

# ASFALTO

## y pavimentación

Número 14 · Volumen IV · Tercer trimestre · 2014

número **14**



### Número especial

Monográfico sobre reutilización  
de mezclas bituminosas

# INTRAME

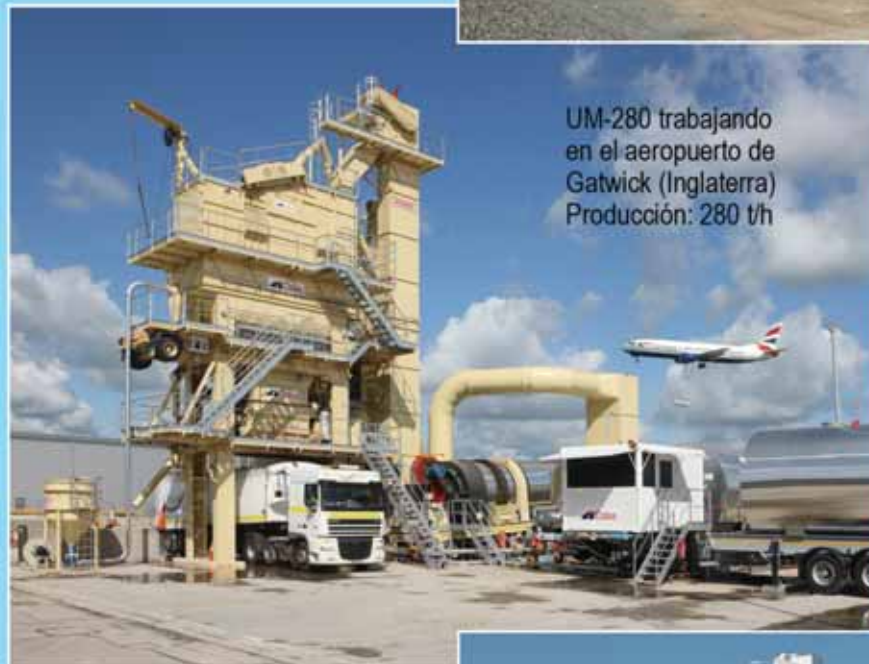
## PLANTAS ASFÁLTICAS ▶ DEL TIPO ESTACIONARIO

Producciones de 80 a 400 t/h.

Equipos de reciclado en frío y en caliente como accesorios.



InNova 350 trabajando  
en Polonia  
Producción: 350 t/h



UM-280 trabajando  
en el aeropuerto de  
Gatwick (Inglaterra)  
Producción: 280 t/h

## ◀ PLANTAS ASFÁLTICAS ULTRA-MÓVILES

Producciones de 80 a 400 t/h.

Todas las unidades  
principales montadas  
sobre ruedas

Equipos móviles de reciclado  
en frío y en caliente como  
accesorios

## PLANTAS ASFÁLTICAS ▶ MODULARES

Producciones de 80 a 400 t/h.

Transporte y montaje rápidos.  
Todas las unidades montadas  
sobre repartidores de carga.

# INTRAME

Industrial de Transformados Metálicos S.A.

Oficina Comercial:

Núñez de Balboa, 85 - 28006 Madrid  
Tel.: 91 577 60 08 - Fax: 91 576 09 37  
e-mail: comercial@intrame.com



M-280 trabajando  
en Gerona  
Producción: 280 t/h



Número 14 · Volumen IV  
Tercer trimestre · 2014

#### ASFALTO Y PAVIMENTACIÓN

##### Director

Juan José Potti

##### Comité de Redacción

Alberto Bardesi, Andrés Costa,  
Jesús Felipe, Jacinto Luis García  
Santiago, Lucía Miranda, Jorge Ortiz,  
Anna París, Nuria Querol, José Antonio  
Soto, Miguel Ángel del Val

##### Secretario

Andrés Pérez de Lema

##### Coordinador

José Carlos Cámara

##### Secretaría

Lies Ober

##### Editorial Prensa Técnica, S. L.

Castiello de Jaca, 29 3º Puerta 2  
28050 Madrid  
Tel. 91 287 71 95  
Fax 91 287 71 94  
Directo 629 877 460  
www.asfaltopavimentacion.com  
asfalto@asfaltopavimentacion.com

##### Suscripción anual (4 números)

España: 10 €  
Extranjero: 12 €

ISSN: 2174-2189

Depósito Legal: M21967-2011

Prohibida la reproducción, total o parcial,  
de los contenidos aparecidos en esta  
publicación sin previa autorización  
por escrito.

Las opiniones vertidas en esta revista  
son de responsabilidad exclusiva  
de sus autores, sin que Editorial Prensa  
Técnica, S. L. los comparta  
necesariamente.

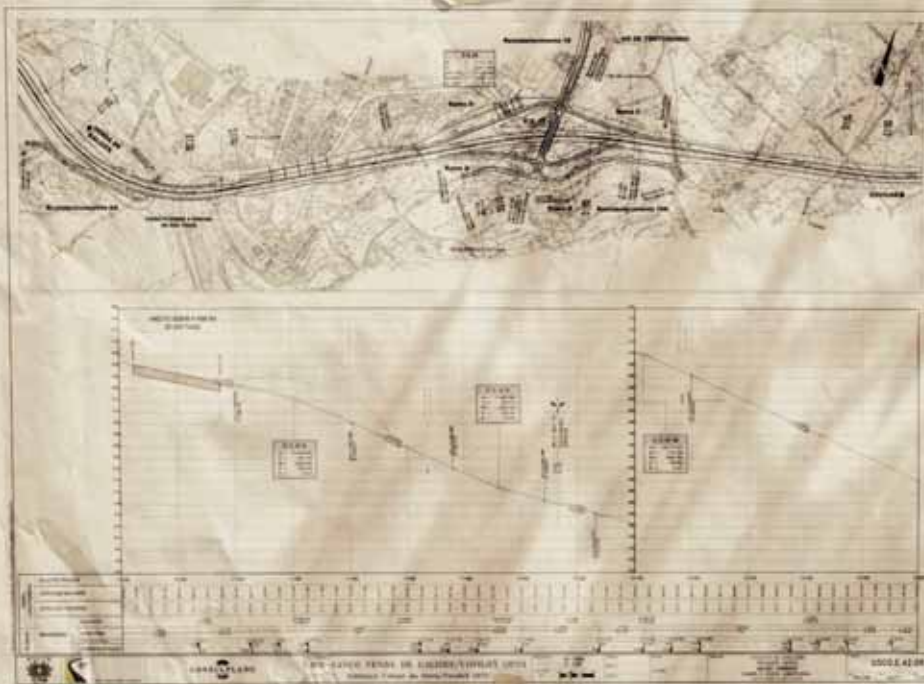
# Sumario

Número 14 · Volumen IV · Tercer trimestre · 2014

Monográfico sobre reutilización de mezclas bituminosas

Coordinado por Lucía Miranda

<b>Editorial</b>	<b>05</b>
Condición necesaria, pero no suficiente	
<b>Presentación</b>	<b>07</b>
Lucía Miranda	
<b>Tribuna</b>	<b>09</b>
Fernando Ónega	
<b>La economía circular. Desarrollo de la línea editorial</b>	<b>11</b>
Juan José Potti	
<b>Consideraciones sobre el diseño de rehabilitaciones estructurales de firmes mediante técnicas de reciclado en el contexto de la norma 6.3 IC</b>	<b>19</b>
Alberto Bardesi, Miguel Ángel del Val	
<b>Mezclas bituminosas en servicio con altas tasas de material reciclado</b>	<b>29</b>
Julio del Pozo, Jordi Albareda	
<b>Empleo de rejuvenecedores en reciclado de mezclas bituminosas</b>	<b>39</b>
Laurent Porot, Rachel Severance, Jesús Felipe, José Ramón López	
<b>Mezclas templadas con reutilización del RAP con tasa alta y tasa total. Aplicación, experiencias reales y resultados</b>	<b>51</b>
Jacinto Luis García Santiago, Francisco José Lucas Ochoa	
<b>Reciclado en frío con emulsión bituminosa</b>	<b>67</b>
Daniel Andaluz García, Francisco José Lucas Ochoa, Lucía Miranda Pérez, M <sup>a</sup> del Mar Colás Victoria, Nuria Uguet Canal, Rafael Guillén Carmona, Santiago Gil Redondo, Verónica Contreras Ibáñez	
<b>Norma UNE EN 13108-8:2007 Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 8: Mezcla bituminosa reciclada</b>	<b>81</b>
Lucía Miranda Pérez	
<b>Secciones fijas</b>	<b>83</b>
Descripción de ensayos para mezclas bituminosas, Normativa, Noticias, Calendario, Mirando al pasado, Lecturas recomendadas, Afirmaciones asfálticas	



## ***1/4 de obra es obra nuestra***

Quien está acostumbrado a acometer grandes proyectos sabe que confiar en Galp Energía significa tranquilidad al respecto de una parte de su obra. Desde los combustibles y el fuelóleo pasando por los betunes, Galp Energía garantiza un servicio y un acompañamiento técnico orientado al cliente y sin errores en los momentos críticos. Una seguridad que sólo alguien que está cerca del cliente puede ofrecer. Use nuestra energía y manos a la obra.

Tel.: 91 714 67 00 - Fax: 91 714 68 71 - E-mail: [buzon.espana@galpenergia.com](mailto:buzon.espana@galpenergia.com)



# Condición necesaria, pero no suficiente

Una adecuada política en materia de rehabilitación de firmes ha de estar basada, desde nuestro punto de vista, en la aplicación de criterios de conservación preventiva. A lo largo de los más de tres años transcurridos desde la publicación del primer número de esta revista, esta es la línea que siempre hemos defendido. Han sido muchos los argumentos y datos aportados a favor de esta idea fundamental.

En este primer número monográfico se aborda algo más que una modificación sustancial del enfoque tradicional de la rehabilitación de firmes. Existen alternativas más eficaces y amistosas con el medio ambiente que la consabida solución basada en el fresado y la reposición del pavimento.

Se da por superado que el material de fresado procedente de una mezcla bituminosa no puede, ni debe, salvo contadas excepciones, acabar en un vertedero. Tampoco basta con argumentar que es preciso incrementar el esfuerzo en la aplicación de políticas de rehabilitación de firmes que fomenten el reciclado de pavimentos. Es condición necesaria, pero no es suficiente.

Desde hace más de 30 años, la técnica del reciclado de pavimentos ha sido estudiada y empleada de manera generalizada en muchos países. Están superadas, de manera brillante, las dificultades técnicas, pero es evidente también que el desarrollo de estas técnicas se ha producido de manera muy desigual. Europa es un buen ejemplo. Hay países europeos en los que todas las plantas de fabricación de mezcla bituminosa están dotadas con sistemas de incorporación de fresado procedente de mezcla bituminosa (RAP) para tasas medias/altas y otros, por el contrario, en los que sólo un 15-20% de las plantas están preparadas para estas tasas.

En los países con mayor sensibilidad medioambiental es en los que más se ha generalizado el empleo de las técnicas del reciclado. Idéntico resultado se ha obtenido, así mismo, en los que hay escasez de recursos o bien se ha producido un incremento sustancial de los precios de algunas de las materias primas para la fabricación de mezclas bituminosas. La reutilización del material procedente del fresado de pavimentos envejecidos no es, por tanto, sólo una cuestión medio ambiental. Hay también razones técnicas, económicas y sociales. Quizás ha llegado el mo-

mento de desarrollar un sistema de gestión adecuado del material fresado procedente de pavimentos envejecidos, del mismo modo que se hace con otros residuos, como los neumáticos fuera de uso.

Reciclar es una condición necesaria, pero no es suficiente. Es preciso reutilizar. La diferencia puede parecer sutil o incluso semántica, pero no es así. Para que el lector pueda entender la sustancial diferencia, el término reutilización se aplica a cualquier operación mediante la cual productos o componentes de productos que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos. Por el contrario, el concepto de reciclado, define a toda operación en la que un material de desecho es introducido nuevamente en el proceso de producción, devolviéndole su utilidad, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno.

No es lo mismo reciclar un residuo que reutilizar el RAP para fabricar una nueva mezcla bituminosa. El fresado procedente de una mezcla bituminosa envejecida (RAP) en una nueva mezcla bituminosa. Ese es el desafío y el objetivo. *"Las mezclas bituminosas pueden reutilizarse indefinidamente con técnicas de reciclado"*, como se destaca en una de las frases seleccionadas. Reutilizar es mucho más que reciclar. Debe ser el objetivo de cualquier mezcla bituminosa envejecida porque, a diferencia de otros ligantes, *"el betún es un ligante eterno"*, reutilizándolo adecuadamente.

# SYLVAROAD™ RP1000

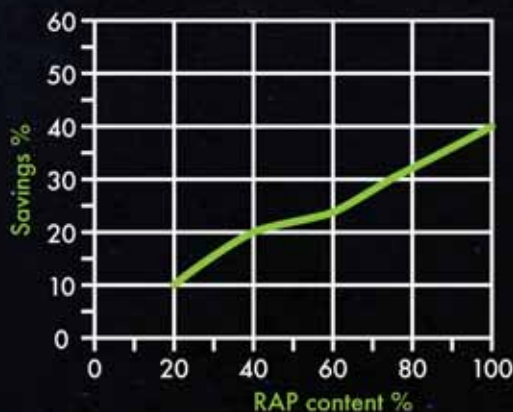
## Performance Additive

Rejuvenece totalmente el betún viejo del RAP

SYLVAROAD™ RP1000 soluciona problemas técnicos en el uso de RAP:

- Resistencia al fisuración y agrietamiento
- Trabajabilidad
- Compactación
- Resistencia al agua

SYLVAROAD™ RP1000 Performance Additive  
Seguro, sostenible y renovable



[www.arizonachemical.com](http://www.arizonachemical.com)  
[www.sylvaroad.com](http://www.sylvaroad.com)

**Arizona**  
CHEMICAL

Renewable resources.  
Endless possibilities.™

# Presentación

**E**n nuestra vida cotidiana estamos acostumbrados a escuchar términos como “reciclar” y “reutilizar”. En el editorial de esta revista se destaca de manera clara la sustancial diferencia entre ambos. Reciclar es necesario pero no es suficiente, se subraya.

Ambos términos están relacionados con la incorporación, nuevamente, de un producto, evitando su eliminación como residuo, contribuyendo de esta forma a utilizar menos materiales vírgenes, reduciendo costes, disminuyendo la generación de residuos, con la correspondiente mejora en el medioambiente e impacto social.

A nivel industrial, también hay concienciación por parte de las empresas en la búsqueda de acciones que impliquen un menor consumo de materias primas, así como una menor afección al medioambiente. En el caso del sector de la construcción, y en concreto en el ámbito de las carreteras, las mezclas bituminosas tienen la propiedad de poder ser incorporadas nuevamente dentro del proceso de fabricación después de haber estado en servicio, volviendo a introducirse dentro del ciclo de vida de la propia carretera, contribuyendo de esta forma a su reutilización casi de manera “eterna”.

Esta tecnología de reciclado/reutilización del material procedente de la carretera no es nueva, se dispone de una amplia trayectoria y experiencia.

En este monográfico se han pretendido reunir todas las técnicas que hasta la fecha se conocen, en las que el fresado procedente de una mezcla bituminosa envejecida, conocida por el acrónimo inglés RAP (reclaimed asphalt pavement) no sólo es “reciclado”, sino que se “reutiliza” nuevamente en la construcción o renovación de las carreteras dentro del proceso de construcción.

Se ha pretendido abarcar todas las tecnologías, desde su empleo en frío con emulsión, describiendo las propiedades del “reciclado en frío in situ o en planta”, así como su “reutilización en caliente”, en tasas de hasta el 60%.

Es importante destacar el avance innovador para adaptarse a las nuevas técnicas y desarrollos. Es el caso de las “mezclas templadas con emulsión”, incorporando hasta el 100% del material fresado o RAP, así como el diseño de nuevos aditivos y productos que consiguen mejorar las propiedades de las mezclas bituminosas con RAP.

Otro de los artículos que se presentan aborda alternativas a las soluciones de proyecto más comúnmente empleadas, tomando como referencia la normativa vigente, para el diseño de rehabilitaciones de firmes incorporando técnicas de reciclado.

Para completar todo el abanico de posibles actuaciones relacionadas con la reutilización del material reciclado, se incluye un análisis de la panorámica europea, del uso de material reciclado a partir de los datos proporcionados por EAPA.

En las secciones fijas de esta revista dedicadas a “normativa y ensayo” se describen las metodologías para la caracterización del RAP y los criterios que hay que seguir para su control y el establecimiento de unas especificaciones que aseguren su calidad.

Es el deseo de todos los que han colaborado en este monográfico que este texto sea una referencia para los técnicos de carreteras y colabore de manera directa a que se tome conciencia de las bondades y beneficios que la reutilización de las mezclas bituminosas presenta en la prolongación de la vida útil de la propia carretera.

Por último, y como coordinadora de este monográfico, sólo me queda agradecer a todos los colaboradores el interés presentado en la redacción de los diferentes artículos y sobre todo felicitarles y animarles a continuar avanzando en la innovación y desarrollo de las mezclas bituminosas, creando con ello una tecnología eficaz y duradera en el tiempo.

**Lucía Miranda Pérez**

# Gran Selección de Aditivos para mezclas bituminosas



*Pasión fría*

*Mar salada*

*Tè*

*Fruto silvestre*

*Aroma Mediterráneo*



*Additives Selection*

*Bella delicia*



**Campi y Jové**  
Asfáltica-CRT



# Decálogo sobre conservación de carreteras



**Fernando Onega**  
Periodista

Reproducimos a continuación la conferencia pronunciada por el periodista Fernando Onega durante la IX Jornada Nacional de Asefma.

*"En una canción de Joaquín Sabina, que me parece que está copiada de una película, preguntan a un personaje '¿Ha estado usted enamorado? A lo que el otro responde: ¡Yo sólo soy un camarero'. Pues yo soy sólo un periodista, con lo cual sólo tengo una cultura de espectador. Ahora bien, esa cultura superficial o incultura profunda, me permite conocer algún dato, que supongo que habrán analizado durante la Jornada, que supone una auténtica señal de alarma, y que procuraré apuntar en el siguiente decálogo:*

1. *Se han dejado pasar, y esto es para mí un motivo de alarma terrible, 750 días sin licitar una sola obra de refuerzo de firme en las carreteras.*
2. *En los años 2007 y 2008, se licitaron obras por importe de 500 millones de euros, que bajaron, en 2009, a 25 millones y en 2010, a 37; en 2011 y 2012 se invirtieron cero coma cero cero; en 2013, 11,31 y en 2014, si no ha cambiado en las últimas fechas, 22 millones de euros.*
3. *La cadencia de las fechas y de las inversiones indica que las carreteras son una de las primeras víctimas de la crisis económica. Víctimas silenciosas, porque ha habido muchas protestas contra los recortes en Sanidad o en Educación, y no recuerdo, personalmente, ninguna por el mantenimiento de una infraestructura tan vital.*
4. *Mientras se paraliza la inversión, el tráfico sigue creciendo, el asfalto se sigue agrietando y las carreteras se dete-*

*rioran. Se deterioran cada día, cada hora, por no decir cada minuto.*

5. *Dado que las carreteras son uno de nuestros mayores patrimonios públicos, se está destozando una parte importante de la riqueza nacional. Si la restricción de Presupuestos continúa, seguirá el deterioro, y es legítimo plantear, primero, cuánto tardará en haber dinero, y segundo, cuando lo haya, ¿será suficiente para arreglarlo todo?*
6. *El ciudadano lo ve y lo siente. Creo que el deterioro ha empezado a formar parte de nuestro pesimismo, por lo menos, del desaliento. No es igual la moral ciudadana cuando se observa que se hacen cosas y se arreglan desperfectos que cuando se observa el abandono. Ello tiene, incluso, consecuencias fiscales, porque la gente se pregunta dónde está el dinero que pagan con sus impuestos.*
7. *Provoca daños a los automovilistas, además de las ruedas, amortiguadores y otros imprevisibles. Respecto al medio ambiente, quisiera plantear si los nuevos métodos de rotondas o los guardias tumbados no obligan, por ejemplo, al uso de los frenos, ya que los frenos causan, según he leído, una gran contaminación.*
8. *El coste en vidas humanas. No sé si el repunte de víctimas tuvo que ver con el deterioro de las calzadas, pero veo las grietas y los baches en los reportajes de televisión que se han hecho como consecuencia de los últimos accidentes de ciclistas, y creo que circulan por una pista mortal, al menos por una trampa que puede ser mortal.*
9. *Las carreteras son el medio fundamental de transporte en España, con un 84% de las mercancías y un 91% de viajeros, según los últimos datos que me han facilitado de ACEX. Mantenerlas en buenas condiciones es un factor básico de efectividad. La competitividad no se basa solamente en la reducción de salarios.*

## Decálogo sobre conservación de carreteras

**10. Mantener las carreteras es un servicio. Eso requiere un gasto, como las ya citadas Educación y Sanidad. Es bueno para la calidad de vida del ciudadano y eficiente para la economía.**

Como se decía en el Catecismo del Padre Astete, estos diez mandamientos se encierran en dos:

- Descuidar el pavimento es ruinoso para el país, perjudicial para el usuario y negativo para la imagen y la moral nacional.
- Volver a invertir debería ser prioritario; tan prioritario como otros servicios públicos.

También añadiría una pequeña autocrítica: los medios de información no creamos conciencia de la necesidad de

un buen mantenimiento de las carreteras. Luego, los políticos en el Poder no reconocen el deterioro, al menos en lo que he podido pulsar, y la Oposición no censura ni pide explicaciones. No están ustedes en la sensibilidad ni de los medios ni de la clase política, con lo cual mis esperanzas son limitadas y se reducen a esperar que venga la recuperación, llegue la conciencia de que hay que arreglar las carreteras y que entre alguna protesta ciudadana, como la hay en algunos lugares donde se producen accidentes con frecuencia y que solemos llamar puntos negros".



**20 – 25 Abril 2015**

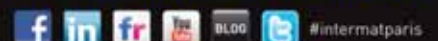
Paris-Nord Villepinte - Francia

**INTERMAT**  
Paris

Exposición Internacional de Materiales y Técnicas para las Industrias de la Construcción y de los Materiales

EXPERIENCIA  
INNOVACIÓN  
NETWORKING

[www.intermatconstruction.com](http://www.intermatconstruction.com)



PROMOSALONS ESPAÑA  
Contacto Prensa: Anna Gonzalvo  
prensa@promosalons.es  
93.217.85.96  
C/Gran de Gràcia 15 ppal 1, 08012 Barcelona

an event by  
**comexposium**  
The World of B2B

# La economía circular.

## Desarrollo de la línea editorial

El objetivo de este trabajo es poner de manifiesto la situación europea respecto a la gestión del material bituminoso procedente del fresado de pavimentos envejecidos. Los datos muestran que las diferencias son sustanciales entre los distintos países. A partir de esta información se valoran los resultados existentes en España. En el trabajo se proponen una serie de objetivos nacionales y una lista de acciones específicas que podrían hacer cambiar de manera sustancial el panorama actual. El trabajo se desarrolla bajo las líneas argumentales que desarrolla la llamada, "Economía circular".

The goal of this paper is to reveal the European situation regarding to the management of the milled bituminous material proceeding from aged pavements. The information shows that the differences are substantial between the different countries. From this information the existing results are valued for Spain. In the work they propose a series of national aims and a list of specific actions that might make change in a substantial way the current outlook. The work develops under the plot lines that the called, "Circular economy" develops.



**Juan José Potti,**  
jjpotti@asefma.com.es

Presidente Ejecutivo  
Asefma

### 1. Introducción. El nuevo concepto, la economía circular

En 1970, un profesor estadounidense llamado John T. Lyle retó a sus estudiantes a que propusieran ideas para conseguir una sociedad en la que las actividades más habituales estén dentro de los límites de los recursos renovables disponibles, sin degradar el medio ambiente.

