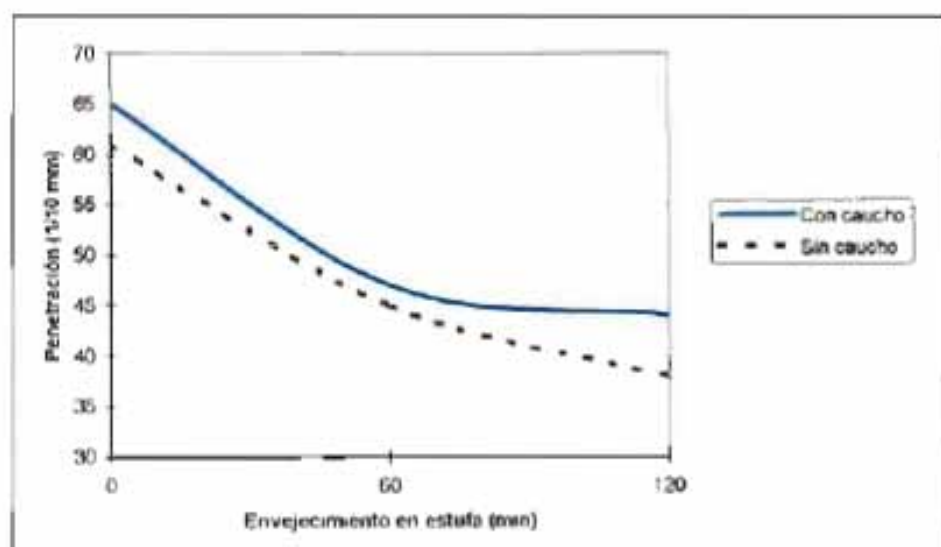


Figura 4 Penetración de varios betunes recuperados de mezclas envejecidas

135°C durante 0, 60 ó 120 minutos, según el grado de envejecimiento que se deseara alcanzar (0 minutos corresponden al envejecimiento de fabricación en planta).

Según se aprecia en la citada figura, los betunes recuperados de mezclas con caucho de neumáticos quedaron más blandos que los recuperados de mezclas sin caucho, lo que se traduce en unos valores muy altos de la penetración. En definitiva, las mezclas con caucho habían envejecido menos.

Este limitado, pero interesante resultado sigue en estudio. Actualmente, en el laboratorio del Centro de Investigación E.S.M. y en los de la Universidad Politécnica de Madrid, está en marcha un proyecto de estudio de durabilidad de las mezclas con caucho, que previsiblemente ampliará el resultado expuesto aquí.

6. Conclusiones

De todo lo expuesto hasta aquí, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

1. La reciente publicación del Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso (PNNFU) obliga a todos los implicados (Administración, fabricantes, etc.) a to-

mar medidas urgentes y coordinadas para dar cumplimiento a lo establecido en su texto.

2. Es factible eliminar una parte importante de los neumáticos que se desechan, empleándolos en los firmes asfálticos de las carreteras.

3. La incorporación del caucho de los neumáticos a las carreteras mediante unas tecnologías adecuadas, que ya hoy están disponibles, supone una mejora considerable de las prestaciones que puede dar un firme asfáltico.

4. La valorización a través de la carretera no tiene ningún riesgo posible de contamina-

ción, siendo sin duda un procedimiento ecológico.

5. Es necesario que, ante la problemática expuesta, se definan de forma inmediata los cauces para que los recursos I+D+I que prevé el Plan obtengan resultados en la búsqueda y mejora de vías eficaces para la valorización de los NFU.

7. Bibliografía

GALLEGO, J., TOMAS, R.: *Incorporación de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas para carreteras*. Ingeopres. I.S.S.N. 1136-4785. N° 70, abril 1999. Páginas 52-55.

GALLEGO, J., DEL VAL, M.A., TOMAS, R.: *Pavimentos asfálticos con neumáticos de deshecho. La opción más ecológica para un residuo en aumento*. Residuos. I.S.S.N. 1.131-9.526. N° 46, enero-febrero 1999. Páginas 62-68.

GALLEGO, J., DEL VAL, M.A.: *Efecto del empleo de caucho de neumáticos usados por vía seca en las características de mezclas bituminosas en caliente*. Carreteras. I.S.S.N. 9212-6389. N° 98, noviembre-diciembre 1998. Páginas 43-48.

GALLEGO, J., TOMAS, R., DEL VAL, M.A.: *Aprovechamiento de neumáticos usados en la fabricación de mezclas asfálticas*. I Congreso Hispano-Portugués sobre Carreteras y Medio Ambiente. Junio 1998. Torremolinos (Málaga).

RONDA, J., URCELAY, C. (1998): *Utilización de neumáticos troceados como combustible en un horno de clinker*. Cemento-Hormigón, n° 783. Madrid, 1998.

CARRASCO, F., BREDIN, N. y HEITZ, M. (1998): *Emisión anual de contaminantes en una fábrica de cemento que usa neumáticos usados como combustible*. Revista Quimbal, enero 1998. ■

La reciente publicación del Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso obliga a todos los implicados a tomar medidas urgentes y coordinadas para dar cumplimiento a lo establecido en su texto