El término Diseño Regenerativo llegó a ser asociado con esta idea: que todos los sistemas, tal y como sucede en la agricultura, pudieran estar organizados de forma regenerativa. En otras palabras, que los procesos por sí mismos se renueven, o bien regeneren las fuentes de energía y los materiales que consumen.

La esencia de la economía circular reside en diseñar productos sin desechos, productos que faciliten su desmontaje

y su reutilización, así como en definir modelos empresariales para que los fabricantes puedan ser incentivados económicamente para recoger, volver a fabricar y distribuir los productos que hacen.

Sus aplicaciones prácticas, tanto a sistemas económicos como a procesos industriales, ha ido en aumento, principalmente como resultado de los esfuerzos de un pequeño número de académicos y líderes empresariales y de opinión.

"Una Europa que utilice eficazmente los recursos" es una de las siete iniciativas emblemáticas que forman parte de la estrategia Europa 2020 que pretende generar un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Actualmente es la principal estrategia de Europa para generar crecimiento y empleo, con el respaldo del Parlamento Europeo y el Consejo Europeo.

Esta iniciativa emblemática pretende crear un marco político destinado a apoyar el cambio a una economía eficiente en el uso de los recursos y de baja emisión de carbono que nos ayude a:

- mejorar los resultados económicos al tiempo que se reduce el uso de los recursos;
- identificar y crear nuevas oportunidades de crecimiento económico e impulsar la innovación y la competitividad de la UE;

- garantizar la seguridad del suministro de recursos esenciales;
- luchar contra el cambio climático y limitar los impactos medioambientales del uso de los recursos.

Esta iniciativa emblemática ofrece un marco de medidas a largo plazo y, de manera coherente, otras a medio plazo entre las cuales ya está identificada una estrategia destinada a convertir a la UE en una economía circular basada en una sociedad del reciclado a fin de reducir la producción de residuos y utilizarlos como recursos.

La economía circular es un concepto económico que se incluye en el marco del desarrollo sostenible y cuyo objetivo es la producción de bienes y servicios al tiempo que reduce el consumo y el desperdicio de materias primas, agua y fuentes de energía. Se trata de implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de cerrar el ciclo de vida de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía.

### 2. La economía circular aplicada a la rehabilitación de firmes

Una adecuada política en materia de rehabilitación de firmes ha de estar basada, como destaca el editorial de esta revista, por la aplicación de criterios de conservación preventiva.

Hoy en día existen alternativas más eficaces y amistosas con el medio ambiente que la consabida solución basada en el fresado y la reposición del pavimento. El material de fresado procedente de una mezcla bituminosa no puede, ni debe, salvo contadas excepciones, acabar en un vertedero.

La aplicación del concepto de la "*Economía circular*" ofrece un marco de medidas destinadas a convertir a la Unión Europea en una sociedad del reciclado, a fin de reducir la producción de residuos y utilizarlos como recursos. Por ello, no basta ya con reducir la generación de residuos o potenciar las políticas de reciclado, es preciso fomentar la reutilización de los residuos que el sector genera.

La economía circular es la intersección de los aspectos ambientales y económicos.

El sistema lineal de nuestra economía (extracción, fabricación, utilización y eliminación) ha alcanzado sus límites. Se empieza a vislumbrar, en efecto, el agotamiento de una serie de recursos naturales y de los combustibles fósiles. Por lo tanto, la

economía circular propone un nuevo modelo de sociedad que utiliza y optimiza los stocks y los flujos de materiales, energía y residuos y su objetivo es la eficiencia del uso de los recursos.

La economía circular es generadora de empleo. El sector de la gestión de los residuos representa en España miles de puestos de trabajo.

En un contexto de escasez y fluctuación de los costes de las materias primas, la economía circular contribuye a la seguridad del suministro y a la reindustrialización del territorio nacional.

Los residuos de unos se convierten en recursos para otros. El producto debe ser diseñado para ser deconstruido. La economía circular consigue convertir nuestros residuos en materias primas, paradigma de un sistema de futuro. Finalmente, este sistema es un sistema generador de empleo local y no deslocalizable.

Incrementar el esfuerzo en la aplicación de políticas de rehabilitación de firmes que fomenten el reciclado de pavimentos, es condición necesaria pero no es suficiente.

### 3. Los datos de generación de residuos, procedentes de la fabricación de mezclas bituminosas en Europa

Todos los años EAPA (European Asphalt Producers Association) publica "*Asphalt in figures*". Este es un documento muy interesante que resume una serie de datos básicos para cifrar la evolución en los diferentes países de Europa en términos de producción de mezcla bituminosa. Está a punto de publicarse el de la estadística del año 2013. El último publicado ha sido el del año 2012.

La evolución de la producción total de mezcla bituminosa en los países de la Unión Europea queda reflejada en la tabla 1. Desde el año 2007, la producción total ha ido descendiendo. En 2007 se alcanzaron los 347 millones de toneladas y en el año 2012 fueron 276,4 millones de toneladas, lo que refleja un descenso relativo del 21%, en estos cinco años.

Frente a los datos globales, sería conveniente analizar los casos extremos en positivo y en negativo. Los casos extremos lo representan España y Turquía, ver tabla 2. En estos cinco años Turquía ha pasado de 22,2 millones de toneladas en 2007 a 38,4 millones de producción en el año 2012, lo que representa un incremento de casi un 73%. En ese mismo periodo España ha pasado de 49,9 millones de toneladas de producción en 2007 a sólo 19,5 millones en el año 2012, lo que representa un descenso del 61% en valor relativo y

**Tabla 1. Producción de mezcla bituminosa por países (2007-2012).**

País	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Alemania	51,0	51,0	55,0	45,0	50,0	41,0
Austria	9,5	9,5	9,0	8,2	8,0	7,2
Bélgica	4,5	4,9	4,7	4,8	5,9	5,6
Croacia	3,7*	4,2	3,2	2,7	2,6	2,5
Dinamarca	3,3	3,1	2,7	3,2	4,0	3,6
Eslovaquia	2,2*	2,2*	2,2	1,9	2,2	1,9
Eslovenia	2,1	2,6	2,3	1,8	1,3	1,1
España	49,9	42,3	39,0	34,4	29,3	19,5
Estonia	1,5	1,5	1,2	1,1	1,3	1,1
Finlandia	5,9	6,0	5,2	4,9	5,0	4,5
Francia	42,3	41,8	40,1	38,8	39,2	35,3
Gran Bretaña	25,7	25,0	20,5	21,5	22,4	18,5
Grecia	8,0	8,1	8,7	5,2	2,3	2,5
Hungría	3,3	2,5	1,6	3,4	2,3	2,5
Irlanda	3,3	2,8	3,3	2,3	1,8	1,9
Italia	39,9	36,5	34,9	29,0	28,0	23,2
Islandia	0,3	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
Letonia	0,6*	0,6*	0,6*	0,6*	0,6*	0,6*
Lituania	1,7	2,2	1,5	1,6	1,6	1,3
Luxemburgo	0,6	0,6*	0,6	0,7	0,65	0,61
Noruega	5,9	5,7	6,5	5,9	6,7	6,3
Países Bajos	10,2	9,3	9,8	9,5	9,6	9,2
Polonia	18,0*	15,0	18,0	18,0	26,5	21,1
Portugal	9,0	9,0*	9,0*	6,7	6,4	6,4*
República Checa	7,0	7,3	7,0	6,2	5,8	5,6
Rumanía	3,2	3,3	3,6	3,2	3,6	3,2
Suecia	7,7	8,7	8,1	7,9	8,1	7,7
Suiza	5,2	5,3	5,4	5,3	5,4	4,8
Turquía	22,2	26,6	23,1	35,3	43,5	38,4
<b>Europa</b>	<b>347,7</b>	<b>338,0</b>	<b>317,3</b>	<b>309,3</b>	<b>324,3</b>	<b>276,4</b>

Fuente: EAPA.

30,4 millones menos de producción de mezcla bituminosa. Casi la mitad del descenso que ha acumulado toda Europa.

Frente a estos datos de producción total se añaden datos de la cantidad de material disponible procedente del fresado de pavimentos envejecidos (RAP). Estos datos se muestran en la primera columna de la Tabla 3.

Los países líderes en las cantidades disponible de RAP son Alemania, Italia, Francia, Inglaterra, Holanda y Turquía. En cada uno de estos países hay más de tres millones de toneladas de RAP disponible. El caso extremo es Alemania con 11,5 millones de toneladas. En España la cifra es anormalmente baja, menos de 400.000 toneladas.

Otra información interesante es cómo se han empleado esas cantidades de RAP disponible en cada país. Esa información figura en las 4 columnas siguientes de la tabla 3. En Alemania, por ejemplo, de esos 11,5 millones de toneladas de RAP disponible, el 87% ha sido empleado en mezclas bituminosas en caliente y semicaliente y el 13% restante en capas granulares. Es decir, casi un millón y medio de toneladas de RAP empleado en capas granulares.

Un factor determinante para asegurar el buen empleo del RAP es analizar la capacidad industrial que posee cada país para el empleo del RAP bajo la mejor opción posible; su reutilización como mezcla bituminosa.

Los países con mayor número de plantas de producción de mezclas bituminosas convencionales son, por este orden: Turquía, Italia, Alemania, Francia, España, Polonia e Inglaterra, ver Tabla 4. Todos ellos poseen más de 250 plantas de fabricación, al menos.

Si se analizan exclusivamente las plantas con capacidad para incorporar RAP, el orden de mayor a menor sería el siguiente: Alemania, Francia, Italia, con cifras superiores o iguales a las 300 plantas. Por encima de 50 y debajo de 100 hay

**Tabla 2. Datos de evolución relativa y absoluta de la producción total en Europa (2007-2012) frente a los países con la variación relativa más extrema**

País	Producción año 2007	Producción año 2012	Variación absoluta (millón toneladas)	Variación relativa (%)
Turquía	22,2	38,4	+16,2	+73%
Producción total de mezcla en Europa	347,7	276,4	-71,3	-21%
España	49,9	19,5	-30,4	-61%

Tabla 3. Datos EPA relativos al RAP disponible y a su empleo, por países.

País	Available reclaimed asphalt (tonnes)	% of available reclaimed asphalt used in				% of the new hot and warm mix production that contains reclaimed material
		Hot and warm recycling	Half warm recycling	Cold recycling	Unbound layers	
Alemania	11.500.000	87			13	97
Austria	750.000	95		3	2	
Bélgica	1.500.000	61	No data	No data	No data	49
Croacia						2
Dinamarca	580.000	77			23	47
Eslovaquia	33.000	90	0	5	5	0,0
Eslovenia	10.000		30	20	50	
España	368.000	66		11	6	6,4
Finlandia	1.000.000					65
Francia	6.500.000	62	No data	No data	No data	> 60
Gran Bretaña	4.500.000					
Grecia						0,02
Hungría	100.777	93	0	7	0	46
Irlanda	150.000	10	0	0	No data	10,0
Italia	10.000.000	20				
Islandia	15.000				25	2,5
Luxemburgo	210.000	90	5	5	0	60
Noruega	787-689	18	No data	2,90	66	13
Países Bajos	4.000.000	80		15,00		73
Polonia	~ 100.000	~ 4				~ 0,2
República Checa	1.400.000	22	0	30	15	10
Rumanía	20.000	30	15	30	25	5,0
Suecia	1.000.000	75	5	5	10	70
Suiza	1.575.000	52	19	17	9	24
Turquía	3.816.000	2		5	93	1
Australia	533.000	17				
Japón						70
EEUU	64.000.000	95			5	
Ontario (Canadá)	3.500.000	80		3	17	75

una serie de países entre los que se encuentra España. En Alemania y Holanda, prácticamente el 100% de las plantas disponibles están preparadas para la incorporación del RAP.

Como cifra global, en Europa en el año 2012, existían 3.969 plantas fijas y 754 plantas móviles, lo que hacen un to-

tal de 4.723 plantas de producción. De esa cifra, sólo 1.946 están preparadas para incorporar RAP, es decir un 41,2%. En España hay 295 plantas fijas y 80 móviles, es decir 375 plantas de producción, pero sólo 87 están preparadas para incorporar RAP, es decir un 23%.

Tabla 4. Datos EAPA relativos al número de plantas de producción, por países.

País	Stationary Plants		Mobile Plants		Number fit for hot recycling	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Alemania	648	635			622	610
Austria	112	112	1	1	80	80*
Bélgica	36	38	0	0	25	28
Croacia	52	52	3	3	5	5
Dinamarca	42	40	3	3	40	38
Eslovaquia	54	54	0	0	22	22
Eslovenia	14	13		1		8
España	359	295	97	80	159	87
Estonia	23	10	13	13	11	11
Finlandia	55	52	26	20	45	55
Francia **	437	438	69	67	> 200	> 300
Gran Bretaña ***	250	250				
Grecia ***	210	155	5	5	1	1
Hungría	73	84	5	5	39	40
Irlanda	40	37	0		5	3
Italia	640	640	10	10	300	300
Islandia ***	4	4	4	4	2	2
Lituania	37	38	1	3	24	24
Luxemburgo	4	4		0	3	2
Noruega	85	85	11	10	25	25
Países Bajos	41	41	0	1	40	40
Polonia	300	300	35	35	4	4
Portugal	25	25*	25	25*	15	15*
República Checa	110	105	3	2	70	70
Rumanía		8		2		8
Suecia	85	87	10	10	75	80
Suiza	143	142	2	2	75	78
Turquía ***	212	225	431	437	10	10
<b>Europa</b>	<b>4.091</b>	<b>3.969</b>	<b>754</b>	<b>739</b>	<b>1.896</b>	<b>1.946</b>

#### 4. Reciclado versus reutilización. Consideraciones técnicas

Desde hace más de 30 años, la técnica del reciclado de pavimentos ha sido estudiada y empleada de manera generalizada en muchos países. Las principales dificultades técnicas es-

tán superadas de manera brillante. Sin embargo, a juzgar por los datos ofrecidos a partir de la información de EAPA, es evidente también que el desarrollo de estas técnicas se ha producido de manera muy desigual en Europa.

Hay países europeos en los que todas las plantas de fabricación de mezcla bituminosa están dotadas con sistemas

de incorporación de fresado procedente de mezcla bituminosa (RAP), por el contrario, en otros muchos sólo un 10-20% de las plantas están preparadas para estas tasas. La media europea está en algo más del 40%.

Más allá de las cuestiones técnicas, se podría pensar que el desigual grado de desarrollo está afectado fundamentalmente por la sensibilidad ambiental. En cierto modo es así. En los países con mayor sensibilidad medioambiental es en los que más se ha generalizado el empleo de las técnicas del reciclado, pero idéntico resultado se ha obtenido, así mismo, en los que hay escasez de recursos o bien se ha producido un incremento sustancial de los precios de algunas de las materias primas para la fabricación de mezclas bituminosas. Existen, por tanto, factores adicionales a los criterios ambientales para poder valorar adecuadamente el diferente grado de desarrollo.

La reutilización del material procedente del fresado de pavimentos envejecidos no es, por tanto sólo una cuestión medioambiental. Hay también razones técnicas, económicas y sociales.

Todos estos datos hacen pensar que quizás ha llegado el momento de desarrollar un sistema de gestión adecuado del material fresado procedente de pavimentos envejecidos, del mismo modo que se hace con otros residuos, como los neumáticos fuera de uso, por ejemplo. Los datos aportados por EAPA indican que la primera condición para poder desarrollar un sistema de gestión acorde con los parámetros y objetivos de la economía circular es disponer de una cantidad adecuada de RAP disponible. Resulta muy evidente que países como Alemania, que son capaces de identificar y disponer cada año de más de 10 millones de toneladas de RAP, un 20% de su producción anual de mezcla bituminosa, han desarrollado y el sector se ha dotado de los elementos necesarios para incorporar ese RAP a la práctica totalidad de las plantas disponibles.

En el caso de España, la cantidad de RAP disponible está muy por debajo de esa cifra del 20% de su producción anual y, sin embargo, más de la mitad de las mezclas bituminosas fabricadas en España, en el año 2012, han sido empleadas como capa de rodadura. Esto hace pensar que, posiblemente, la cantidad disponible que podría obtener anualmente España es, al menos, superior al 25% de su producción total.

Reciclar es una condición necesaria pero no es suficiente. Es preciso reutilizar. La diferencia puede parecer sutil o

incluso semántica, pero no es así. Para que el lector pueda entender la sustancial diferencia, el término reutilización se aplica a cualquier operación mediante la cual los productos o componentes de productos que no sean residuos se utilizan de nuevo con la misma finalidad para la que fueron concebidos.

Por el contrario, el concepto de reciclado define a toda operación en la que un material de desecho es introducido nuevamente en el proceso de producción, devolviéndole su utilidad, tanto si es con la finalidad original como con cualquier otra finalidad. Incluye la transformación del material orgánico, pero no la valorización energética ni la transformación en materiales que se vayan a usar como combustibles o para operaciones de relleno. Es decir, cuando usamos el RAP para su empleo como "zahorra" en una capa granular es una operación de reciclado, pero cuando el RAP es una materia prima, para fabricar nuevamente una mezcla bituminosa puede ser una reutilización.

Evidentemente, no es lo mismo reciclar un residuo que reutilizar el RAP para fabricar una nueva mezcla bituminosa. El fresado procedente de una mezcla bituminosa envejecida (RAP) en una mezcla bituminosa que debería ser transformada o mejor dicho, reutilizada, para fabricar una nueva mezcla bituminosa. Ese es el desafío y el objetivo.

Esto enlaza plenamente con la concepción de la economía circular. La economía circular, como decíamos en la introducción, es un concepto económico que se incluye en el marco del desarrollo sostenible y cuyo objetivo es la producción de bienes y servicios, al tiempo que reduce el consumo y el desperdicio de materias primas, agua y fuentes de energía. Se trata de implementar una nueva economía, circular -no lineal-, basada en el principio de cerrar el ciclo de vida de los productos, los servicios, los residuos, los materiales, el agua y la energía.

### 5. Conclusiones

En la estrategia Europa 2020 se declara que es preciso alcanzar "*Una Europa que utilice eficazmente los recursos*". Esta es una de las siete iniciativas emblemáticas que pretende generar un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. Actualmente es la principal estrategia de Europa para generar crecimiento y empleo, con el respaldo del Parlamento Europeo y el Consejo Europeo.



En un contexto de escasez y fluctuación de los costes de las materias primas, la economía circular contribuye a la seguridad del suministro y a la reindustrialización del territorio. Los residuos de unos se convierten en recursos para otros. El producto debe ser diseñado para ser deconstruido. La economía circular consigue convertir los residuos en materias primas, paradigma de un sistema de futuro.

Incrementar el esfuerzo en la aplicación de políticas de rehabilitación de firmes que fomenten el reciclado de pavimentos, es condición necesaria pero no es suficiente.

El análisis de los últimos datos europeos aportados por EAPA pone de manifiesto que hay seis países líderes en la disponibilidad anual de RAP. Son Alemania, Italia, Francia, Inglaterra, Holanda y Turquía. En cada uno de estos países hay más de tres millones de toneladas de RAP disponible. El caso extremo es Alemania, con 11,5 millones de toneladas. En España la cifra es anormalmente baja, menos de 400.000 toneladas.

Otra información interesante es cómo se han empleado esas cantidades de RAP disponible en cada país. En Alemania, por ejemplo, de los 11,5 millones de toneladas de RAP disponible, el 87% ha sido empleado en mezclas bituminosas en caliente y semicaliente y el 13% restante en capas granulares. Es decir, casi un millón y medio de toneladas de RAP empleado en capas granulares.

Los países con mayor número de plantas de producción de mezclas bituminosas convencionales son, por este orden, Turquía, Italia, Alemania, Francia, España, Polonia e Inglaterra. Todos ellos poseen más de 250 plantas de fabricación, al menos. Si se analizan exclusivamente las plantas con capacidad para incorporar RAP, el orden, de mayor a menor, sería el siguiente: Alemania, Francia, Italia, con cifras superiores o iguales a las 300 plantas. Por encima de 50 y debajo de 100 hay una serie de países, entre los que se encuentra España. En Alemania y Holanda, prácticamente el 100% de las plantas disponibles están preparadas para la incorporación del RAP.

Como cifra global, en Europa, en el año 2012, existían 3.969 plantas fijas y 754 plantas móviles, lo que hacen un total de 4.723 plantas de producción. De esa cifra, sólo 1.946 están preparadas para incorporar RAP, es decir un 41,2%. En España hay 295 plantas fijas y 80 móviles, es decir 375 plantas de producción, pero sólo 87 están preparadas para incorporar RAP, es decir un 23%.

Más allá de las cuestiones técnicas, se podría pensar que el desigual grado de desarrollo está afectado fundamentalmente por la sensibilidad ambiental. En cierto modo es así, en los países con mayor sensibilidad medioambiental es en los que más se ha generalizado el empleo de las técnicas del reciclado pero idéntico resultado se ha obtenido, así mismo, en los que hay escasez de recursos o bien, se ha producido un incremento sustancial de los precios de algunas de las materias primas para la fabricación de mezclas bituminosas. Existen por tanto factores adicionales a los criterios ambientales para poder valorar adecuadamente el diferente grado de desarrollo.

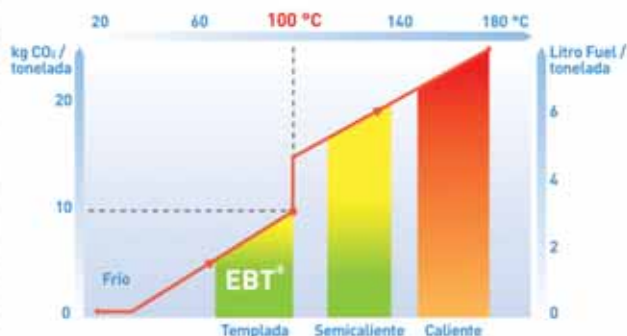
La reutilización del material procedente del fresado de pavimentos envejecidos no es, por tanto, sólo una cuestión medioambiental. Hay también razones técnicas, económicas y sociales.

Todos estos datos hacen pensar que quizás ha llegado el momento de desarrollar un sistema de gestión adecuado del material fresado procedente de pavimentos envejecidos, del mismo modo que se hace con otros residuos. Los datos aportados por EAPA indican que la primera condición para poder desarrollar un sistema de gestión acorde con los parámetros y objetivos de la economía circular es disponer de una cantidad adecuada de RAP disponible. Resulta muy evidente que países como Alemania, que son capaces de identificar y disponer cada año de más de 10 millones de toneladas de RAP, un 20% de su producción anual de mezcla bituminosa, han desarrollado y el sector se ha dotado de los elementos necesarios para incorporar ese RAP a la práctica totalidad de las plantas disponibles.

En el caso de España, la cantidad de RAP disponible está muy por debajo de esa cifra del 20% de su producción anual y, sin embargo, más de la mitad de las mezclas bituminosas fabricadas en España, en el año 2012, han sido empleadas como capa de rodadura. Esto hace pensar que, posiblemente, la cantidad disponible que podría obtener anualmente España es, al menos, superior al 25% de su producción total.

Reciclar es una condición necesaria pero no es suficiente. Es preciso reutilizar.

Con las Mezclas Templadas con Betún,  
el código de la circulación ha cambiado.



### Mezclas Templadas con Betún, una nueva generación de mezclas asfálticas

Para un futuro más responsable, Eiffage Infraestructuras ha desarrollado las mezclas templadas con betún. Fabricada a menos de 100°C y aplicada hasta 75°C, esta mezcla templada a baja temperatura posee cualidades excepcionales :

- un consumo de energía dos veces inferior al de una mezcla convencional,
- una disminución del 50% de las emisiones de gas de efecto invernadero,
- un confort de aplicación inigualable.

Premio Mundial AIPCR 2007  
del desarrollo sostenible

[www.infraestructuras.eiffage.es](http://www.infraestructuras.eiffage.es)

**EIFFAGE**  
INFRAESTRUCTURAS

**RUS**  
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS

**TRIALSA**  
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS

**PANASFALTO**  
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS

**LOS SERRANOS**

# Consideraciones sobre el diseño de rehabilitaciones estructurales de firmes mediante técnicas de reciclado en el contexto de la norma 6.3 IC

Tras unas breves consideraciones teóricas, se presenta en este artículo un ejemplo práctico que muestra cómo, a pesar de las supuestas limitaciones derivadas de la normativa vigente en España, es posible diseñar una rehabilitación del firme de una carretera con una alta intensidad de tráfico pesado recurriendo a las técnicas de reciclado. A este respecto, hay que tener presente que muchos proyectistas no abordan las posibles soluciones basadas en el reciclado amparándose en lo que ellos interpretan que es una prohibición de la normativa. Es muy posible, ciertamente, que esta necesite ser actualizada, pero, aun así, no debe emplearse como excusa de un proyecto insuficiente. Otra cuestión es la disponibilidad de instalaciones y de máquinas para que el resultado de lo que se ejecute se corresponda con las previsiones del proyecto.

**Palabras clave:** firme, rehabilitación, reutilización, reciclado, mezcla asfáltica, material de fresado

After some brief theoretical considerations, this article presents a practical example of how, despite the supposed limitations derived from the current regulations in Spain, it is possible to design a rehabilitation of a road pavement with a high volume of heavy traffic using recycling technologies. In this regard, we have to take into account that many engineers do not address the possible solutions based on recycling on the grounds of what they believe is a prohibition of the official guidelines. It is certainly very possible that the guidelines need to be updated; however, it should not be used as an excuse of an insufficient design. Another issue is the availability of asphalt plants and compactors in order for the result of what is built to correspond with the design projection.

**Keywords:** pavement, rehabilitation, reuse, recycling, asphalt concrete, reclaimed asphalt pavement (RAP)

Alberto Bardesi, [alberto.bardesi@upm.es](mailto:alberto.bardesi@upm.es)  
Miguel Ángel del Val, [miguel.delval@upm.es](mailto:miguel.delval@upm.es)

Universidad Politécnica de Madrid

## 1. Introducción

Este artículo contiene una reflexión y un ejemplo sobre cómo diseñar firmes con materiales reciclados, aportando algunas sugerencias sobre la aplicabilidad y la caracterización de dichos materiales. Al plantear en un proyecto de rehabilitación estructural, la posibilidad de recurrir a técnicas de reciclado, lo primero de lo que hay que ser conscientes es de que este tipo de proyectos son, sin duda, los más complicados en-

tre los de diseño de firmes. La identificación correcta de tramos homogéneos, la interpretación de los datos de auscultación y la caracterización o valoración de los materiales resultantes de los procesos de reciclado ponen las cosas especialmente difíciles.

Aunque siempre hay quien prefiere abordar el problema sin más ayuda que sus conocimientos del comportamiento de los firmes y de los materiales que los componen, una primera recomendación para el proyectista es que tenga a mano normas, manuales u otros documentos fiables que le permitan ir contrastando las decisiones que va tomando. En el caso español, por ejemplo, las normas 6.1 IC (Secciones de firme) y 6.3 IC (Rehabilitaciones de firme) constituyen un excelente punto de partida; el método AASTHO, especialmente en otros entornos geográficos, también es una herramienta muy importante. Manejar programas de dimensionamiento ana-

# Consideraciones sobre el diseño de rehabilitaciones estructurales de firmes mediante técnicas de reciclado en el contexto de la norma 6.3 IC

lítico es así mismo muy recomendable, pero no como sustitutos de los anteriores, sino como complemento. Y, por supuesto, el sentido común y la experiencia: si algo no “sueña” bien, si algo “choca” en una solución, desconfié, seguramente estará mal. Bien es cierto que aquí surge un grave problema: si uno no tiene sentido común, seguramente no lo sabe; si uno no tiene experiencia..., algún día hay que empezar. Y para empezar, no se olvide que el que hace una pregunta quizás parezca ignorante algunos minutos, pero quien no la hace, será siempre ignorante.

En cualquier caso, debe partirse del convencimiento de que las técnicas de reciclado abren una gama de posibles soluciones con las que, frente a las convencionales, se puede lograr una reducción del impacto ambiental, un aumento de durabilidad y un menor coste de la actuación, que es de lo que esencialmente se trata.

## 2. Aplicabilidad y caracterización de materiales reciclados

Si se pretende usar una técnica de reciclado, lo primero es asegurarse de que el material tiene las condiciones oportunas, esto es, que ha llegado, o está muy próximo a llegar, al final de su vida útil y, por otro lado, que sometido al proceso de reciclado el material obtenido tendrá unas condiciones mecánicas, a corto y a largo plazo, adecuadas para el futuro firme. Existe una excepción, sin embargo, puesto que en ocasiones puede interesar tratar un material, por ejemplo una capa granular, para aumentar notablemente su capacidad estructural, transformándolo en un suelocemento o en una gravaemulsión (aunque es discutible quizás si esto es propiamente un reciclado).

Si no se dispone del conocimiento, de la experiencia o de los equipos necesarios para abordar una solución con una determinada técnica de reciclado, es siempre mejor optar por otra técnica, evitando así dejar al director de obra en una difícil situación. Esto no quiere decir que no se deban proyectar soluciones tecnológicamente novedosas, sino más bien al contrario: se debe fomentar la innovación, pero entonces hay que dar al proyecto un enfoque diferente del habitual, especialmente en lo que se refiere al sistema de licitación y a los requerimientos exigidos a los eventuales licitadores.

Por último, el proyectista debe ser conocedor de las posibilidades que ofrecen las distintas técnicas de reciclado. Difícilmente se estará ante un proyecto en el que pueda plantearse una amplia variedad de soluciones. Lo más normal es que, junto a las soluciones clásicas de rehabilitación, haya una, máximo dos, opciones viables con materiales reciclados, especialmente si se quiere que los materiales a reciclar procedan de la propia obra. En este sentido, se deben tener en cuenta las aplicabilidades reales de cada una de las distintas técnicas de reciclado.

Existen dos campos preferentes de actuación. En primer lugar están las “reconstrucciones” de firmes totalmente agotados, prácticamente arruinados. Es una situación a la que se llega por un mal proyecto, una deficiente ejecución y una inadecuada o inexistente conservación. La opción de reciclar los materiales existentes en una profundidad entre 20 y 30 cm (incluso más si se disponen medios de ejecución adecuados) permite un diseño que debe tomar como referencia una solución de firme nuevo (de la Norma 6.1 IC, por ejemplo), estableciendo algún tipo de equivalencia entre el material reciclado con uno convencional (la relación 1:1 con el suelocemento es la preconizada en el anejo 2 de la Norma 6.3 IC). De optarse por un dimensionamiento analítico habría que caracterizar en laboratorio sobre un material lo más parecido al que resultaría del proceso (aspecto clave, como en cualquier otra técnica de reciclado). Si se obvia esta determinación, hay que ser prudentes y emplear módulos y una ley de fatiga similares a las de un suelocemento (por ejemplo:  $E = 8.000 \text{ MPa}$ ;  $\sigma = 0,25$ ;  $r/RF = 1 - 0,08 * \log N$ )

### 2.1 Reciclados in situ con cemento

Por otro lado, hay que hacer referencia a la adaptación de firmes de vías de baja intensidad de tráfico (caminos rurales, vías agrícolas, vías forestales, carreteras de uso general con muy bajas intensidades de tráfico pesado) a un tráfico superior. Sobre este campo de actuación existe una experiencia excelente en algunas administraciones españolas. En una línea similar, aunque se trata de algo distinto, hay que llamar la atención sobre la aplicación de esta técnica en operaciones de ensanchamiento de la plataforma. En estos casos se deben adoptar algunas precauciones muy importantes:

• Tomar en consideración la enorme diferencia entre los módulos de los materiales granulares no tratados y los módulos de los tratados con cemento.

- Hay que recordar que los materiales tratados con cementos suelen ser más impermeables que los granulares (atención a la acumulación de agua en el firme antiguo en caso de eventuales infiltraciones a través de superficies fisuradas).
- Sobre los soportes nuevos de las bandas de ensanche difícilmente se podrán dejar con un buen acabado los materiales tratados con cemento, por lo que habrá que recurrir a operaciones posteriores de reperfilado.

Cualquiera que sea el caso, los factores clave del éxito, supuesto que se cuenta con un equipo de reciclado de potencia suficiente para las operaciones de fresado y de mezcla en el espesor establecido, son el sistema de incorporación del cemento (de preferencia en forma de lechada, para poder garantizar la homogeneidad de la dotación de conglomerante), el equipo de compactación (que debe garantizar en todo el espesor las densidades exigidas) y el rigor en los tiempos de curado y en el momento de llevar a cabo la prefisuración (siempre aconsejable).

### *2.2 Reciclado en frío in situ con emulsión o con espuma de betún*

El campo de aplicación menos habitual es el de la transformación de firmes de vías de baja intensidad de tráfico con subsasos y bases de materiales granulares (normalmente zahorras, aunque puede encontrarse también macadam al agua) en otros con base bituminosa constituida a partir del reciclado en frío (lo que se complementa con una o varias capas de mezcla asfáltica, aunque a veces se pueda recurrir también a una capa de rodadura formada por un riego con gravilla o una lechadas bituminosa).

En segundo lugar está el reciclado in situ de mezclas bituminosas agotadas como técnica alternativa a la rehabilitación más tradicional basada en el fresado de esas mezclas y su reposición. Para valorar esta alternativa y poder diseñar la rehabilitación se puede recurrir también al Anejo 2 de la Norma 6.3 IC, el cual establece una equivalencia de 0,75 entre el reciclado en frío (entendido en el sentido del artículo 20 del PG-4) y la mezcla asfáltica en caliente convencional. Por supuesto, cabe también realizar un dimensionamiento analítico, para lo que se necesitará caracterizar el material en laboratorio.

Más complicado es proponer valores de módulos y leyes de fatiga genéricas para estos materiales. Los valores del módulo de rigidez evolucionan con el grado de maduración, desde valores próximos a los de un material granular tras la compactación, hasta valores comparables a los de una mezcla tipo AC base G al cabo de 12-18 meses. Adoptar unos módulos de  $E = 3.000 \text{ MPa}$  y  $\nu = 0,35$  podría ser aceptable en primera instancia y a falta de mejores datos. Más difícil aún es elegir una ley de fatiga, por la falta de estudios sistemáticos sobre esta técnica.

Aspectos clave en estos procesos, aparte de contar con el equipo de reciclado adecuado, son la continuidad de las operaciones (para poder garantizar una granulometría razonablemente uniforme del material fresado o RAP) y un potente equipo de compactación (que pueda asegurar altas densidades con un mínimo de agua de aportación).

### *2.3 Reciclado templado en planta con emulsión o con espuma de betún*

Es la versión más "moderna" de los reciclados con materiales bituminosos y se sitúa a medio camino entre los reciclados in situ con emulsión y los reciclados en caliente en planta. Con los primeros comparte el tipo de ligante y la proporción de RAP (100 %) y con los segundos las instalaciones de fabricación y de puesta en obra, así como los campos de aplicación. La combinación de temperatura media ( $< 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) con la humedad proporcionada por la emulsión permiten una compactación más eficiente que en frío, lo que redundará en una calidad mayor del producto final. Esta técnica, aún incipiente pero ya con indudables éxitos, se configura como una de las alternativas más interesantes de empleo del RAP y a buen seguro ocupará próximamente un lugar entre los sistemas recogidos en España en el PG-4. La clave del éxito consiste en realizar una adecuada clasificación del RAP (en dos o tres tamaños diferentes) y en disponer de una planta con una configuración que permita el calentamiento del RAP sin riesgo de quemar el betún.

Por su forma de fabricación, al reciclado templado en planta debería, a efectos de valoración estructural, asignársele un mejor coeficiente de equivalencia en términos de mezcla en caliente nueva que el reciclado en frío: coeficientes de 0,8 o de 0,85 podrían considerarse adecuados en principio. No se dispone aún de información acumulada suficien-

## Consideraciones sobre el diseño de rehabilitaciones estructurales de firmes mediante técnicas de reciclado en el contexto de la norma 6.3 IC

te para establecer criterios de caracterización a efectos de dimensionamiento analítico, por lo que en cada caso debería recurrirse a realizar los ensayos pertinentes. De todas formas es de esperar que los valores se sitúen bastante próximos a los de las mezclas en caliente, al menos a las del tipo AC base G.

### 2.4 Reciclado en caliente en planta

Al igual que los reciclados templados, los reciclados en caliente en planta tienen también dos campos de aplicación preferentes. Por un lado, en operaciones de rehabilitación importantes son una alternativa, dentro de la propia obra, a la solución de reposición de zonas fresadas con mezcla nueva. La cuestión principal es definir la proporción de RAP en la mezcla reciclada, teniendo en cuenta los espesores y las anchuras fresados frente a los de las capas en las que se podría emplear dicha mezcla reciclada; obviamente, hay que disponer de la planta adecuada para poder trabajar con la proporción de RAP que se determine.

El segundo campo es el del empleo de mezclas recicladas en cualquier tipo de obra: nueva construcción, recrecimiento o reposición tras fresado. Sin duda es el campo de aplicación prioritario en las grandes zonas metropolitanas donde se producen frecuentes, pero relativamente pequeñas, operaciones de fresado y reposición. Es imprescindible disponer de un eficiente sistema de almacenamiento, clasificación y homogenización del RAP que permita obtener el máximo rendimiento a numerosas entradas de RAP de orígenes diversos. Igualmente, la planta deberá disponer de un sistema de calentamiento del RAP adecuado a los porcentajes de RAP que se quieran utilizar.

Respecto a la caracterización del material de cara al dimensionamiento, aparte de que siempre sea recomendable realizar los correspondientes ensayos de determinación de módulos y de la ley de fatiga, se puede recurrir como primera aproximación a la equiparación con mezclas convencionales. Desde el punto de vista del módulo quizá sea razonable pensar en mezclas del tipo AC base S, es decir, en valores de los módulos del orden de  $E=6.000-7.000$  MPa y  $\nu=0,33$ . Sin embargo, en lo que a la ley de fatiga se refiere parece más prudente decantarse por las de las mezclas del tipo AC base G. En las normas 6.1 IC y 6.3 IC se adopta una ley de fatiga idéntica ( $r=6,925 \cdot 10^{-3} \cdot N^{-0,27243}$ ) para to-

das las mezclas del tipo AC, excepto para las de alto módulo (MAM), pero para mezclas recicladas se habla de una ley específica (se entiende que a determinar en cada caso en base a ensayos). Siguiendo con el criterio de prudencia podría emplearse un coeficiente de 6,617 (correspondiente a mezclas MAM) o de 6,443 (propugnado en el método IC-FIR de la Junta de Andalucía para las mezclas del tipo AC base G) en lugar del 6,925, manteniendo sin embargo el exponente de N.

Si prefiere la simplificación que supone el uso de coeficientes de equivalencia en términos de mezcla nueva, se dispone de una referencia en el Anejo 2 de la Norma 6.3 IC, que cifra esta equivalencia entre 0,8 y 1. Resulta evidente que el valor de 1 es perfectamente aplicable a mezclas recicladas con bajo contenido en RAP (de hecho cuando el porcentaje de RAP es inferior al 10 % la mezcla se debe considerar como nueva a todos los efectos). A falta de mayor concreción en futuras versiones de la propia Norma 6.3 IC o en las especificaciones sobre materiales reciclados en el PG-4, habría que relacionar ese coeficiente con el contenido concreto de RAP (a más RAP, más se aleja la mezcla reciclada de una mezcla nueva. El límite inferior estaría en el 0,8 que parece propuesto para los mayores porcentajes de RAP ( $\geq 50$  %)). También tendría su lógica establecer alguna modulación al coeficiente de equivalencia en función de las características de la planta asfáltica y de su capacidad para manejar mayores o menores contenidos de RAP, pero no parece fácil poder considerar esto en la fase de proyecto.

### 3. Un ejemplo de aplicación

Supóngase que se está planteando la rehabilitación del firme de una de las dos calzadas de un tramo de 12 km de una autovía de dos carriles por sentido. La autovía se encuentra en una zona con temperaturas muy suaves en verano y de baja pluviometría (menos de 600 mm anuales). La obra se construyó en el año 1999. La sección del firme (ver figura 1), apoyada en una explanada de categoría E2, está formada por 20 cm de suelocemento (SC), 20 cm de gravacemento (GC), una capa intermedia de 9 cm de mezcla asfáltica (granulometría S25, áridos calizos y un 4,2 % s/áridos de betún que originalmente era 60/70) y una capa rodadura de 6 cm de mezcla asfáltica (granulometría S20, áridos silíceos y

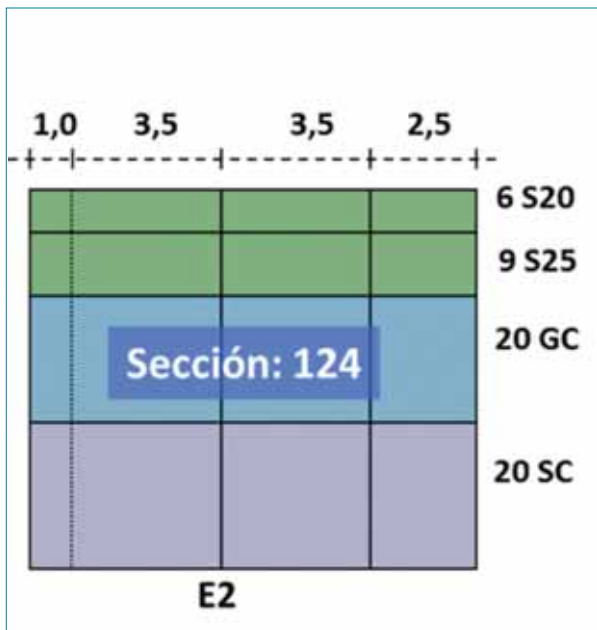


Fig. 1. Esquema de la sección de firme existente.

un 4,75% s/áridos de betún que originalmente también era 60/70).

En la primavera de 2014 se ha procedido a una auscultación general del tramo con vistas a evaluar su capacidad estructural y a redactar un proyecto de rehabilitación. La entrada en servicio de la obra estaría prevista para el otoño de 2015. Los datos disponibles son:

- La IMD del tramo, calculada a través de los datos de aforo disponibles, es en 2013 de 19.850 vehículos, con una proporción de vehículos pesados del 12,25 %. El crecimiento anual acumulativo de los 5 últimos años del tráfico pesado ha sido del 1,2 % pero, por seguridad, se adoptará un 4 %.

- La inspección visual del tramo mostró, de forma resumida, un agrietamiento transversal característico cada 4-6 m en todo el tramo y una grieta longitudinal aproximadamente coincidente con la línea de separación de carriles. En el carril derecho, el agrietamiento transversal inicial se ha ido ramificando en algunas zonas con pérdida de material que ha tenido que ser bacheado en distintas actuaciones de conservación rutinaria. Adicionalmente, se observa un problema generalizado de envejecimiento de la capa de rodadura con algo de fisuración.
- Los valores medios de CRT obtenidos con SCRIM son de 0,38 en el carril derecho y de 0,43 en el izquierdo.
- La auscultación estructural, realizada con deflectómetro de impacto cada 200 m, permite distinguir dos zonas (A y B) claramente diferenciadas. Los valores de deflexiones, ya corregidos, son los de la Tabla 1 (en primera instancia no se han considerado los cuencos de deflexión).

Se desea considerar una solución de recrecimiento conforme a la Norma 6.3 IC y alternativamente una solución basada en técnicas de reciclado, pero que cumpla también los criterios de la Norma 6.3 IC. Se compararán económicamente entre sí.

Los ocho pasos que deberían darse son los que se exponen seguidamente.

1. Determinación de la categoría de tráfico pesado (en 2015) y tipo de sección estructural

Tráfico:  $19.850 \times 0,5 \times 0,1225 \times 1,042 = 1.315$  veh. Pesados por día y carril T1

Tipo de sección: SC+GC+MB Semirrígida

Tabla 1. Resumen de la medida de deflexiones.

Zona	Carril	Longitud	Deflexión patrón	Deflexión de cálculo
A	Derecho	8000m	75-90	125-150
	Izquierdo	8000 m	25-35	50-80
B	Derecho	4000 m	40-65	80-125
	Izquierdo	4000 m	15-25	< 40

# Consideraciones sobre el diseño de rehabilitaciones estructurales de firmes mediante técnicas de reciclado en el contexto de la norma 6.3 IC

Tabla 2. Espesores de recrecimiento.

Zona	Carril	Deflexión de cálculo	Recrecimiento mínimo (cm)	Recrecimiento necesario (cm)
A	Derecho	125-150	18	18
	Izquierdo	50-80	12	18
B	Derecho	80-125	15	15
	Izquierdo	< 40	Act. preventiva	15

## 2. Determinación de zonas localizadas en las que aparece agotamiento estructural que afecta a la explanada

En estas zonas habría que realizar reparaciones de saneo (incluyendo la explanada). Para determinar si son necesarias se parte del valor de la deflexión patrón, que se compara con los valores de la Tabla 2 de la Norma 6.3 IC. Dado que no existe ningún punto que presente una deflexión patrón superior a 100 se pasa sin más a la siguiente fase.

## 3. Determinación de zonas localizadas en las que hay un agotamiento estructural del firme

Se trata de zonas en las que sería necesario realizar actuaciones de saneo sobre el firme si no se llevase a cabo un recrecimiento en el tramo en el que están. Para ello se compara el valor de la deflexión patrón con los de la Tabla 3 de la Norma 6.3 IC: las zonas que presentan una deflexión patrón superior a 40 (el valor de referencia para el tipo de sección estructural y la categoría de tráfico pesado) pertenecen todas ellas al carril derecho. Caben las opciones de recrecimiento, de fresado y reposición, y de fresado, reposición y recrecimiento.

## 4. Espesores mínimos de mezcla asfáltica nueva equivalente tras la rehabilitación

De acuerdo con la Tabla 4 de la Norma 6.3 IC, si tras el proceso de rehabilitación se mantiene la gravacemiento el espesor mínimo final de mezclas asfálticas equivalentes a nuevas debería ser de 18 cm. Este criterio debe aplicarse siempre que se frese o se recicle el firme existente.

## 5. Cálculo de espesores de recrecimiento

Con la categoría de tráfico pesado y la deflexión de cálculo se entra en la Tabla 5B de la Norma 6.3 IC para obtener el espesor mínimo de recrecimiento. Para mantener la rasante

habría que recrecer en toda la anchura de la sección con el espesor máximo de ambos carriles, por lo que la solución quedaría como se indica en la Tabla 2. Esto supondría colocar espesores de recrecimiento muy superiores a los necesarios tanto en el carril izquierdo como en los arcenes.

## 6. Análisis de la solución con fresado del carril derecho y recrecimiento

La utilización de esta solución permite optimizar el espesor de mezcla en cada carril, evitando tener que extender el espesor de recrecimiento del carril con mayor deterioro a todo lo ancho. Se parte de que se va a disponer una rodadura BBTM 11B en toda la anchura, lo que vendría obligado porque es el único tipo de mezcla que la Norma 6.1 IC acepta para la categoría de tráfico pesado T1 y una zona pluviométrica seca.

### Zona A

Como el mínimo recrecimiento de ambos carriles es 12 cm, se dispondrá sobre ellos una capa intermedia de 9 cm de mezcla del tipo AC22 bin S y después los 3 cm de BBTM 11B en la capa de rodadura. Lógicamente, la capa intermedia se colocaría también tanto en el arcén interior como en el exterior. Siempre que se frese y se repone hay que comprobar si se cumplen los espesores mínimos de mezcla equivalente a nueva, teniendo en cuenta la aportación de la mezcla efectivamente nueva y la de la mezcla antigua que no se va a fresar afectada de un coeficiente de minoración que tenga en cuenta su grado de deterioro. En el carril derecho faltarían 6 cm de mezcla nueva para llegar a los 18 cm de espesor de recrecimiento que, además, coinciden con los del criterio de espesor mínimo de mezcla nueva equivalente. La solución sería fresar 6 cm y reponer con mezcla del tipo AC22



base S en los 3,5 m del carril derecho. Aun siendo más caras que las G, las mezclas S tienen un mejor comportamiento frente a la reflexión de fisuras, por lo que en este caso, sobre una capa de gravacemento, sería la mejor opción.

### Zona B

Como en el carril izquierdo y en el arcén no hace falta recrecer, en el carril derecho faltarían 12 cm de mezcla nueva para llegar al espesor de recrecimiento. La solución sería fresar y reponer con mezcla AC32 S en los 3,5 m de dicho carril derecho. Pero dado que se fresa, el criterio de diseño debe ser el del espesor mínimo de mezcla sobre la gravacemento; como este espesor mínimo es de 18 cm, se necesita fresar y reponer los 15 cm actuales. La solución, en definitiva, sería fresar los 15 cm y reponer con 6 cm de AC22 bin S y 9 cm de AC32 base S en el carril derecho, además de poner los 3 cm de BBTM como capa de rodadura nueva en toda la anchura, solucionando así los problemas de envejecimiento de la capa rodadura antigua en los arcones y en el carril izquierdo. Como medida adicional, en la zona no fresada se debería pensar en realizar un sellado de fisuras previo a la colocación de la capa nueva de BBTM.

## 7. Análisis de la solución con materiales reciclados de la misma obra

### 7.1 Reciclado con cemento

Esta solución no tiene sentido en este caso, pues si se reciclan las capas de mezcla con cemento se obtendría un ma-

terial similar al suelocemento ubicado sobre dos capas de naturaleza análoga. Además habría que seguir disponiendo un mínimo de 18 cm de mezclas asfálticas. Por tanto, esta solución queda descartada.

### 7.2 Reciclado en frío con emulsión

#### Zona A

Teniendo en cuenta una equivalencia entre el reciclado y una mezcla nueva de 0,75, para obtener un espesor equivalente a 6 cm de mezcla del tipo AC22 S, será necesario reciclar en un espesor de 8 cm; esto es factible, pues hay un total de 15 cm de mezcla. Se debería abordar un análisis económico en el que se tuviese en cuenta el ahorro de áridos y de betún, así como el ahorro por no tener que llevar a vertedero o planta de reciclado parte del material de fresado. Esta solución podría ser viable en este tramo.

#### Zona B

Hay varias limitaciones que deben ser tenidas en cuenta. Por un lado, la citada equivalencia de 0,75 (Tabla 11 de la Norma 6.3 IC) entre la mezcla reciclada en frío y la mezcla nueva convencional; en segundo lugar, que el espesor máximo de reciclado en frío es de 12 cm; en tercer lugar, que con una categoría de tráfico pesado T1 un reciclado en frío debe quedar cubierto por un mínimo de 8 cm de recrecimiento; finalmente, que hay que alcanzar los 18 cm mínimo de mezcla equivalente sobre la gravacemento. Por ello, habría que disponer una capa intermedia de mezcla, cuyo espesor mínimo sería de 5 cm, bajo la rodadura es de 3 cm; así se alcanzarían los 8 cm mínimos de recrecimiento y se necesitarían otros 10 cm de mezcla equivalente a nueva que se obtendrían mediante el fresado en frío de los 12 cm superiores, que equivaldrían a 9 cm de mezcla nueva (los 3 cm inferiores aportarían el centímetro restante: un factor de equivalencia de 0,33 parece prudente).

No parece, en principio, que el ahorro de áridos y de betún, así como de no tener que llevar a vertedero material de fresado, vaya a ser mayor que el coste de tener que emplear una unidad nueva (equipos diferentes) y, sobre todo, de la nueva capa intermedia que habrá que colocar. Por tanto, esta solución en el tramo B no parece a priori

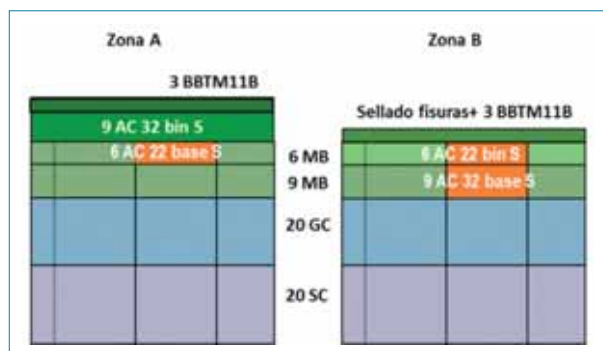


Fig. 2. Esquemas de las soluciones con fresado del carril derecho y recrecimiento.

## Consideraciones sobre el diseño de rehabilitaciones estructurales de firmes mediante técnicas de reciclado en el contexto de la norma 6.3 IC

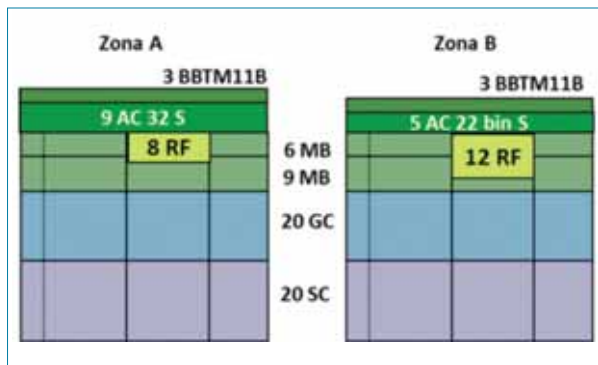


Fig. 3. Esquemas del posible reciclado en frío con emulsión.

viable económicamente, aunque tiene la ventaja de emplear el 100 % del RAP.

### 7.3 Reciclado en caliente en planta

La Norma 6.3 IC limita el uso del reciclado en caliente de la siguiente forma cuando la categoría de tráfico pesado es la T1:

- En los carriles: se requiere un espesor mínimo de recrecimiento de 6 cm
- En los arcones: se requiere que haya una capa de rodadura sobre el material reciclado.

De acuerdo con esto, en el ejemplo planteado la mezcla reciclada en caliente se podría utilizar en:

- Zona A: reposición del fresado (6 cm) y arcones (9 cm)
- Zona B: reposición de los 9 cm inferiores del fresado.

Por otro lado está la cuestión de la equivalencia estructural. La Tabla 11 de la Norma 6.3 IC establece un rango de 0,8 a 1 como equivalencia entre una mezcla reciclada y una nueva, pero no se detallan criterios de asignación dentro de ese rango. A su vez, el PG-3 admite el uso de hasta un 10 % de RAP en una mezcla para que sea considerada como nueva y en el artículo 22 del PG-4 se limita el uso de RAP en mezclas recicladas al 50 %.

De entrada, y como criterio de prudencia, se podría establecer el empleo de un 10 % de RAP en las mezclas para capa intermedia y un coeficiente de equivalencia de 1,0 en las mezclas recicladas en las que no se superase el 25 % de RAP. Debe tenerse en cuenta que en este momento en Espa-

ña apenas hay todavía plantas asfálticas que permitan trabajar con garantías con proporciones superiores de RAP.

De esta forma se sustituirían la mezcla de reposición de 6 cm del carril derecho de la zona A y los 9 cm inferiores (antigua capa intermedia) de los 15 fresados en el carril derecho de la zona B por mezcla reciclada con un 25 % de RAP. Además, en el recrecimiento del arcén exterior de la zona A se emplearía también mezcla reciclada con el 25 % de RAP; en el resto de la capa intermedia de recrecimiento de la zona A (arcén interior y los dos carriles) se emplearía mezcla con un 10 % de RAP. En definitiva, se aprovecharía en la propia obra un 46,5 %, aproximadamente, del RAP obtenido en el fresado. Obviamente, subiendo el porcentaje de RAP en las mezclas recicladas (hasta el límite del 50 % permitido en este momento por la Norma 6.3 IC), podría aumentar el aprovechamiento del fresado, pero también habría que cuestionarse el coeficiente de equivalencia adoptado, lo que obligaría a replantear el conjunto de la solución. El esquema de la solución adoptada sería el indicado en la Figura 4.

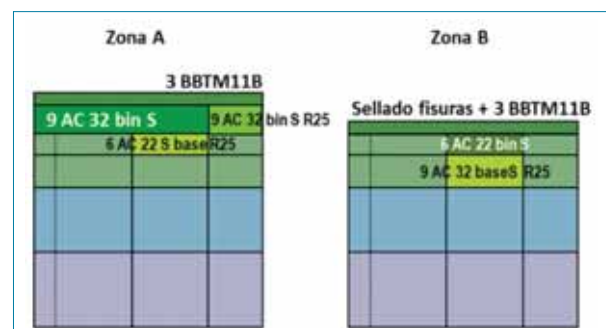


Fig. 4. Esquemas de las posibles soluciones utilizando mezcla reciclada en planta.

### 7.4 Opciones fuera del ámbito de la Norma 6.3 IC

Cabe pensar, por supuesto, en la posibilidad de aprovechar en la mayor medida posible el RAP generado dentro de la obra obviando algunas de las limitaciones que establecen la Norma 6.3 IC o el artículo 22 del PG-4. Por ejemplo, podría plantearse ir más allá del límite del 50 % de RAP. Como se ha indicado, esto sólo es factible con algunas plantas asfálticas, las de doble tambor concéntrico, por ejemplo, y requiere además unos sistemas de clasificación y dosificación del RAP muy precisos y rigurosos. Así mismo, como también se ha apuntado más arriba, habría entonces que reconsiderar el co-

eficiente de equivalencia (adoptando, por ejemplo, un valor de 0,80-0,85).

Otra posibilidad sería emplear mezcla reciclada en la capa intermedia de la zona A. Con esta medida se aumentaría el porcentaje de RAP aprovechado hasta, aproximadamente, el 80 %. Si, simultáneamente, se elevase la tasa de RAP en la mezcla reciclada al 31 % se estaría aprovechando el 100 % del fresado producido. Habría que replantearse también el coeficiente de equivalencia (por ejemplo a 0,9) y, en consecuencia, una medida de prudencia sería aumentar el espesor de la intermedia de 9 a 10 cm.

Finalmente, hay una opción se corresponde con la experiencia adquirida en muchos proyectos de rehabilitación. Téngase en cuenta que, por buenos que sean los resultados de medida de las deflexiones en el carril izquierdo de la zona B, tras 15 años de servicio un pequeño recrecimiento con 5 cm de capa intermedia en toda la anchura de la sección no parece descabellado. Si además se fuese a una tasa del 26 % de RAP en la mezcla reciclada, se estaría aprovechando la totalidad del material obtenido del fresado y dotando al firme en las zonas de una solución de refuerzo potente, durable y habiendo empleado todo el RAP en la misma carretera.

## Referencias

- AASHTO (1993): AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, Washington, D.C.
- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (2001): Reciclado de firmes (Artículos 20, 21 y 22 del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras PG-4), 36 pág., Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento, Madrid
- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (2003): Secciones de firme, Norma 6.1 IC de la Instrucción de carreteras, 41 pág., Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento, Madrid
- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (2003): Rehabilitación de firmes, Norma 6.3 IC de la Instrucción de carreteras, 74 pág., Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento, Madrid
- DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS (2004): Firmes y pavimentos (Parte 5ª del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes PG-3), 116 pág., Centro de Publicaciones del Ministerio de Fomento, Madrid

#5

## AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

Las técnicas de reciclado a baja temperatura a tasa total o muy alta son la máxima expresión de la sostenibilidad de los materiales asfálticos

#SOSTENIBILIDAD\_Y\_MEDIO\_AMBIENTE

**FABRICANTE Y DISTRIBUIDOR DE EQUIPOS PARA MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE**

**¡¡¡NEW!!! PARA EMULSIONES MODIFICADAS CON CAUCHO**

ANALIZADOR ASFÁLTICO -PG - PARA LA EXTRACCIÓN Y DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE BETÓN EN MEZCLAS BITUMINOSAS Y EN AQUELLAS MEZCLAS DE BETUNES MODIFICADAS CON GOMA, USANDO DISOLVENTES NO INFLAMABLES COMO TRICLOROETILENO, TETRACLOROETILENO Y DICLOROMETANO. CONTROL POR ORDENADOR.

**NORMAS EN 12697-1  
 ASTM AASHTO**



**¡ANALIZA MEZCLAS CON CAUCHO!**



**COMPACTADOR GIRATORIO**

COOPER MODELO GYRO3  
**NORMAS EN 12697-31  
 ASTM D6307 SHRP M-002**



**MEZCLADORAS**

MEZCLADORAS EN CALIENTE DE AGLOMERADO ASFÁLTICO  
 CAPACIDAD 35 KGS

**EN 12697-35  
 ASTM D 1559**

**MAQUINA WHELL TRACKING**

PARA ENSAYO EN AIRE/AGUA  
 DOS PUESTOS DE ENSAYO -RUEDA PEQUEÑA-  
**UNE EN 12697-22  
 MÉTODO HAMBURGO**

**¡ENSAYOS AIRE / AGUA!**



**Mecánica Científica S.A. Fabricante de equipos para ensayos de:**

- ÁRIDOS • SUELOS • CEMENTOS • AUSCULTACIÓN DE FIRMES • ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS • ROCAS
- HORMIGONES • LIGANTES • MEZCLAS BITUMINOSAS

**¡LIDER EN CALIDAD!**



# Mezclas bituminosas en servicio con altas tasas de material reciclado

Las mezclas bituminosas recicladas con altas tasas han sido suficientemente estudiadas en laboratorio, demostrando sus buenas características, sobre todo para capas intermedias y de base. Sin embargo, hay poca información sobre obras concretas realizadas con esta técnica y, sobre todo, de su comportamiento y evolución posterior a su puesta en servicio. Este artículo describe la utilización de mezclas recicladas en un 40%, 50% y 60%, mediante planta continua tipo ASTEC, y recoge los resultados de caracterización mecánica de testigos tomados a lo largo del tiempo, en la que se han ensayado a tracción indirecta, módulo resiliente y de rigidez, sensibilidad al agua y ensayo Fénix. La conclusión es el buen comportamiento de las mezclas, aunque la dispersión de las características de los testigos, a pesar de ser próximos en las campañas de extracción, no permite extraer conclusiones en cuanto a su evolución en el tiempo.

**Palabras clave:** reciclado altas tasas, conservación de carreteras, ensayo Fénix

Recycled asphalt mixtures with high rates have been sufficiently studied in the laboratory, demonstrating its good features especially for intermediate and basic layers. However it exist a few information about specific works made with this technique, and above all, its behavior and its evolution after its commissioning. This article describes the use of recycled mixtures by 40%, 50% and 60%, by continuous ASTEC plant type, and collects the results of mechanical characterization of cores taken over time, which have been tested for tensile strength, resilient and rigidity modulus, water sensitivity and Fénix test. Conclusion verses about good behavior of the mixtures, although the dispersion cores´ characteristics, even if they were being taken in the same areas in all campaigns extraction, they don´t allow us to get any conclusions related to their evolution over time.

**Keywords:** high recycling rates, road maintenance, test Fénix

Julio del Pozo, [juliodelpozo@telefonica.net](mailto:juliodelpozo@telefonica.net)  
Jordi Albareda, [jordi.albareda@sorigue.com](mailto:jordi.albareda@sorigue.com)

Sorigué

## 1. Introducción

La empresa Sorigué realizó, en los años 2005 y 2007, obras de asfaltado con altas tasas de reciclado, estudiando posteriormente el comportamiento en servicio mediante campañas de extracción de testigos durante años 2007 a 2010. En concreto, se estudió la evolución de tres tipos de mezcla, con distintos periodos de antigüedad, mediante la caracterización mecánica de los testigos extraídos.

El objeto de este estudio fue evaluar la evolución en el tiempo de las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas recicladas en altas tasas, ya que si bien la técnica de fabricación y puesta en obra es bien conocida, no lo es tanto su evolución en tramos reales en cuanto a sus características mecánicas y de du-

rabilidad frente a las cargas y los agentes atmosféricos. Las mezclas estudiadas fueron del tipo semidensas, con un porcentaje de material reciclado osciló entre 40% y el 60%.

## 2. Tipo de planta y mezclas recicladas

La planta del tipo continuo utilizada fue ASTEC tipo Double Barrel®, cuyas características técnicas son las siguientes:



Foto 1. Vista de la planta.

## Mezclas bituminosas en servicio con altas tasas de material reciclado

Planta formada por ocho módulos con remolque propio, compuestos por:

- **Remolque 1:** sistema portátil de alimentación de áridos con cinco tolvas de 2,69 x 3,45 m, y una capacidad de 21-28 tn (según densidad del árido).
- **Remolque 2:** cinta inclinada portátil para transferir los áridos al tambor, dotada de criba vibratoria.
- **Remolque 3:** tambor mezclador Double Barrel® de 2.100 mm de diámetro diseñado para poder trabajar con material reciclado con tasas del 60%, compuesto por dos tambores concéntricos. El tambor interior dispone de paletas de secado que recirculan el árido a contraflujo, diseñadas para trabajar con menores temperaturas operativas y máximas eficacias de secado. La cámara exterior (o segundo tambor) está especialmente aislada para el calentamiento de material de reciclado y su mezcla con el árido, betún, filler y los otros aditivos.
- **Remolque 4:** Filtro de mangas tipo ciclón, para un flujo de aire de 76.355 m<sup>3</sup>/h y compuesto de 728 mangas de material altamente filtrante. El preseparador ciclónico horizontal va montado en el mismo bastidor antes del filtro de mangas, para extraer las partículas pesadas.
- **Remolque 5:**
  - Silo de acopio y elevador autoerigibles simultáneamente en 12 minutos, sin necesidad de grúa alguna. El silo, de 90 tn de capacidad, dispone de paredes interiores redondeadas para prevenir la segregación. Dispone de un sistema automático de pesaje y descarga para eliminar la necesidad de una báscula para camiones.
  - Elevador de raquetas autoportante de 350 t/h de capacidad para la elevación del aglomerado al silo.
  - Módulo de cabina de control de la planta.
- **Remolque 6:** tanque de almacenamiento de betún con dos compartimentos y capacidad total de 94.625 litros, provisto de caldera.
- **Remolque 7:** silo autoerigible para aditivos (filler) con dos compartimentos y 56,5 m<sup>3</sup> de capacidad.
- **Remolque 8:** Tanque de fuel-oil de 56.775 litros de capacidad. Actualmente, la planta está adaptada para trabajar con gas natural.

Los tres tipos de mezcla se extendieron en las obras referenciadas más abajo.

En el artículo se ha adoptado la denominación de las mezclas correspondiente a la fecha en que se ejecutaron, es decir, la denominación D, S o G, para las mezclas densas, semidensas o gruesas. La denominación AC (Asphalt Concrete) fue posterior, año 2008.

### Obra 1

En esta obra se realizó el fresado de los 8 cm superiores de mezcla bituminosa del firme antiguo y luego se extendió una capa bituminosa de 8 cm de mezcla reciclada en caliente en planta tipo S-20 con una tasa de 60% de RAP, sobre ésta, una capa intermedia de 5 cm de mezcla reciclada en caliente en planta tipo S12 con una tasa de 40% de RAP, y finalmente se dispuso de una capa de rodadura tipo F8 (discontinua, tamaño máx. de 10 mm) en la que se utilizó un betún modificado con polímeros. En esta obra, al objeto de disminuir la heterogeneidad del material reciclado, se fraccionó en dos tamaños, 0/8 y 8/20.

El año de ejecución de la obra fue 2007. Las campañas de extracción de testigos se realizaron con una periodicidad de entre seis meses y un año durante un periodo de tres años, de 2007 a 2010, de forma que en total se dispuso de cinco campañas de testigos.

### Obra 2

En esta obra se realizó el fresado de los 8 cm superiores de mezcla bituminosa del firme antiguo y se extendió una capa bituminosa de 8 cm de mezcla reciclada en caliente en planta tipo S20 con una tasa de 50% de material reciclado. Sobre ésta, se extendió una capa de rodadura de 6 cm de mezcla convencional. Previamente a su utilización, el material de reciclado se procesó mediante un cribado con malla de 25 mm. El tener un solo tamaño 0/25 conlleva una mayor dispersión en los granulométricos respecto del caso anterior.

El año de ejecución de la obra fue 2005. Las campañas de extracción de testigos se realizaron con una periodicidad de un año durante un periodo de tres años, de 2007 a 2010, de forma que en total se dispuso de tres campañas de testigos.

Tabla 1. fecha de extracción de testigos.

Vía	Fecha	Número
Obra 1 Puesta en servicio año 2007	05/10/2007	S12R40 Y S20R60 1
	08/05/2008	S12R40 Y S20R60 2
	05/11/2008	S12R40 Y S20R60 3
	28/01/2010	S12R40 Y S20R604
	27/10/2010	S12R40 Y S20R60 5
Obra 2 Puesta en servicio año 2005	08/10/2007	S20R50 1
	28/07/2009	S20R50 2
	28/10/2010	S20R50 3

### 3. Campañas de extracción de testigos y ensayos realizados

Las fechas y tramos en los que se tomaron testigos fueron los recogidos en la Tabla 1. Los procedimientos de ensayo sobre los testigos han sido:

- Ensayo de Tracción Indirecta, mediante la Norma UNE-EN 12697-23
- Ensayo de Módulo de Rigidez a Tracción Indirecta. Mediante la Norma UNE-EN 12697-26 Anejo D
- Sensibilidad al agua, mediante la Norma UNE-EN 12697-12
- Ensayo Fénix

Dada la particularidad de éste último ensayo, propuesto por la UPC (Universidad Politécnica de Catalunya), y la ausencia de normativa al respecto, es necesario describir su procedimiento.

#### 3.1 Ensayo Fénix

Con objeto de obtener aún más información sobre la tenacidad y la resistencia a la fisuración de los materiales bituminosos, el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Catalunya desarrolló el ensayo Fénix.

La metodología del ensayo Fénix consiste en someter media probeta Marshall o testigo a un esfuerzo de tracción di-

recta. En el caso de las probetas Marshall, en un comienzo, el procedimiento de fabricación y compactación sigue la misma metodología establecida por el método Marshall, y en el caso de testigos, una vez extraído éste, se corta mediante una sierra circular la sección a determinar sus propiedades mecánicas. Luego la probeta o testigo se secciona por la mitad y se le induce una fisura mediante una entalladura en la parte central, tal como se ilustra en la Foto 2. Posteriormente, mediante el uso de una resina epoxi, se fijan a las dos secciones de la cara plana separadas por la entalladura, unas placas de acero. Estas a su vez son fijadas a los soportes de la prensa mediante dos pernos, que permiten un movimiento de rotación respecto a estos, de acuerdo a lo ilustrado en la Foto 3.

El ensayo consiste en someter las probetas semicirculares a un ensayo simple de tracción directa a una temperatura de 20°C. Para la realización del ensayo se utiliza una prensa MTS que dispone de una cámara capaz de controlar la temperatura con una precisión de  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

El ensayo se realiza mediante control de desplazamiento del pistón, aplicando un desplazamiento a una velocidad constante de 1 mm/min hasta llegar a la rotura total de la probeta.

Una vez registrados los datos por el equipo informático se procede a graficar las cargas registradas en función de su desplazamiento para calcular el valor de la energía de fractura (GF) mediante el cálculo del trabajo total de fractura (WT), y dividido por el área de contacto probeta-placas (Alig.).

## Mezclas bituminosas en servicio con altas tasas de material reciclado



Foto 2. Probeta Ensayo Fénix.



Foto 2. Montaje de probeta para el ensayo Fénix

Una de las principales ventajas de este ensayo es que simula el mecanismo de fisuración de las mezclas bituminosas mediante su principal modo de propagación de fisura cuando estas son sometidas a esfuerzos térmicos y a las solicitaciones de tráfico. Otra ventaja es la facilidad para realizar el ensayo, tanto a probetas Marshall como a testigos extraídos del pavimento.

A continuación se detallan los diferentes parámetros que se pueden obtener del ensayo Fénix:

- Carga máxima a tracción ( $F_{max}$ ): Se define como la carga máxima registrada en el ensayo a tracción directa.
- Desplazamiento a carga máxima ( $\Delta F_{max}$ ): Se define como el desplazamiento realizado por el pistón cuando se registra la máxima carga a tracción.
- Resistencia a tracción (RT): Se define como la relación entre la carga máxima registrada,  $F_{max}$ , y el área de ligamento o fractura. La resistencia a tracción se calcula de acuerdo a:

$$R_T = \frac{1000 \cdot F_{max}}{h \cdot l}$$

Donde

RT: Resistencia a tracción, (MPa)

$F_{max}$ : Carga máxima registrada (KN)

h: espesor de la probeta (mm).

l: Longitud inicial de ligamento (mm).

- Desplazamiento de rotura ( $\Delta R$ ): Se define como el desplazamiento en el cual la carga ha caído hasta los 0,1 KN. Es un valor indicativo de la tenacidad de la mezcla bituminosa, ya que a medida que las mezclas son más dúctiles se obtienen mayores valores de  $\Delta R$ , mientras que para mezclas más frágiles se obtienen menores valores de  $\Delta R$ . Este parámetro entrega un valor importante, puesto que a mezclas con iguales energías disipadas, GF, pueden comportarse de manera diferente, unas más frágiles y otras más dúctiles, y el desplazamiento de rotura puede diferenciar una mezcla de la otra.
- Índice de rigidez a tracción (IRT): Se define como la relación entre la carga media,  $\frac{1}{2} F_{max}$ , y el desplazamiento,  $\Delta m$ , correspondiente a ese valor. Este índice indica una pseudo-rigidez que muestra la flexibilidad de la mezcla bituminosa. A mayor índice de rigidez a tracción menos flexible es la mezcla. El índice de rigidez de tracción se calcula de acuerdo con la siguiente expresión:

$$I_{RT} = \frac{\frac{1}{2} \cdot F_{max}}{\Delta_{map}}$$



Donde

IRT: Índice de rigidez a tracción (KN/mm)

F<sub>max</sub>: Carga máxima registrada (KN)

Δ<sub>map</sub>: Desplazamiento antes de la carga máxima a 1/2 F<sub>max</sub> (mm).

- **Energía disipada o de fractura (GD o GF):** Se define como el trabajo total realizado en el proceso de fisuración, W<sub>D</sub>, dividido entre el área de ligamento o fractura, perpendicular a la fuerza aplicada. Donde el cálculo del trabajo realizado y la energía disipada en el proceso de fisuración se calculan de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$W_D = \sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i) \cdot (y_i) + 0.5 \cdot (x_{i+1} - x_i) \cdot (y_{i+1} - y_i)$$

Donde:

W<sub>D</sub>: Trabajo realizado en el proceso de fisuración, área bajo curva carga – desplazamiento (KN-mm).

x: Desplazamiento registrado (mm).

y: Carga registrada (mm).

n: Punto en que la carga ha descendido a 0,1 KN.

$$G_D = \frac{W_D}{h \cdot l}$$

Donde:

G<sub>D</sub>: Energía disipada en el proceso de fisuración (J/m<sup>2</sup>).

W<sub>D</sub>: Trabajo realizado en el proceso de fisuración, área bajo curva carga – desplazamiento (KN-mm).

h: Espesor de la probeta (m).

l: Longitud inicial de ligamento (m).

- **Índice de tenacidad (IT):** Se define como la energía disipada en el periodo de relajación o softening multiplicada por un factor de fragilidad, el cual es el desplazamiento realizado desde la carga máxima, F<sub>max</sub>, hasta que la carga ha caído a la mitad de su carga total. Este índice tiene la finalidad de evaluar la tenacidad de la mezcla bituminosa, considerándose ésta como ausencia de fragilidad. Por tanto, a medida que este parámetro aumenta, la

mezcla es más tenaz, y por otra parte, a medida que este factor disminuye, la mezcla tiene un comportamiento de rotura final con menos deformación. Sus variables se ilustran en la Figura 1 y su expresión es la siguiente:

$$I_T = \frac{W_D - W_{F_{max}}}{h \cdot l} \cdot (\Delta_{mdp} - \Delta_{F_{max}})$$

Donde

IT: Índice de tenacidad (adimensional).

W<sub>D</sub>: Trabajo realizado en el proceso de fisuración, área bajo curva carga–desplazamiento (KN-mm).

W<sub>F<sub>max</sub></sub>: Trabajo realizado hasta carga máxima (KN -mm).

F<sub>max</sub>: Carga máxima (KN).

Δ<sub>ma</sub>: Desplazamiento a 1/2 F<sub>max</sub> antes del pico (mm).

Δ<sub>F<sub>max</sub></sub>: Desplazamiento a F<sub>max</sub> (mm).

Δ<sub>mdp</sub>: Desplazamiento a 1/2 F<sub>max</sub> post pico (mm).

ΔR : Desplazamiento a F = 0,1 KN (mm).

## 4. Resultados

### 4.1 Densidades

En la Figura 2 se muestra la amplitud de la población normalizada de las medias de las densidades obtenidas para los testigos extraídos en cada una de las campañas de extracción realizadas en la Obra 1 y Obra 2. A fin de ver su correspondencia con la realidad posterior de la obra se ha marcado la franja de valores obtenida en laboratorio con mezclas recicladas similares. Es necesario considerar que los resultados de

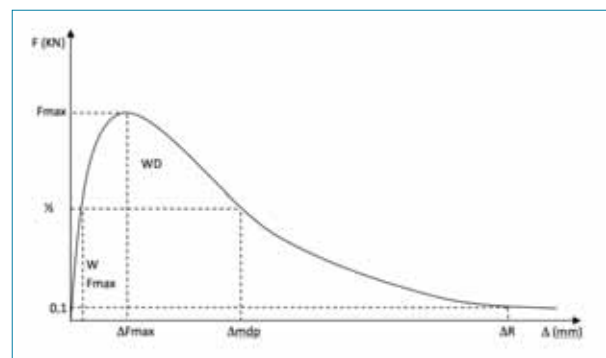


Figura 1. Representación gráfica de los parámetros del ensayo Fénix.

# Mezclas bituminosas en servicio con altas tasas de material reciclado

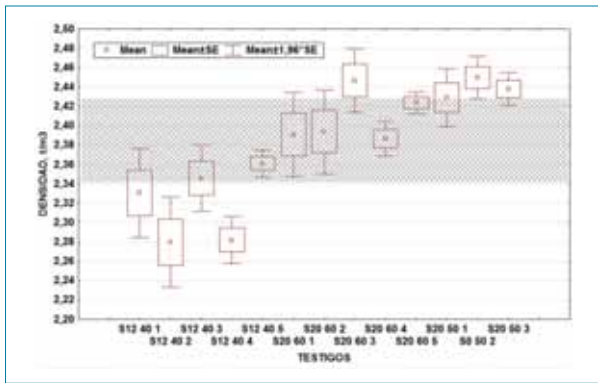


Figura 2. Densidades obtenidas para los testigos.

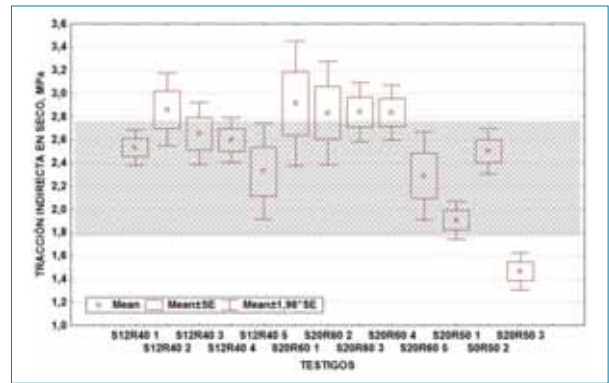


Figura 3. Resistencia a tracción indirecta en seco.

laboratorio corresponden a probetas fabricadas al efecto, mientras que los testigos son el producto de la puesta en obra y varios años de servicio. A pesar de todo indicar el rango de estos resultados puede ser una referencia útil.

Las barras de error representan dos veces la desviación estándar de las medias de los valores de densidad para cada serie de testigos. El coeficiente de variación (CV) se mantuvo entre el 1 % y el 2,3 % para todas las campañas de ambas mezclas. Las densidades de las mezclas S20 tanto para 60% como para el 50% de RAP fueron menos dispersas que las S12R40.

La densidad de los testigos fue inferior en la mezcla S12R40 que en las S20R50 y S20R60, circunstancia que está de acuerdo con las granulometrías y los espesores de ambas, 5 cm en la primera y 8 cm en las segundas. Los áridos eran de la misma procedencia. Es de destacar la buena homogeneidad de las series de valores.

## 4.2 Ensayos de tracción indirecta

En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos para la resistencia a tracción indirecta para las tres mezclas recicladas procedentes de las Obras 1 y 2.

Para las mezclas S12R40 y S20R60, la resistencia a tracción indirecta a 15°C se mantuvo estable y con valores muy satisfactorios, con una última campaña dentro de lo normal y con mayor dispersión centrada en valores de 2,3 MPa. El coeficiente de variación osciló entre 7.6% y 13.9%, salvo los testigos S20R60 1, S20R60 5, y S20R40 5 que alcanzaron el 16%, 19 y 20.3 respectivamente.

Los testigos de la S20R50 dieron también valores correctos en las dos primeras campañas y bajos en la tercera, en los

tres casos bastante homogéneos. Los coeficientes de variación de estas campañas estuvieron entre el 7.6 y el 12.5 %.

## 4.3 Módulos de rigidez

A continuación se presentan los valores promedios de los módulos resilientes y de rigidez de todos los testigos extraídos de las dos Obras.

En la Figura 4 se observa claramente como esta magnitud ha sido la que mayor dispersión ha presentado, lo cual es normal pues el módulo de rigidez es muy sensible a pequeñas variaciones en el índice de huecos y contenido de betún. Por lo tanto a pequeñas variaciones de la densidad corresponden variaciones importantes de módulo. Para la primera campaña se empleó el procedimiento de ensayo descrito en la Norma NLT- 360/91, mientras que en el resto se siguió la norma UNE-EN 12697-26:2006 Anexo D. En este caso, el primer método ya obsoleto, parece haber dado valores más bajos y homogéneos que el actual. Los coeficientes de varia-

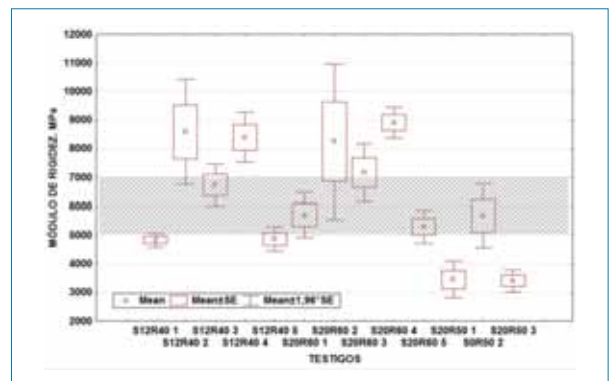


Figura 4. Módulos de los testigos.

ción han oscilado desde un 5.7% al 26%, alcanzando el 33% en el testigo S20R60 2.

Coefficientes de variación del 10% a 15% son normales en laboratorio, y hasta el 20% también son normales para medidas en obra antes de su entrada en servicio, sin embargo al cabo de los años la variabilidad tiende a ser mayor, ya que los módulos más bajos se degradan más al paso de las cargas y cuanto más huecos, o menos módulo, mayor degradación también por los agentes atmosféricos. Esto hace que las dispersiones crezcan en el tiempo.

#### 4.4 Sensibilidad al agua

A partir de la tercera campaña de testigos de la Obra 1 y de la segunda de la Obra 2, se realizaron adicionalmente ensayos de tracción indirecta en húmedo, además de en seco, para evaluar la sensibilidad al agua de la mezcla y su evolución con el tiempo.

En Figura 5 se muestra los datos obtenidos en los ensayos de sensibilidad al agua así como la línea roja de exigencia normativa española para el diseño en laboratorio, y en testigos tomados en obra. La resistencia conservada varió de forma importante en la mezcla S20R60, mientras que se mantuvo constante para la mezcla S12R40. Los coeficientes de variación de los ensayos realizados en húmedo fueron significativamente superiores a los de los ensayos realizados en seco, en promedio del 13% en seco y 22% en húmedo.

Para los testigos procedentes de la S20R50 se observó igualmente un ligero incremento de la resistencia conservada de un año para otro. Aun así este incremento fue menor a la propia dispersión del ensayo que en este caso de nuevo

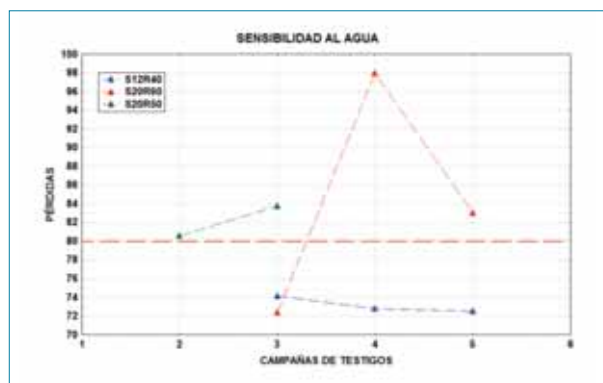


Figura 5. Resistencia conservada de los testigos.

volvió a mostrar un valor mayor para los ensayos en húmedo, coeficiente de variación promedio del 10% en seco y 15% en húmedo.

La mezcla S12R40 ha sido la que ha dado valores más bajos en húmedo probablemente debido a ser la capa más superficial de las tres, recubierta por el microaglomerado F8. Como se verá más adelante, en las condiciones exigidas por la normativa española de mezclas recicladas en caliente, los valores de resistencia a tracción a 5°C en seco y húmedo serían correctos para testigos tomados en obra, y mucho más para los tomados años después.

#### 4.5 Ensayo Fénix

En lo que se refiere a los ensayos Fénix, se presentan por separado los resultados obtenidos para la Tensión Máxima, Energía de Fractura, Índice de Rigidez a Tracción e Índice de Tenacidad. Las campañas de extracción de las que se dispone de datos son de la 3ª, 4ª y la 5ª de la Obra 1 (S12R40 y S20R60), y de las dos últimas de la Obra 2 (S20R50).

Se dispone solamente de tres testigos por campaña y tipo de mezcla, por lo que no se ha considerado ninguna distribución estadística, indicando la media de los tres valores y el máximo y mínimo.

En la Obra 1 la tensión máxima, o Resistencia a Tracción, de los testigos ha mostrado un comportamiento discontinuo pero acorde con los resultados de laboratorio, las mezclas han presentado valores más similares para la 3ª y 5ª campañas, y valores algo inferiores para la 4ª campaña. Los valores de la Energía de Fractura también están dentro de los obtenidos en laboratorio si bien tienen una variación heterogénea con

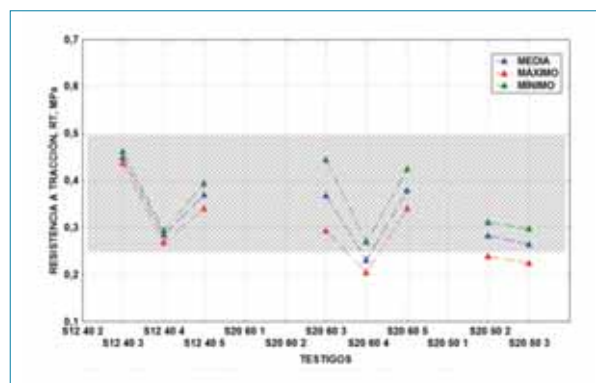


Figura 6. Tensión máxima promedio obtenida en el ensayo Fénix.

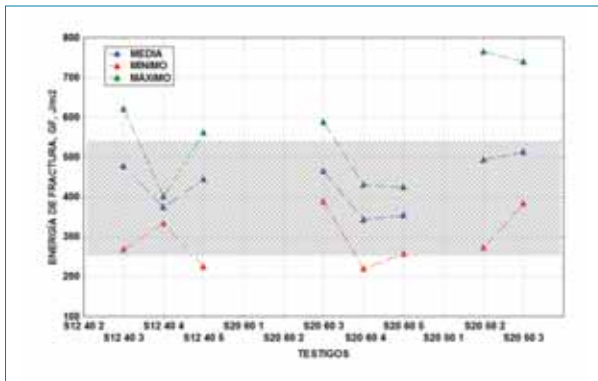


Figura 7. Energía de fractura.

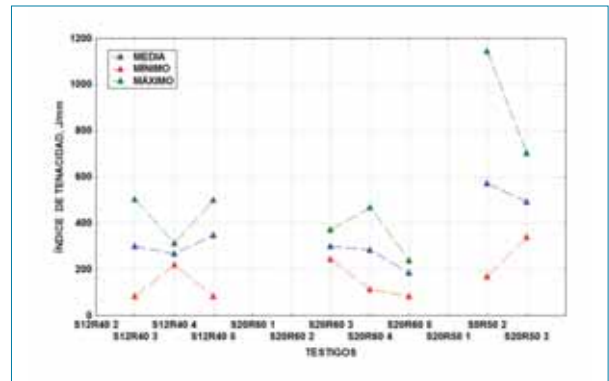


Figura 9. Índice de tenacidad.

medias muy parecidas. Sin embargo, el Índice de Rigidez a Tracción Indirecta, medida representativa de la rigidez para pequeñas deformaciones, si ha aumentado con el paso del tiempo para las dos mezclas.

En la Obra 2, mezcla S20R50 la Resistencia a Tracción se ha mantenido constante y ha sido la variable que menor variación ha mostrado. La Energía de fractura en este caso presenta valores medios elevados respecto de los obtenidos en laboratorio y parecidos en las dos campañas, así como una alta variabilidad con valores máximos elevados. También aquí, al igual que en el caso de los testigos de la Obra 1, el Índice de Rigidez a Tracción, IRT, o la rigidez para pequeñas deformaciones, ha aumentado regularmente con el paso del tiempo, aunque la variación de los resultados pertenecientes a la última campaña ha sido elevada.

Del Índice de Tenacidad no se tienen referencias de laboratorio. El comportamiento de las mezclas S12R40 y S20R60 es similar con valores comprendidos entre 100 y 500

J/mm, en cambio los de la S20R50 son mucho más elevados y más dispersos. Comparando con la Energía de Fractura, y con la Resistencia a Tracción se deduce que si bien en media no difieren demasiado, la cola de deformación, es decir la tenacidad, es mayor y más dispersa en la mezcla S20R50 que en las otras dos.

### 5. Comparación de los datos más significativos

Es interesante comparar la resistencia a tracción indirecta en seco y húmedo de todas las campañas y en cada uno de los tramos ensayados, y comparar sus valores con la normativa vigente en España recogida en la Orden Circular 8/2001 reciclado de Firmes, donde se exige que a 5°C de temperatura, empleando los dispositivos de carga en la Norma NLT-360 para la determinación del módulo resiliente, se cumplan los mínimos establecidos en la Tabla 2.

Dado que los valores de tracción indirecta se han obtenido según la Norma UNE-EN 12697-23 a 15°C y las exigencias son a 5°C, se han corregido estos valores proporcionalmente a los módulos de rigidez obtenidos a varias temperaturas, con lo que se han obtenido los siguientes valores de referencia a 5°C

Las poblaciones de cada campaña-tipo de mezcla constan desde tres a cinco valores por lo que se ha preferido representar los valores medios, máximos y mínimos.

El comportamiento en cuanto a la resistencia a tracción en seco y húmedo es muy buena salvo algún valor en la última campaña de la S12R40 y S20R50. Por otro lado es evidente que los valores exigidos por la Orden Circular en seco y húmedo, se refieren a la toma de testigos durante la obra, y

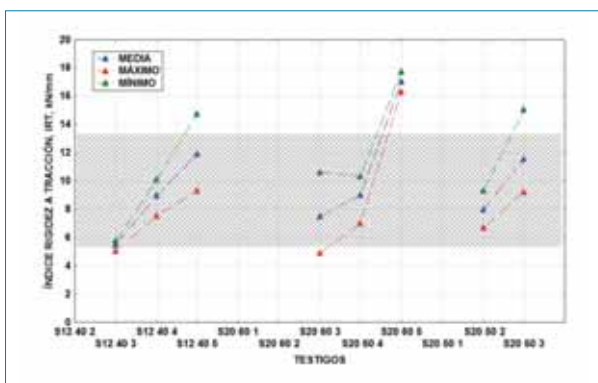


Figura 8. Índice de rigidez a tracción.

Tabla 2. Valores de resistencia mínima a tracción indirecta de testigos según la OC 8/2001 sobre reciclado de firmes.

Tipo de mezcla	Aceptación		Penalización	
	Seco (*) (Mpa)	Húmedo (**) (Mpa)	Seco (*) (Mpa)	Húmedo (**) (Mpa)
Densa (D) y Semidensa (S)	2,5	1,9	2,1	1,6
Gruesa (G)	2	1,5	1,6	1,2

(\*) Directamente sobre los testigos extraídos.

(\*\*) Sobre testigos que hayan permanecido sumergidos durante 24 horas (24 h) en agua a temperatura de sesenta grados Celsius (60° C).

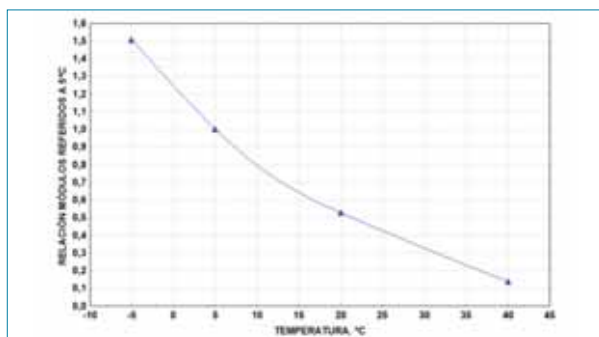


Figura 10. Relación Módulo de Rigidez vs temperatura.

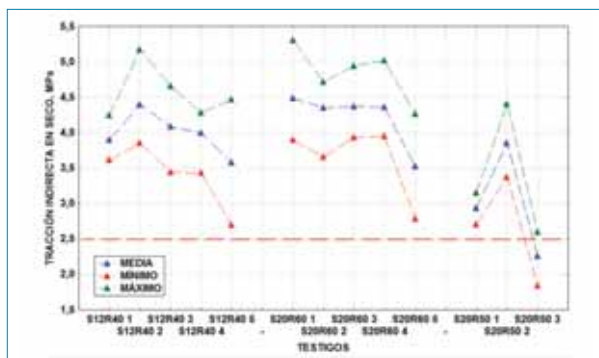


Figura 11. Tracción indirecta en seco.

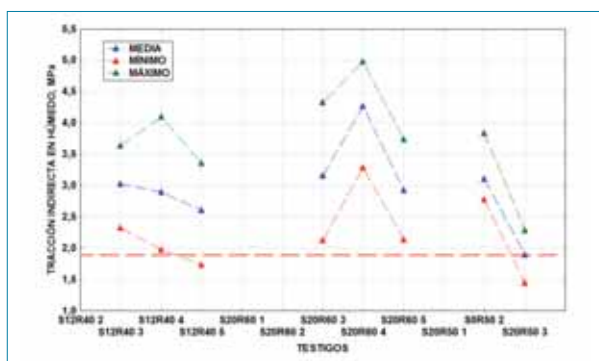


Figura 12 Tracción indirecta en húmedo.

es normal que estas secciones al cabo de los años de estar sometidas a fatiga y a los agentes atmosféricos, su resistencia haya decaído algo respecto de sus valores iniciales. Por lo que se deduce que inicialmente cumplían sobradamente.

## 6. Conclusiones

De los ensayos realizados en varias vías en servicio con mezclas bituminosas fabricadas con distintos porcentajes de reciclado, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los parámetros mecánicos de los testigos presentan unas dispersiones normales en los valores obtenidos. Estas dispersiones, en testigos tomados varios años después de su puesta en servicio, son muy aceptables considerando que el potencial de degradación tanto a fatiga como por los agentes atmosféricos, es proporcional a los módulos y huecos iniciales, de tal forma que los módulos más bajos tienden a decaer más, con lo que aumenta la variabilidad inicial.
- La variabilidad normal espacial es mayor que la temporal en el intervalo de toma de testigos, por lo que para conocer la evolución temporal sería necesario un mayor tiempo de observación.
- El hecho de que la S12R40 se haya compactado en un espesor menor, y que el material de reciclado se haya incorporado en una sola fracción en la S20R50, solamente ha influido en las densidades, pero no en sus características mecánicas.
- Las densidades de la S12R40 han sido inferiores a las de la S20R60, lo que se explica por el menor espesor de la primera, o bien por el menor porcentaje de betún rejuvenecedor.

## Mezclas bituminosas en servicio con altas tasas de material reciclado

- Las sensibilidades al agua han sido buenas en todos los casos, y menores en la S12R40 que en la S20R60 y S20R50. Hay que considerar que la S12R40 es la capa menos protegida del agua, una capa de tipo F8.
- Los índices de rigidez a tracción, que se pueden interpretar como la rigidez para pequeñas deformaciones, es el parámetro que en función del tiempo ha aumentado en las tres mezclas.

Como conclusión final se pone de manifiesto que las mezclas recicladas a altas tasas con varios años de servicio presentan unas características mecánicas con unos valores y coeficientes de variación normales y comparables a las mezclas convencionales. La intersección de las variables que definen las mezclas: contenidos de betún, granulometrías, compactaciones, espesores, etc, proporcionan coeficientes de variación similares a las mezclas no recicladas.

No obstante las mezclas recicladas en caliente en planta con altas tasas de material de fresado pueden, a nivel de laboratorio, superar a las standard claramente para capas intermedias y de base, incluso para tasas más modestas, en ro-

dadura. Para conseguir este objetivo se han mejorado los procesos de fabricación y puesta en obra, la clasificación del material de fresado en dos ó más fracciones, diseño más riguroso de los betunes rejuvenecedores, cuidado de los tiempos de mezclado para la buena dispersión de los ligantes en la masa de áridos, y la necesidad de mantener el RAP con una humedad adecuada mediante acopio cubierto, o secado en el momento de su utilización.

### 7. Referencias

1. Orden Circular 8/2001. Reciclado de Firmes. Dirección General de Carreteras. Ministerio de Fomento.
2. Evaluación de los métodos de reciclado y rehabilitación a partir del análisis de los métodos experimentales del proyecto europeo Parámix. R Miró y otros. 2007
3. Análisis del comportamiento de un firme reciclado en central en caliente con alta tasa tras un año en servicio. MA del Val y otros.
4. Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta. J Alarcón. 2003.

#6

## AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas pueden reutilizarse indefinidamente con técnicas de reciclado (EAPA)

#SOSTENIBILIDAD\_Y\_MEDIO\_AMBIENTE

# Empleo de rejuvenecedores en reciclado de mezclas bituminosas

Es bien conocida la posibilidad de reutilización de las mezclas bituminosas una vez alcanzado el final de su vida útil, mediante reciclados del material, empleando diferentes técnicas, tanto en caliente como en frío. Una de las técnicas que ofrece mayor seguridad en la calidad y homogeneidad del producto fabricado con el material fresado obtenido de las carreteras es el reciclado en caliente en central, tecnología que está normalizada en la legislación española y que está siendo aplicada con éxito en diversidad de oportunidades. Se han realizado obras tanto con bajas como con altas tasas de fresado en la mezcla final (incluso superiores al 50%), aunque lo más habitual es reciclar con porcentajes entre el 10% y el 30%. La reutilización y el reciclado de mezclas bituminosas envejecidas genera importantes beneficios ambientales, principalmente el reaprovechamiento de materiales valiosos, de forma que, además de resolver el problema de los residuos generados en el fresado, permite reducir el consumo de materias primas no renovables, como son el betún y los áridos. En los últimos años se ha producido en el sector de las mezclas bituminosas un impulso de este tipo de soluciones para obtener productos más sostenibles. Aumentar la reutilización del fresado (RAP) en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente es una solución prometedora, especialmente para redes maduras de carreteras donde el mantenimiento genera un suministro constante de RAP. Cuando el porcentaje de fresado incorporado a la mezcla es elevado, es fundamental para asegurar la calidad final del producto tanto el proceso de diseño de la mezcla como el tratamiento y estudio previo de los materiales a emplear, especialmente el ligante nuevo a incorporar, sin olvidar el proceso de fabricación. Debido a las condiciones climáticas, el ligante del RAP que habitualmente se obtiene en España puede encontrarse extremadamente envejecido, lo que limita su reutilización con una solución convencional como es la adición de un ligante blando. En este artículo se presentan experiencias de empleo de agentes rejuvenecedores para garantizar la calidad de una mezcla bituminosa con alto contenido de RAP cuyo ligante está muy envejecido.

**Palabras clave:** reciclado, asfalto reciclado, fresadora, mezcla de asfalto, rejuvenecedor, betún

It is well known that bituminous mixes, once they have reached the end of their useful life, can be reused by means of recycling of the material, with the help of different techniques, both hot and cold. One of the techniques which offers more safety when it comes to quality and homogeneity of the product manufactured with milled roads material, is in-plant hot recycling. This technology, standardized in Spanish legislation, is being applied successfully in a diversity of occasions. Projects have been carried out both with low and with high milling rates in the final mix (even more than 50%), although it is most common to recycle with percentages between 10% and 30%. Reuse and recycling of aged bituminous mixes offer important environmental benefits, mainly the reuse of valuable materials, offering the possibility, apart from resolving the problem of waste generated during the milling process, to reduce the use of non-renewable raw materials, such as bitumen and aggregates. In the last few years the sector of bituminous mixes has undergone an important increase of this kind of solutions to obtain more sustainable products. Increasing reuse of milling (RAP) in the production of hot bituminous mixes is a promising solution, specially regarding mature road networks, where maintenance generates a constant RAP supply. When adding an elevated milling percentage to the mix, in order to ensure the final quality of the product, both the design process of the mix and treatment and previous study of the used materials, particularly of the new binder, are absolutely necessary, not to mention the manufacturing process. Due to climatic conditions, the RAP binder, which normally is of Spanish origin, can be extremely aged, which limits its reuse with a conventional solution such as the addition of a soft binder. This paper describes experiences as to the use of rejuvenation agents to guarantee quality of bituminous mixes with a high RAP content with an extremely aged binder.

**Keywords:** recycling, recycled asphalt, milling, asphalt mix, rejuvenation, bitumen

# Empleo de rejuvenecedores en reciclado de mezclas bituminosas

**Laurent Porot**, laurent.porot@azchem.com  
**Rachel Severance**, rachel.severance@azchem.com  
Arizona Chemical

**Jesús Felipo**, jfelipo@pavasal.com  
**José Ramón López**, jrlopez@pavasal.com  
Pavasal

## 1. Introducción

Durante años, el fresado (RAP) ha sido empleado como un material granular en bermas laterales de carreteras, en capas sub-base del pavimento, y en otras aplicaciones similares. Sin embargo, utilizar simplemente el RAP en estas aplicaciones sacrifica el valor añadido del ligante. En los últimos años, la tendencia del sector de fabricantes de mezclas bituminosas es incorporar más RAP en las nuevas mezclas bituminosas en caliente (HMA) para recuperar el valor de las materias primas no renovables existentes en el fresado, tanto el ligante como los áridos. Como se muestra en la Figura 1, los datos recogidos por la European Asphalt Pavement Association (Asociación Europea de Pavimentos Asfálticos, EAPA) muestran un aumento constante en el fresado usado en las mezclas en caliente nuevas en España (EAPA).

Varios proyectos europeos han investigado el empleo de RAP en altas tasas en mezclas bituminosas en España, con porcentajes superiores al 30% de RAP. Por ejemplo, el pro-

yecto DIRECT-MAT, que terminó en el año 2011, y reportó las mejores prácticas para gestionar y manejar fresado (FEHRL). El proyecto FENIX finalizó en el año 2010, realizándose una prueba con éxito con un contenido de RAP del 70% en mezclas bituminosas en caliente (Proyecto Fénix). Aunque las especificaciones PG4 autorizan en la actualidad el uso de hasta un 50% de RAP (Ministerio de Fomento), solamente un 10-20% de fresado se emplea habitualmente en las mezclas nuevas. Por lo tanto, mientras que los diferentes estudios realizados muestran resultados prometedores, asegurar la calidad del producto final es una preocupación que debe tenerse en cuenta. (Querol & Del Pozo, 2011).

Un factor importante en la calidad del producto final son las propiedades del ligante envejecido, las cuales son un resultado directo del efecto que el envejecimiento tiene en las propiedades del ligante del fresado. El mecanismo de envejecimiento es complejo, y se detecta tanto en los ligantes como en las mezclas. A nivel químico, se produce oxidación y modificación (Read & Whiteoak, 2003; Petersen, 2009), lo que hace que el ligante se endurezca y sea más propenso al fallo (Porot & Nigen-Chaidron, 2007). Si bien este endurecimiento proporciona algunas ventajas, tales como resistencia a la deformación permanente, el ligante dentro del RAP también será más quebradizo y susceptible al agrietamiento (Karlsson & Isacson, 2006). Por tanto, los principales retos para la reutilización de RAP en alta tasa son la restauración de las propiedades del ligante envejecido, y la total

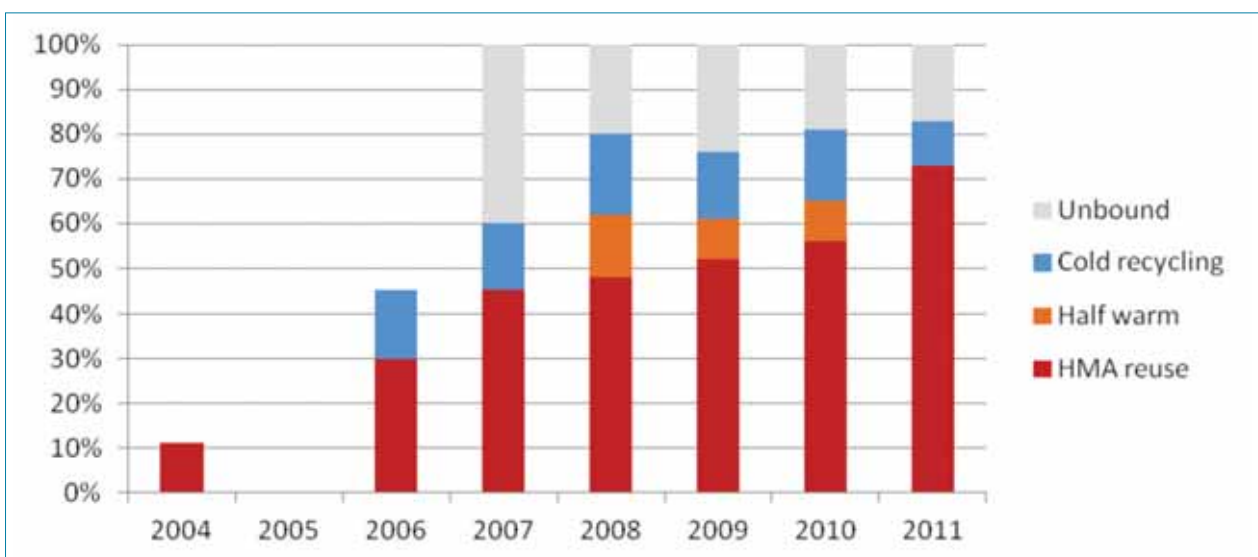


Figura 1. Porcentaje de RAP empleado en España, según informes de la EAPA.



movilización y recuperación de dicho ligante (Del Pozo & Querol, 2012).

El estudio presentado aquí investigó el impacto de incorporar un 30% de RAP en la mezcla bituminosa final. Se emplearon dos metodologías diferentes (con y sin rejuvenecedores) para la reutilización del RAP, después de una evaluación de sus características. Seguidamente, se evaluaron estas dos opciones a partir del ligante extraído del RAP. Finalmente, se evaluaron mezclas bituminosas en el laboratorio por medio de pruebas estándar y caracterizaciones mecánicas. Nótese que la inclusión del 30% de RAP es razonablemente alcanzable con la actual configuración de muchas plantas de fabricación de mezclas bituminosas en España.

## 2. Caracterización del ligante procedente del fresado

Uno de los retos específicos en países como España, con climas cálidos, es el tipo de RAP que puede encontrarse y sus características. El envejecimiento del ligante es más severo en climas cálidos, y el impacto resultante en las características del RAP debe tenerse en cuenta.

Para este estudio, el RAP usado fue muestreado de unos acopios en Valencia. Se extrajo el ligante del RAP, recuperado por evaporación rotativa, y caracterizado por penetración, punto de reblandecimiento, y viscosidad dinámica de acuerdo con las normas EN. Los resultados para el ligante se pueden observar en la Tabla 1.

Los resultados en la Tabla 1 reflejan un ligante recuperado del fresado muy duro con un grado por debajo de 10/20. En otras palabras, este ligante obtenido del RAP es tres grados de penetración más duro que un ligante estándar de gra-

do 10/20. Comparativamente, el ligante habitualmente pierde un grado después del envejecimiento a corto plazo durante la producción de la mezcla, y un segundo grado después de 5-10 años en el pavimento. Si bien este ligante obtenido del fresado no puede satisfacer las especificaciones de clasificación en la norma EN 12591, los valores obtenidos son congruentes con los resultados habituales obtenidos para el RAP en España (Del Pozo & Querol, 2012).

Mientras que el valor de penetración y el punto de reblandecimiento aportan información sobre la elevadísima consistencia del ligante en la mezcla bituminosa, la viscosidad a altas temperaturas hace referencia a la influencia de las características del ligante en el proceso de fabricación en la planta. El perfil de viscosidad del ligante extraído de RAP se superpone en la Figura 2 con el de un ligante virgen 35/50. Dado que la máxima viscosidad para una mezcla eficaz está cerca de 200 mPa/s (Read & Whiteoak, 2003), el ligante envejecido tendría que procesarse por encima de 200°C. Comparativamente, un ligante virgen estándar 35/50 puede procesarse cerca de 160°C. Como consecuencia, si este RAP se incorpora como está con una temperatura convencional de mezcla cerca de 160°C, el ligante envejecido no estará lo suficientemente fluido para recubrir los áridos y no se podrá recuperar el valor del ligante envejecido.

El ligante recuperado también fue caracterizado químicamente por medio del análisis Fourier Transformed Infra-Red (Infrarrojo de la Transformada de Fourier), o FTIR. FTIR es una herramienta útil para evaluar ligantes envejecidos, ya que los enlaces dobles generados a través de oxidación pueden detectarse, en el espectro, como picos de sulfóxido y carbonilo.

Tabla 1. Caracterización del ligante extraído y recuperado del RAP.

	Penetración a 25 °C, 0.1 mm	Punto de reblandecimiento, °C	Índice de penetración	Viscosidad, mPa/s
Método	EN 1426	EN 1427	EN12591 (Anexo A)	EN 13302
Propiedades	7	93*	1,9	17780 a 135°C 14830 a 150°C 899 a 180°C 653 a 200°C

\* punto de reblandecimiento medido en glicerol

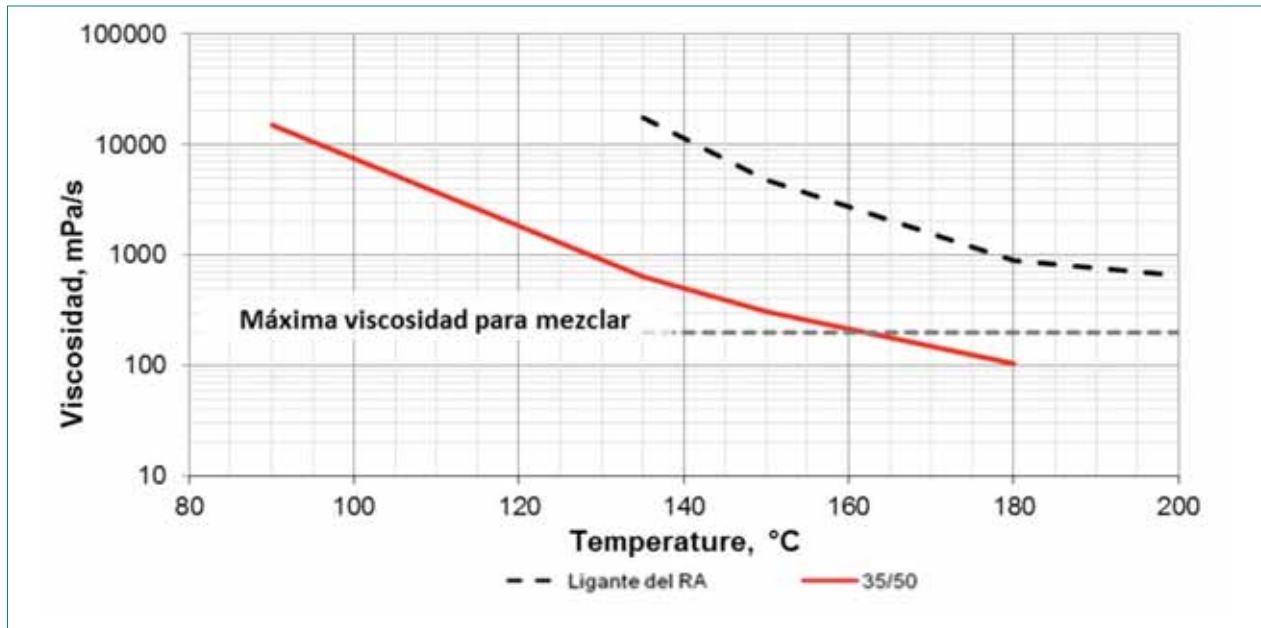


Figura 2. Perfil de viscosidad del ligante extraído de RAP comparado con un ligante virgen 35/50.

El espectro de absorción FTIR para el ligante procedente del RAP se compara en la Figura 3 con el espectro de un ligante virgen 35/50 y un ligante envejecido en el laboratorio. El ligante envejecido en el laboratorio se obtuvo a partir del envejecimiento del ligante virgen 35/50. Se detectaron un pico de sulfóxido cerca de  $1.000\text{ cm}^{-1}$  y un pico de carbonilo cerca de  $1.700\text{ cm}^{-1}$ , tanto para el ligante procedente del RAP como para el ligante envejecido en el laboratorio. Cualitativamente, ambos picos son más pronunciados en el ligante del RAP que en el ligante envejecido en el laboratorio y por lo tanto el ligante recuperado del fresado está más envejecido que el ligante envejecido en el laboratorio. El espectro para el ligante del RAP también contiene picos en  $900$  y  $770\text{ cm}^{-1}$ , que corresponden a huellas típicas de butadieno y estireno. Como tal, es probable que la fuente de RAP fuera modificada con polímeros.

### 3. Opciones para la reutilización de fresado

La forma más habitual de fabricar mezclas que contienen fresado es usar un grado más blando de ligante, y este método es eficaz cuando el contenido de fresado no es muy alto (menor que el 15%). Para el ejemplo que se está describiendo, el ligante blando empleado fue un ligante virgen estándar 70/100. La norma EN 13108 proporciona un método para predecir las propie-

dades que resultan de mezclar dos ligantes, que puede usarse con ligante blando y ligante procedente del RAP. Sin embargo, la mezcla con ligante blando para satisfacer la especificación tiene limitaciones cuando el RAP está seriamente envejecido, o cuando el porcentaje de RAP es mayor del 30% en la mezcla.

La otra alternativa empleada en este estudio fue la incorporación de un producto rejuvenecedor del ligante envejecido. El aditivo empleado en este estudio fue Arizona Chemical SYLVAROAD™ RP 1000. El aditivo de rendimiento SYLVAROAD™ RP 1000 es un aditivo de asfalto bio-renovable en un 90% producido a partir de productos químicos refinados del pino. Este agente rejuvenecedor está específicamente procesado según especificaciones estrictas, y se usa para restaurar propiedades del ligante envejecido y activar el ligante del RAP. El aditivo está diseñado para añadirse al fresado antes de que el RAP se mezcle con los materiales vírgenes. Su naturaleza química ayuda a la dispersión de los asfaltenos dentro de la matriz del betún, proporcionando una mejor flexibilidad. El aditivo es líquido a temperatura ambiente, y tiene una viscosidad de 40-46  $\text{mm}^2/\text{s}$  a  $40^\circ\text{C}$ .

### 4. Evaluación del ligante

Basado en las propiedades del ligante del RAP, se prepararon dos mezclas diferentes de ligantes para simular el uso del

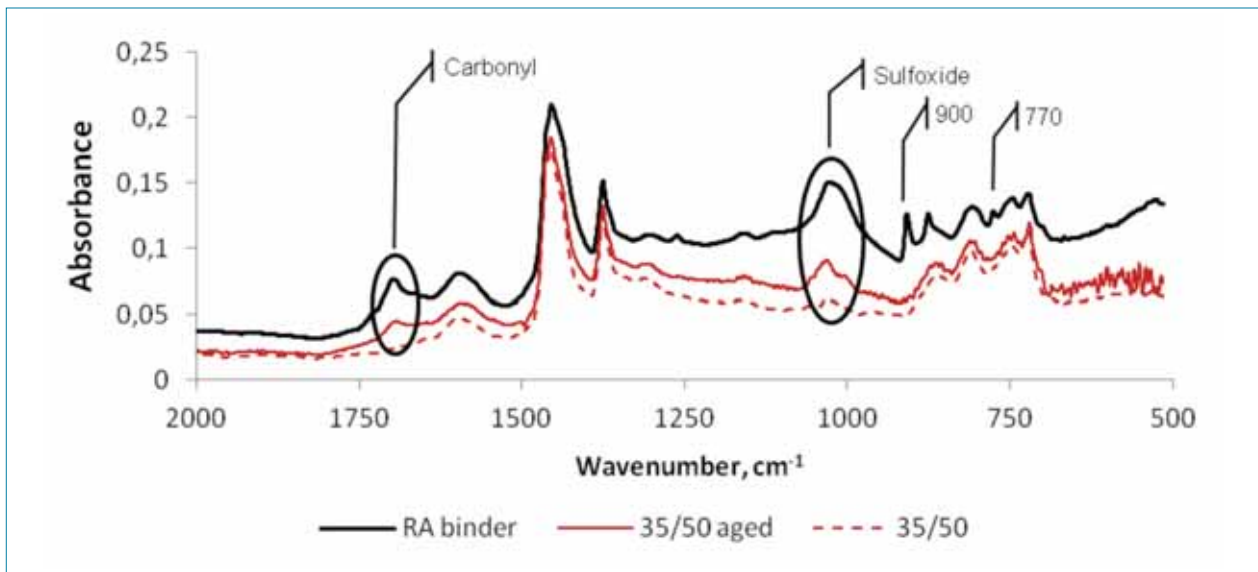


Figura 3. Comparación FTIR del ligante de RA, ligante virgen 35/50, y ligante envejecido en el laboratorio.

30% de RAP. Ambas mezclas contenían un 30% del ligante de RAP y un 70% de un ligante virgen. En la Mezcla 1, el ligante virgen blando 70/100 se usó para compensar el contenido de ligante procedente del fresado. En la Mezcla 2, el ligante del RAP fue pre-tratado con un 10% del agente rejuvenecedor antes de la combinación con el ligante virgen estándar 35/50. También se realizó un cálculo para una Mezcla 3 teórica entre un 30% de ligante del RAP y un 70% de ligante virgen 35/50 y se usó como mezcla de referencia.

Las Mezclas 1 y 2 se caracterizaron por el valor de penetración, punto de reblandecimiento, y viscosidad dinámica de acuerdo con las normas EN. Los resultados se comparan con las propiedades del ligante envejecido no tratado, el ligante virgen 35/50, y los resultados calculados para la Mezcla 3 en la Tabla 2 y Figura 4.

Como puede verse en la Figura 4, el cálculo de referencia para la Mezcla 3 resultó en un grado a la derecha de la casilla 20/30. Como tal, la mezcla es todavía demasiado du-

Tabla 2. Caracterización de las Mezclas 1 y 2 de ligante y la referencia calculada Mezcla 3, frente al ligante del fresado no tratado y el ligante virgen 35/50.

	Penetración a 25°C, 0.1 mm	Punto de reblandecimiento, °C	Índice de penetración	Viscosidad, mPa/s			
				135°C	150°C	180°C	200°C
Ligante del RAP	7	93*	1,9	17780	4830	899	653
Ligante virgen 35/50	41	53	-1,0	643	311	103	
Mezcla 1 con ligante virgen 70/100	37	58	-0,1	940	435	131	72
Mezcla 2 con agente rejuvenecedor	38	55	-0,6	947	438	133	73
Mezcla 3 con ligante virgen 35/50 (valores calculados)	24	68	0,3				

\* Punto de reblandecimiento medido en glicerol

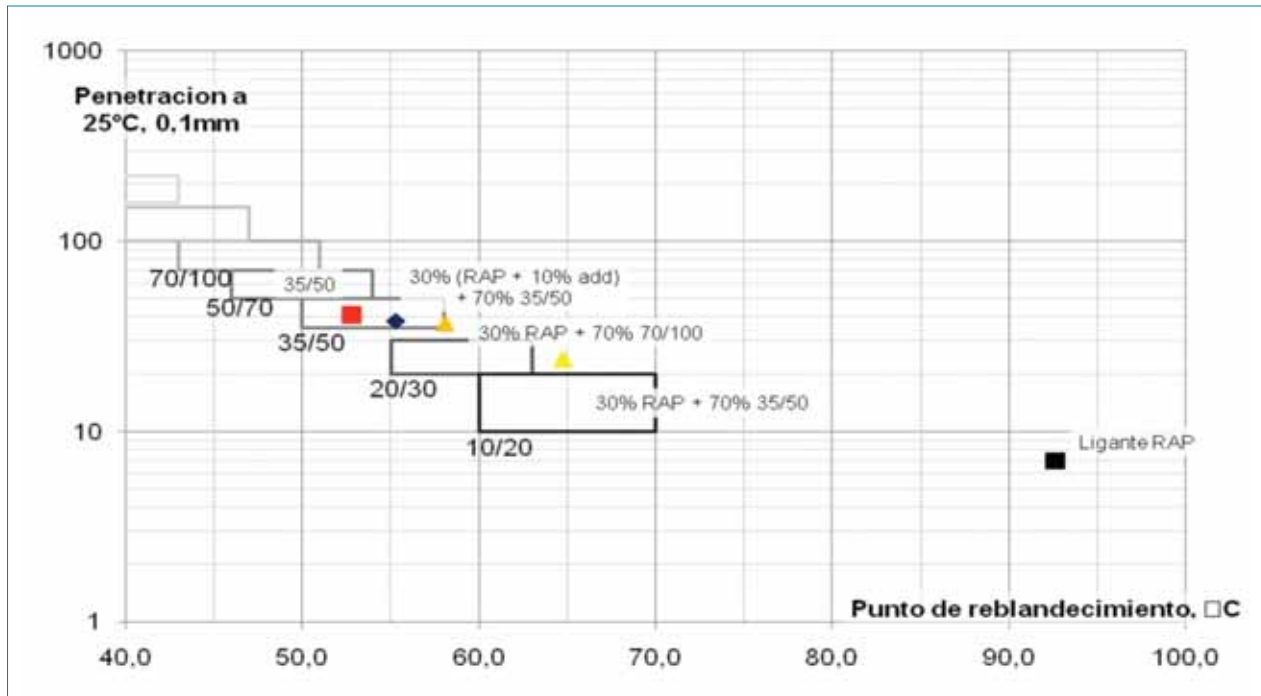


Figura 4. Caracterización de las dos Mezclas 1 y 2 de ligante y la referencia calculada Mezcla 3, frente al ligante del fresado no tratado y el ligante virgen 35/50.

ra para usarse en una mezcla bituminosa estándar. Por tanto, la Mezcla 3 demuestra que una mezcla con el 30% de fresado con ligante estándar 35/50 creará una mezcla de asfalto quebradiza que no cumplirá con las especificaciones.

La Mezcla 1 con ligante virgen blando 70/100 crea una mezcla más blanda que la referencia calculada Mezcla 3. Las propiedades de la Mezcla 1 están justo dentro de la casilla de especificación 35/50, y el punto de reblandecimiento está al límite. Como tal, las propiedades del ligante envejecido no son totalmente asimilables a las del ligante virgen 35/50.

Finalmente, la Mezcla 2 generó una mezcla similar al 35/50. Por tanto, cuando un ligante procedente de fresado seriamente envejecido es pre-tratado con un agente rejuvenecedor, puede incorporarse un 30% del ligante del RAP sin ajuste en el grado del ligante virgen.

Como puede verse en la Figura 4, el agente rejuvenecedor ayuda a movilizar el ligante del RAP en la mezcla reduciendo la viscosidad, si lo comparamos con el ligante procedente del fresado sin tratar. La mezcla que contiene el agente rejuvenecedor tiene una viscosidad en el mismo rango que el ligante virgen 35/50, asegurando el debido recubrimiento de los áridos vírgenes en la mezcla final.

### 5. Evaluación de la mezcla bituminosa

#### 5.1 Tipo de mezcla

Basándose en los resultados del ligante, se evaluaron posibles métodos de rejuvenecimiento en mezclas en el laboratorio con el 30% de fresado. Durante la producción en la planta de mezcla, el RAP puede introducirse frío o después de ser precalentado. Para mezclas que contienen más del 50% de fresado, se prefiere el calentamiento, pero ambos procesos pueden ser apropiados para mezclas con el 30% de RAP. Por consiguiente las muestras realizadas en el laboratorio fueron las siguientes:

- Mezcla A: con el 30% de RAP incorporado frío + aditivo rejuvenecedor, y un betún virgen 35/50
- Mezcla B: con el 30% de RAP calentado, + aditivo rejuvenecedor, y un betún virgen 35/50
- Mezcla C: con el 30% de RAP incorporado frío, con un betún blando 70/100
- Mezcla D: con el 30% de RAP incorporado frío, con un betún virgen 35/50
- Mezcla E: mezcla en blanco sin reciclado con un betún virgen 35/50

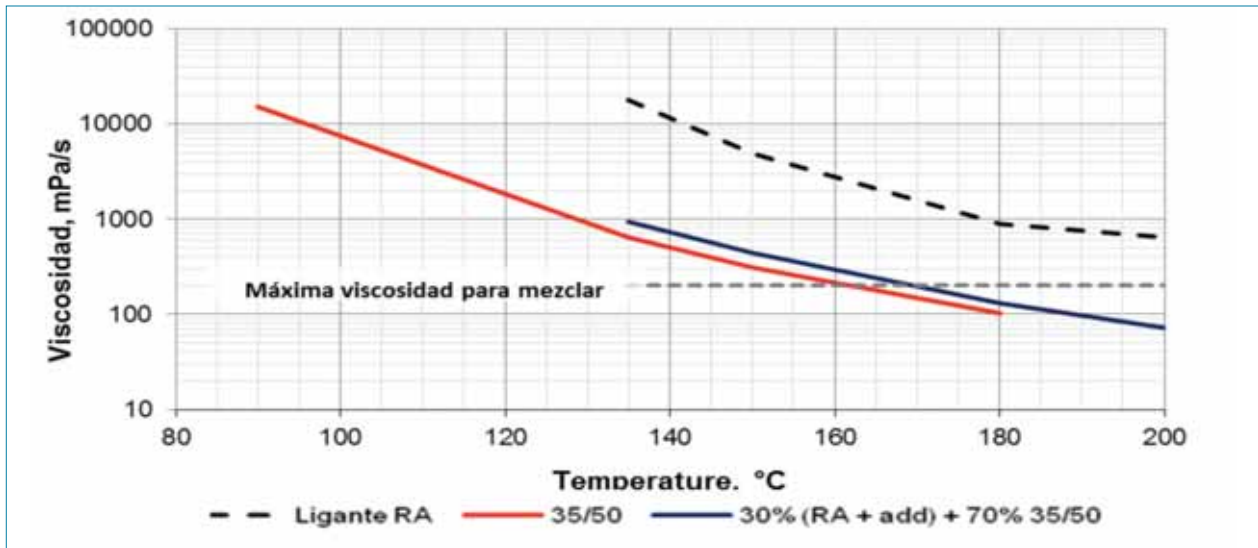


Figura 5. Perfil de viscosidad de la Mezcla 2 con el agente rejuvenecedor, frente al ligante del RAP sin tratar y el ligante virgen 35/50.

Todas las mezclas fabricadas eran AC 16 BIN 35/50, con un contenido de betún 35/50 del 4,3%. El contenido de ligante del fresado era de 3.57% B/M. El porcentaje del aditivo rejuvenecedor se estableció en el 0.3% del fresado (3 g por kg de RAP), una dosificación que se pretendió fuera similar al efecto de usar el ligante virgen 70/100. La curva gra-

nulométrica obtenida y la granulometría del fresado empleado para todas las mezclas es la que se puede observar en la Tabla 3, así como las proporciones de cada una de las fracciones utilizadas. La curva granulométrica fue diseñada para que se aproximara lo más posible a la Mezcla E de referencia con todos los materiales vírgenes.

Tabla 3. Granulometrías de los áridos, RAP, y mezclas finales.

Arido Tamices	< 0,063 2	0/4 30	4/12 27	12/20 11	RAP 30	% Mezcla
31,5	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
22,4	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
16	100	100,0	99,4	82,2	93,0	95,6
12,5	100	100,0	89,4	11,5	87,0	82,7
8	100	100,0	41,3	0,9	74,0	64,7
4	100	94,6	10,7	0,1	53,0	48,6
2	100	66,1	0,4	0,1	37,0	32,7
0,5	100	24,7	0,2	0,1	19,0	15,0
0,25	100	12,7	0,2	0,1	14,0	9,9
0,125	100	5,0	0,2	0,1	11,0	6,8
0,063	100	2,7	0,1	0,0	7,7	5,1

## Empleo de rejuvenecedores en reciclado de mezclas bituminosas



Figura 5. Pretratamiento del RAP con el aditivo rejuvenecedor.

El proceso de mezcla empleado está basado en la norma EN 12697-35, considerando los siguientes aspectos:

- Cuando se incorpora el fresado precalentado, calentarlo hasta la temperatura de 130° C en estufa.
- Calentar el árido virgen hasta una temperatura de 225° C para el RAP a temperatura ambiente, y 175° C para el RAP precalentado.
- Mezclar el RAP con 0,3% del agente rejuvenecedor.
- Mezclar el RAP aditivado con el árido virgen, mezclando durante 35 segundos.
- Incorporar el betún virgen y mezclar.

Como la cantidad de producto rejuvenecedor era muy pequeña, se decide incorporar el producto por dispersión me-

dante vaporización, como se muestra en las siguientes fotografías en la Figura 5.

La impresión visual de las mezclas es idéntica en las cinco muestras, sin diferenciación aparente.

### 5.2 Análisis volumétrico

Se realizó un análisis volumétrico en muestras preparadas por compactación Marshall con 75 golpes para las cinco mezclas. Los resultados se presentan en la Tabla 4. Considerando las precisiones de la prueba, todas las mezclas bituminosas produjeron resultados similares y satisficieron el mismo rango de valores que la mezcla bituminosa de referencia.

Nótese que las cuatro mezclas con un 30% de RAP tuvieron un contenido de huecos ligeramente inferior que la Mezcla E de referencia. En general, la molienda y trituración crean una mayor tasa de polvo en el fresado. A pesar del hecho de que un 7.7% de este fresado pasó por el tamiz de 0.063 mm, su uso no tuvo un impacto significativo en el contenido de huecos en estas cuatro mezclas de laboratorio.

Si bien todos los valores de estabilidad Marshall están dentro de especificaciones, la Mezcla E con todos los materiales vírgenes tuvo la estabilidad Marshall más baja. Todas las mezclas de asfalto que contenían fresado obtuvieron valores de estabilidad Marshall mayor comparadas con la mezcla bituminosa de referencia. Cabe destacar que la Mezcla B, con

Tabla 4. Análisis volumétrico y ensayo Marshall para las 5 mezclas.

Parámetro:	Norma	Mezcla A	Mezcla B	Mezcla C	Mezcla D	Mezcla E	Unidad
Contenido de ligante	EN 12697-1	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	%
Densidad máxima	EN 12697-5	2546	2535	2542	2542	2549	kg/m <sup>3</sup>
Densidad aparente	EN 12697-6	2455	2434	2449	2440	2430	kg/m <sup>3</sup>
Huecos mezcla	EN 12697-8	3,6	4,0	3,7	4,0	4,7	%
Huecos áridos	EN 12697-8	15,2	14,9	14,9	14,3	15,2	%
Huecos rellenos	EN 12697-8	76,4	73,9	75,4	72,2	69,4	%
Estabilidad	EN 12697-34	16,0	17,9	15,3	17,0	14,5	kN
Deformación	EN 12697-34	2,6	2,4	2,5	2,5	2,5	mm

Tabla 5. Deformación permanente y sensibilidad al agua para las cinco mezclas de asfalto.

Parámetro:	Norma	Mezcla A	Mezcla B	Mezcla C	Mezcla D	Mezcla E	Unidad
Huecos mezcla	EN 12697-8	3,6	4,0	3,7	4,0	4,7	%
Resistencia a tracción directa probetas en seco	EN 12697-23	2,72	2,66	2,64	2,75	2,41	kPa
Resistencia a tracción directa probetas en húmedo	EN 12697-23	2,70	2,35	2,17	2,55	2,34	kPa
Sensibilidad al agua	EN 12697-12	99,0	88,4	82,2	92,9	97,3	%
Ensayo de rodadura, WTS <sub>AIR</sub>	EN 12697-22	0,05	0,05	0,05	0,05	0,11	mm

Nota \*: Todos los valores especificados en la tabla, están realizados sobre mezclas bituminosas fabricadas en el laboratorio

fresado incorporado en caliente y agente rejuvenecedor, presentó el valor más alto, especialmente cuando se compara con las Mezclas A y C con fresado incorporado en frío. Esto indica que con un valor de viscosidad más alto para el ligante procedente del fresado, una temperatura baja de incorporación del RAP no es suficiente para fluidificar el ligante y que se mezcle debidamente con el nuevo ligante virgen, Por tanto, el RAP se podría llegar a considerar en la mezcla como "roca negra" recubierta de ligante blando.

### 5.3 Caracterización de la mezcla estándar

Después del análisis volumétrico las cinco muestras fueron caracterizadas más a fondo por medio de deformación permanente y la sensibilidad al agua, de acuerdo con las normas de ensayo EN 12697-22 y EN 12697-12. Los resultados se presentan en la Tabla 5.

Todos los resultados de sensibilidad al agua cumplieron las especificaciones. Las Mezclas A y D, con la incorporación del fresado en frío, ligante virgen 35/50, y con/sin el agente

rejuvenecedor, tuvieron las resistencias secas más altas, y la Mezcla B, con incorporación de fresado precalentado y el agente rejuvenecedor, presentó un valor intermedio. Debido a que la clasificación de las mezclas fue diferente entre los resultados de la resistencia seca y la estabilidad Marshall, evaluamos más a fondo el módulo de rigidez para estas mezclas.

Por lo que respecta a la deformación permanente, todas las mezclas que contenían un 30% de RAP produjeron mejores valores que la Mezcla E de referencia. Una mejor resistencia a la rodada es una ventaja conocida de mezclas de asfalto que contienen RAP.

### 5.4 Más caracterización mecánica

Las cinco muestras fueron evaluadas más a fondo con respecto al módulo de rigidez de acuerdo con EN 12697-26 a 20°C, y el ensayo de fatiga de acuerdo con EN 12697-24 anexo D a 20°C y 10 Hz. Los resultados se presentan en la Tabla 6.

El módulo de rigidez y el rendimiento de fatiga son ambos importantes para el diseño del pavimento. Para un espe-

Tabla 6. Módulo de rigidez y ensayo de fatiga de las cinco mezclas.

Parámetro:	Norma	Mezcla A	Mezcla B	Mezcla C	Mezcla D	Mezcla E	Unidad
huecos mezcla	EN 12697-8	3,6	4,0	3,7	4,0	4,7	%
Ensayo de rigidez	EN 12697-26	9 900	10 500	7 300	10 900	6 800	MPa
Fatiga, $\epsilon_6$	EN 12697-24	114	135	122	103	136	$\mu\text{m}/\text{m}$

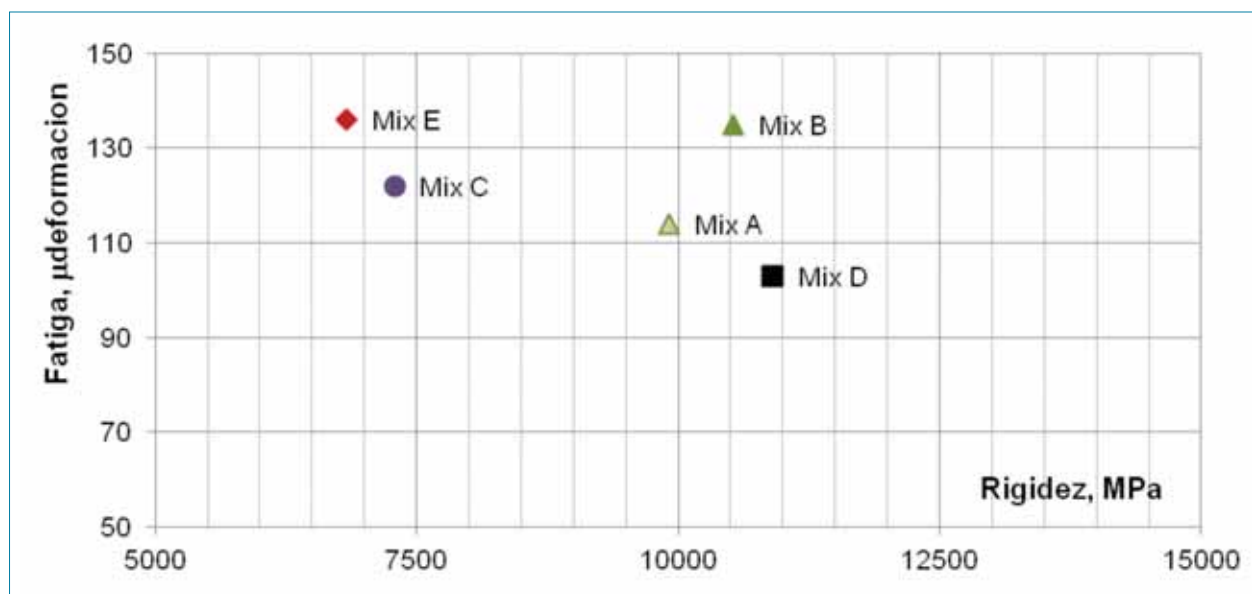


Figura 6. Deformación de fatiga ( $\epsilon\epsilon$ ) en función del módulo de Rigidez (E) para las cinco mezclas.

sor dado del pavimento, un módulo más alto producirá una mejor distribución de carga dentro de la estructura, y por tanto una menor deformación. La combinación de ambos parámetros determina la vida prevista de diseño del pavimento, y ambos parámetros se incluyen para las cinco muestras en la Figura 6.

La Mezcla E, mezcla de asfalto de referencia con 0% de RAP, presentó el mejor rendimiento de fatiga y el módulo de rigidez más bajo. La Mezcla D, la mezcla de asfalto de control con un 30% de RAP y ligante virgen 35/50, presentó el peor rendimiento de fatiga y el módulo de rigidez más alto. Como era de esperar, las mezclas que contienen fresado no tratado sin ajustes de grado con ligante virgen son más rígidas y más frágiles.

Comparativamente, la Mezcla C, la mezcla de asfalto con un 30% de RAP y un 70% de ligante virgen blando 70/100, mostró un módulo de rigidez similar comparado con la mezcla virgen de referencia, pero exhibió una resistencia a la fatiga algo más baja. Las Mezclas A y B, las mezclas de asfalto con el agente rejuvenecedor, retuvieron el beneficio de un módulo de rigidez más alto del RAP. Nótese que el agente rejuvenecedor tiene un mayor efecto sobre la flexibilidad del asfalto que en la reducción del módulo. La Mezcla B demuestra que la resistencia de fatiga con el agente rejuvenecedor es similar a la Mezcla E de referencia cuando el RAP de la mezcla se procesa en caliente.

En términos de diseño del pavimento, un módulo más alto conduce a valores de deformación más bajos dentro de la estructura del pavimento. Para dos mezclas con el mismo criterio de deformación de fatiga, la que tiene un módulo más alto tendrá una vida más duradera. Por tanto, el agente rejuvenecedor puede mejorar la durabilidad y la vida del pavimento frente al uso de ligante blando.

### 6. Conclusión

La reutilización de fresado en mezclas bituminosas en caliente se ha hecho cada vez más importante en España. Mientras que las especificaciones actuales autorizan hasta un 50%, la reutilización se limita frecuentemente a un 15-20%. El fresado en España es muy duro, y por tanto, métodos para utilizar porcentajes más altos de RAP en otros países europeos no pueden usarse directamente en España.

La habilidad de asegurar un rendimiento satisfactorio de la mezcla con un porcentaje mayor del 20% de fresado es un paso importante. En particular, las mezclas diseñadas con un 20-30% de RAP y ligante blando están ya en el límite, sin la adición de rejuvenecedores.

Por lo tanto, para incorporar porcentajes superiores al 30% de RAP, se requiere el empleo de aditivos rejuvenecedores que restauren las propiedades del ligante procedente del fresado.



Este estudio se centró en producir una mezcla de calidad con un 30% de RAP. Se consideraron dos métodos de asegurar buena calidad, con el uso del aditivo de rendimiento SYLVAROAD™ RP 1000 de Arizona Chemical con un desempeño igual o mejor que el del ligante blando 70/100. Se consideraron ambas opciones en cuanto al análisis volumétrico, estabilidad Marshall, sensibilidad al agua, y caracterización avanzada tal como la deformación plástica, rigidez y fatiga. En todos los casos, las mezclas podrían diseñarse para cumplir con la especificación para todos los métodos, pero las mezclas con el agente rejuvenecedor ofrecieron mejores características.

Mientras que este estudio se centró en mezclas con un 30% de fresado, existe una oportunidad para usar el conocimiento ganado para incorporar mayores porcentajes de fresado (>50%) con la debida configuración de la planta, en particular si el fresado se precalienta. El conocimiento ganado en combinación con el agente rejuvenecedor permitirá el uso de un porcentaje mayor del 30% de fresado con la tecnología de calentamiento en planta y en el lugar de aplicación.

## 7. Bibliografía

- Artículo 22 PG-4 Reciclado en central caliente. (n.d.). Del Pozo, J., & Querol, N. (2012). Comportamiento del sistema betún viejo-betún rejuvenecedor en reciclado a altas tasas. *Asfalto y Pavimentación*, Número 5
- EAPA. (n.d.). Asphalt in Figures. Descargado el 15 de abril de 2014, de <http://www.eapa.org/asphalt.php>
- FEHRL. (n.d.). Direct-MAT. Descargado el 15 de abril de 2014, de <http://direct-mat.fehrl.org>
- Karlsson, R., & Isacsson, U. (2006). Material-Related Aspects of Asphalt Recycling—State-of-the-Art. *Journal of Material and Civil Engineering*, 18(1), 81-92
- Ministerio de Transporte. (n.d.). PG4 Reciclado en central en caliente de capas bituminosas. Descargado el 15 de abril de 2014, de [http://www.carreteros.org/normativa/pg4/articulos/a\\_22.htm](http://www.carreteros.org/normativa/pg4/articulos/a_22.htm)
- Petersen, J. C. (2009). A review of the fundamentals of asphalt oxidation. *Transportation Research Circular*, E-C140
- PG-3. (n.d.). Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes
- Porot, L., & Nigen-Chaidron, S. (2007). Laboratory investigation of recycled binder performance. 6th LJMU International conference on Sustainable Construction Materials
- Proyecto Fénix. (n.d.). Proyecto Fénix. Descargado el 15 de abril de 2014, de <http://www.proyectofenix.es>
- Querol, Nuria; del Pozo, Julio (2011). Las 10 grandes respuestas sobre reciclado. *Asfalto y Pavimentación*, Número 3
- Read, J., & Whiteoak, D. (2003). *The Shell Bitumen Handbook*, Fifth edition. London: Thomas Telford Publishing

*SYLVAROAD™ es una marca registrada, registrada en los Estados Unidos y/u otros países, de Arizona Chemical Company, LLC. © Copyright 2014 Arizona Chemical Company, LLC. Reservados todos los derechos.*

#7

## AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

La reutilización total de las mezclas asfálticas es posible con la técnica de reciclado templado con emulsión a tasa del 100%

#SOSTENIBILIDAD\_Y\_MEDIO\_AMBIENTE



## Abrimos paso a nuevas ideas

¿Una carretera que descontamina el aire que respiramos?  
¿Residuos domésticos reciclados en áridos para la carretera?  
¿Pavimentos que en su fabricación ahorran energía y reducen la emisión de gases? ¿Pavimentos que absorben el ruido del tráfico? Hasta hace poco, estas ideas eran pura ficción. Actualmente ya tienen nombre: Noxer®, Tempera®, Viaphone®..... y se utilizan diariamente con éxito. Para imaginar carreteras de mañana, creemos en las nuevas ideas, incluso en las más sorprendentes, por eso innovamos.



# Mezclas templadas con reutilización del RAP con tasa alta y tasa total. Aplicación, experiencias reales y resultados

En la conservación de los firmes bituminosos son frecuentes actuaciones de fresado de las capas deterioradas y su reposición con mezclas nuevas. El fresado genera un material (RAP) de un gran valor técnico y económico, en especial si afecta a las capas superiores, cuya reutilización, dado el valor de los materiales constituyentes, sería muy conveniente en la propia reposición, en cuyo caso se precisarían mezclas recicladas, que incorporen ese material, con prestaciones equivalentes a una mezcla nueva. El RAP producido sólo se absorbería en la reposición con una tasa de reciclado muy alta ó total, más allá de lo conseguible con el reciclado en caliente convencional. De ahí el desarrollo de una nueva mezcla con tasa total de reciclado, reutilizando el 100% de RAP, con un alto nivel de prestaciones mecánicas y funcionales para su empleo en las capas de reposición y fabricada a baja temperatura, a menos de 100° C. Desarrollo que incluye un nuevo método de diseño, que se puede aplicar también a mezclas con tasa alta de reciclado, desde 50%.

**Palabras clave:** reciclado, baja temperatura, método de diseño

In the asphalt pavements preservation mill-and-fill operation is a common solution, with the removal of the top one or two deteriorated layers and its replacement with new asphalt. The milling operation generates a material (RAP), with high technical and economic value, especially when it comes from the top layers, whose reuse would be highly desirable in their own replacement. In that case, it would require a recycled mix, incorporating such material, with equivalent performance to those that would have a new asphalt mix. To reuse the maximum RAP produced during milling, it would take a very high, or total, recycling rate, beyond what can be achieved with a conventional hot recycling plant. So, the development of an asphalt mix that allows the use of a 100% of RAP, with a high level of mechanical and functional performances for use in the various layers as a replacement, and manufactured at a temperature below 100° C, characteristics that additionally have led to a new design method.

**Keywords:** milling, low temperature, design method

Jacinto Luis García Santiago, jacintoluis@outlook.com

Francisco José Lucas Ochoa, fjucaso@repsol.com  
Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.

## 1. Introducción

La preservación del patrimonio viario exige operaciones planificadas de mantenimiento, entre las que una parte muy importante corresponden a la conservación y rehabilitación de

su pavimento, con objeto de mantener unos niveles adecuados en su respuesta funcional y estructural.

La tipología de firme más extendida es aquella en la que las capas superiores están constituidas por mezclas bituminosas; para su mantenimiento, una solución habitual y frecuente es la de fresado, retirada de las capas deterioradas y envejecidas y su sustitución (reposición) por mezclas bituminosas de nueva fabricación. Este fresado genera un producto, comúnmente denominado como RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), que está constituido por materiales con un valor técnico y económico muy alto, por lo que su reutilización ó reciclado es muy conveniente.

## Mezclas templadas con reutilización del RAP con tasa alta y tasa total. Aplicación, experiencias reales y resultados

En el caso de que el RAP provenga de capas de rodadura o intermedia, con mayor calidad de los materiales constituyentes, hace deseable su reutilización en capas con la misma funcionalidad, para aprovechar el valor de los mismos. Si el material de un fresado de capas de rodadura, por ejemplo, se destina a mezclas recicladas para capas de base se estaría desaprovechando la mayor calidad de los áridos exigidos en aquella.

Una 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.

Mezclas utilizables en la reposición, y que puedan incorporar RAP, se encuentran las mezclas recicladas en caliente en planta. No obstante, su tasa de reciclado está limitada (a un 50-60% como máximo <sup>1</sup>) 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 con emulsión; sin embargo presentan algunas limitaciones debidas a los períodos de curado y a sus prestaciones mecánicas en los primeros momentos tras su puesta en obra, aunque son indudables sus ventajas de tipo medioambiental.

Así, en la mayoría de los casos, el excedente de material de fresado no reutilizado da lugar a un residuo.

Por ello, es de gran interés el desarrollo de soluciones con mezclas que permitan incorporar tasas hasta alcanzar una tasa total, al 100% y que, a la vez, tenga un alto nivel de prestaciones mecánicas y funcionales, en modo de permitir su empleo en las capas de reposición.

Paralelamente, en los últimos años en España, han entrado con fuerza tecnologías enfocadas a la reducción de temperaturas en la fabricación y aplicación de mezclas bituminosas, por las ventajas aportadas en reducción de emisiones, eficiencia energética y mejora en las condiciones laborales de los operarios de esta industria son las conocidas mezclas templadas con emulsión bituminosa, las cuales se fabrican y aplican por debajo de los 100° C, con unas magníficas prestaciones en lo relativo a puesta en obra y durabilidad.

Estas dos tendencias en desarrollos de mezclas bituminosas para construcción y conservación de carreteras es lo que ha

llevado a Sacyr y a Repsol, a explorar, abordar y desarrollar, esta tecnología específica, que combina: reciclados a tasa total y reducción significativa de las temperaturas de aplicación.

Además otro de los desarrollos en diseño de mezclas es su aplicación a la producción de mezclas templadas recicladas con tasas altas de RAP, en el rango del 50%, con tecnologías más comunes de fabricación.

En este trabajo se presentan las tres grandes líneas de trabajo y los logros alcanzados en cada una:

- Desarrollo de un nuevo método de caracterización y diseño adecuado de las mezclas templadas con emulsión y RAP.
- La metodología de producción
- Experiencias a escala real de este tipo de mezclas

### *2. Desarrollo de un procedimiento para el diseño y caracterización de mezclas recicladas templadas con RAP*

#### *2.1 Introducción y planteamiento de su desarrollo*

En el estudio de las mezclas templadas con tasa total de reciclado, se ha detectado la carencia de un procedimiento adecuado para su diseño y caracterización en laboratorio.

Un aspecto específico de estas mezclas es que el rango de temperaturas previstas para su compactación (70-85 °C), se situaría, en general, por encima del punto de reblandecimiento del ligante viejo del RAP. Por ello, los gránulos del RAP (árido "negro", "black rock") que componen la totalidad de la mezcla, al ser compactados presentarían un comportamiento plástico, deformándose, alejándose del comportamiento de sólido rígido que muestran los áridos, tanto en las mezclas en frío (también el RAP en los reciclados en frío a baja temperatura) como en las mezclas en caliente y reciclados en caliente (en los que se llega a la temperatura de fusión del ligante).

Por ello el estudio se basó en desarrollar una metodología que permita obtener en laboratorio resultados comparables posteriormente en obra.

Para asegurar la veracidad en la reproducibilidad de los resultados obtenidos en el laboratorio, se procede a com-

<sup>1</sup> No se contempla la técnica muy minoritaria, de empleo de plantas con calentamiento por microondas, que permiten tasa total.

rarlo con valores obtenidos en obra a través de testigos extraídos de la obra.

Este desarrollo se ha planteado con varias etapas interrelacionadas:

- Estudios previos de laboratorio para caracterización del fresado, estudio y elaboración de probetas con distintos metodologías, análisis de las propiedades de la mezcla y elección de una formulación para prueba preliminar de campo.
- Fabricación y puesta en obra de mezcla desarrollada en el laboratorio, con diversos espesores de capa y testificación de la misma. Retroanálisis a partir de los especímenes obtenidos, a efectos de identificar parámetros definitorios de la energía de compactación en laboratorio de probetas y metodología a seguir.

Así, una vez validado el procedimiento, ya se podría proceder a definir y concretar la metodología de diseño más adecuada.

Posteriormente, sobre las mezclas extendidas, sería necesaria una etapa de realización y seguimiento de tramos de ensayo. En el esquema siguiente se secuencian las fases indicadas.

## 2.2 Definición de las condiciones de fabricación y normativa de ensayo

Empleando RAP de fresados de distintas procedencias (diferentes en cuanto a composición granulométrica y estado de envejecimiento del ligante) y diferentes emulsiones, en cuanto al tipo de ligante residual final, grado de concentración y agentes de control de rotura, se han combinado con diversas dosificaciones para la obtención de mezclas.

Con cada una de ellas, en primer lugar se ha procedido al estudio de envueltas, manejabilidad, temperaturas de mezcla y compactación. De todas las condiciones ensayadas, se eligió la que podría considerarse cercana a unas condiciones convencionales de obra; como consecuencia se fijó para la mezcla templada la temperatura de la emulsión en 50° C, la de calentamiento del RAP entre 90-100° C, la de mezcla entre 80-90° C y la de compactación sobre 70° C.

Se han utilizado y comparado varios sistemas de compactación de probetas que pueden existir en un laboratorio tipo (Compresión estática por doble émbolo NLT-162, Prensa giratoria UNE EN 12697-31 e Impactos UNE EN 12697-30), a diferentes energías, con diferentes tipos de emulsión (rejuvenecedora, alta con-



## Mezclas templadas con reutilización del RAP con tasa alta y tasa total. Aplicación, experiencias reales y resultados

centración, ligante convencional...), para determinar cuál es el sistema más idóneo y cuál es la energía de compactación para obtener probetas con un nivel de huecos finales que sean representativos con lo que se va obtener a escala real.

Las probetas obtenidas se han ensayado para obtener sus propiedades mecánicas (Módulo de rigidez a tracción indirecta, a 20° C, según UNE EN 12697/26 Anexo C, Resistencia a tracción indirecta, a 15° C, según UNE EN s/ 12697/23), contenido de huecos, resistencia a la acción del agua, etc y compararlas con las de testigos obtenidos de obra.

Tras estos estudios previos, se seleccionó una formulación con un 3% de emulsión rejuvenecedora para realizar el primer tramo de prueba a escala real, para testificación.

Aunque la mezcla reciclada templada es totalmente diferente a una reciclada en frío, con el único fin de tener valores de referencia para comparar con los que marca la Tabla 20.2 del

PG4 para Reciclado en Frío con Emulsión, se realizó el ensayo de Inmersión-Compresión según NLT 162 y NLT 161, obteniendo unos valores de resistencia en seco de 4.7 Mpa, resistencia en húmedo de 4.4 Mpa y un porcentaje de resistencia conservada del 93,6%, todos ellos muy superiores a los mínimos exigidos para la mayor de las categorías de tráfico pesado.

Se ha desarrollado un procedimiento de diseño y caracterización de un Reciclado Templado con Emulsión, realizándose los trabajos necesarios en los laboratorios del Centro Tecnológico de Repsol y de Sacyr.

### 2.3 Tramos de prueba

Con la mezcla seleccionada citada se realizó una prueba a escala real, con fabricación, extensión y compactación en octubre de 2010.



Figura 1: Fotografías del tramo de prueba inicial para testificación y retroanálisis (Octubre 2010).



Figura 2 : Segundo tramo de prueba para validación del diseño (Junio 2011).

Se extendieron dos franjas con distintos espesores de mezcla, empleándose compactación convencional, con rodillo metálico vibrante y un compactador de neumáticos, con temperatura de mezcla, al inicio de compactación, alrededor de los 80° C.

Para comparar con los resultados de laboratorio se procedió al día siguiente del extendido a la extracción de testigos sobre los que se midieron espesores, densidades, módulos de rigidez a tracción indirecta y resistencias a tracción indirecta en seco.

Este análisis indicó que de los diferentes tipos de compactación analizados en el laboratorio, con la compactación giratoria se obtuvieron unas densidades y propiedades mecánicas similares a las conseguidas en obra. A partir de aquí se establece la energía de compactación más adecuada para el diseño.

Para confirmar los resultados se realizó un segundo tramo, a escala real, para la comprobación de la mezcla fabricada y de la resultante en la capa, en relación con la previsión de la formulada en laboratorio.

Los resultados indicaron la idoneidad del procedimiento.

## 2.4 Procedimiento de diseño

Este procedimiento es aplicable a mezclas con una tasa mínima de material procedente de fresado de mezclas bituminosas del 80%, admitiéndose hasta un 20% de árido virgen, por si es preciso su adición para corregir alguna característica.

El proceso de diseño se describe en el diagrama reflejado en la Figura 3.

### Caracterización del fresado y granulometría de la mezcla

El RAP se caracteriza mediante la granulometría de la mezcla (en blanco) y con el contenido y tipo de ligante. Debido al desmenuzamiento del RAP que se efectúa en el mezclador de la plan-



Figura 3 .- Esquema de diseño.

ta al estar a una temperatura por encima de la de reblandecimiento de su ligante, no se considera útil la granulometría en negro (como se haría en los reciclados en frío con emulsión).

Sobre el ligante se determina su contenido de betún, y sobre el residuo extraído la penetración y punto de reblandecimiento.

Sobre el árido obtenido de la extracción se determinan sus propiedades a efectos de validar su utilización (salvo constancia de esos datos en las mezclas fresadas).

Con ello, se definen los tramos homogéneos en modo similar a lo especificado en el apartado 22.2.3.1 del Artículo 22 (Reciclado en caliente) del PG.4

### Elaboración y curado de probetas:

La mezcla se realiza con el RAP calentado a 95° C +/- 5C y la emulsión a 50° C.

La compactación de la mezcla se realiza utilizando el compactador giratorio, según UNE EN 12697-31, aplicando 65 giros y evitando compactar en todo momento por debajo de los 70° C.

Las probetas fabricadas se someterán a un periodo de curado de tres días a 50° C en estufa de convección forzada, antes de proceder a la realización de ensayos.

### Ensayos a realizar

Para cada porcentaje de emulsión se realizarán los siguientes ensayos:

# Mezclas templadas con reutilización del RAP con tasa alta y tasa total.

## Aplicación, experiencias reales y resultados

- Determinación de la densidad aparente, según UNE EN 12697-6.
- Determinación densidad máxima, según UNE EN 12697-5.
- Contenido en huecos, según UNE EN 12697-8.
- Determinación de la resistencia a tracción indirecta a 15° C, s/ UNE EN 12697-23.
- Determinación de la sensibilidad al agua a 15° C, según UNE EN 12697-12.
- Modulo de Rigidez a tracción indirecta, según UNE EN 12697-26 Anexo C.

### Elección de la formulación óptima

La determinación del óptimo de trabajo se realiza mediante las curvas de contenido de huecos en mezcla, resistencia a tracción indirecta y módulo de rigidez frente a cada contenido de emulsión.

En la elección de la formulación, se maximizarán las propiedades más deseables, en función de la aplicación prevista ya que los valores de los rangos de las características exigibles aún no están definidos. No obstante, se proponen los siguientes criterios:

- Huecos en mezcla comprendidos entre 2,5 y 4%.
- Resistencia a la tracción indirecta mayor de 2 MPa o de 1,5 MPa, conforme al tipo de tráfico que soportar.
- Sensibilidad al agua, resistencia conservada superior al 90%.

Con el óptimo de ligante calculado, se procede a realizar el ensayo de rodadura, UNE EN 12696-22, compactando las probetas en el compactador de placas según UNE EN 12697-33. La densidad s.s.s de las probetas para el ensayo de rodadura debe ser superior al 98% de la densidad obtenida en las probetas cilíndricas preparadas con 65 giros en la prensa giratoria.

Con los mismos criterios de densidad, en su caso, se realiza el ensayo de fatiga s/ UNE EN 12697-24 (anexo D).

### 3. Estudio de diseño y formulación de una mezcla reciclada a tasa total

Como ejemplo, se describe la aplicación del procedimiento descrito en el diseño de una mezcla reciclada a tasa total para obtener sus características.

### 3. 1 Material de fresado y composición

El material de fresado de mezclas bituminosas (RAP) corresponde al caracterizado y acopiado, proveniente del fresado de mezclas bituminosas de zonas homogéneas de las obras en ejecución en la A1, en la provincia de Burgos.

El ligante recuperado presenta una penetración media a 25° C de 17 dmm y una temperatura de punto de reblandecimiento A&B de 67,3° C.

El RAP antes de su incorporación, se disgrega y se separa y clasifica en dos fracciones, 5/25 mm y 0/5 mm, para ser dosificadas con un control ponderal.

La granulometría en negro resultante, encaja en los husos granulométricos considerados adecuados (Tabla 20.1 del Art. 20 del PG-4).

Por ello se establece que el control de ajuste de la granulometría del RAP se haga con las curvas obtenidas tras extracción de ligante. Así la mezcla de las fracciones del RAP pretratado (fracciones 0/5 y 5/25 mm) se ha analizado mediante análisis granulométrico sin ligante.

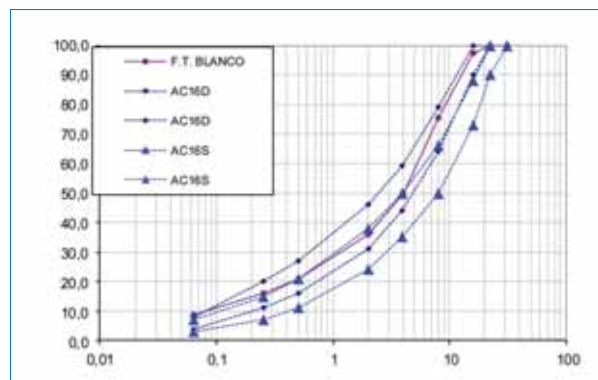


Figura 4 : Huso granulométrico en BLANCO, tras extracción.

La dosificación de RAP empleada para todos los estudios han sido un 40% de 0/5 mm y un 60% de 5/25 mm.

### 3.2 Ligantes

Se han considerado dos tipos de emulsiones, una con ligante residual rejuvenecedor de penetración relativamente alta (160/220) y otra con ligante residual convencional de penetración relativamente baja (50/70), con similares porcentajes de concentración de ligante residual.



Tabla 1: Propiedades de las emulsiones.

Propiedad	Norma NLT	Unidad	Rejuvenecedora	Convencional
Viscosidad Saybolt-Furol 25° C	138	s	26	23
pH	195		3,0	3,0
Contenido de agua	137	%	39,0	38,8
Tamizado	142	%	0,01	0,01
Residuo por destilación	139	%	61,1	61,2
Fluidificante en volumen	139	%	0,0	0,0
Penetración del residuo 25° C, 100 g, 5 s	124	1/10 mm	183	66

Las emulsiones empleadas tienen las características recogidas en la Tabla 1.

### 3.3 Dosificación y características de la mezcla

Una vez evaluados los resultados con cada porcentaje de emulsión y tipo, se obtuvo un porcentaje óptimo del 2,5% para ambas emulsiones. La caracterización de ambas mezclas se resume en las tablas que indican las Tablas 2 y 3.

Se han realizado los ensayos de rodadura (UNE 12697-22), aunque, dado el interés potencial de empleo de estas

mezclas en capas intermedias, en las que hay una reducción sensible de temperatura respecto a la superficie, se profundizó el estudio para conocer la influencia de la temperatura de ensayo (50° C y 60° C) y tipo de emulsión en los resultados de dicho ensayo de pista.

Se ha determinado la ley de fatiga, según UNE EN 12697-24 Anexo D, con el porcentaje óptimo de emulsión convencional y rejuvenecedora, según tipo  $y=a*x-b$ .

La formulación con emulsión de ligante residual B50/70, cuyas características se remarcan en sombreado en las tablas anteriores ha sido la seleccionada para los tramos experimentales.

Tabla 2: Caracterización de mezclas.

	Mezcla reciclada templada	
	ECL2 reju	ECL2 50/70
Tipo de emulsión	ECL2 reju	ECL2 50/70
Contenido de emulsión	2,5%	2,5%
Ensayo de Inmersión-Compresión (NLT162) Resistencia en seco (MPa) Resistencia conservada	4,7 93,6%	
Res. Tracción indirecta a 15° C (Mpa) (UNE EN 12697-23)	1,69	2,13
Resistencia acción del agua, IRC (%)	96,1	97,6
Módulo de rigidez a 20° C a tracción indirecta (Mpa) (UNE EN 12697-26 anexo C)	2.638	2.891
Módulo dinámico a compresión a 20°C (NLT349) (Mpa) / ángulo desfase (°)	8.166 / 17	9.964 / 16,5

## Mezclas templadas con reutilización del RAP con tasa alta y tasa total. Aplicación, experiencias reales y resultados

Tabla 3: Ensayo de Rodadura y Leyes de fatiga.

Parámetros	Mezcla reciclada templada	
Tipo de emulsión	ECL2 reju	ECL2 50/70
Contenido de emulsión	2,5%	2,5%
Ensayo de rodadura (UNE 12697-22)		
WTS a 60° C	0,122	0,109
WTS a 50° C	0,114	0,068
Ensayo de fatiga (UNE EN 12697-24)		
Módulo en flexión (Mpa)	5.936	6.331
$\epsilon_c$	130	143
$y = a * x - b$	a	0,0015
	b	0,177

### 4. Tecnologías de producción de mezclas templadas con RAP

#### 4.1 Reciclados templados a tasa total

Con respecto a otras mezclas bituminosas, las templadas a tasa total de reciclado presentan algunas singularidades y problemas específicos que condicionan de modo importante tanto el proceso de fabricación como las tecnologías que pueden aplicarse. En el caso que se presenta, se han resuelto satisfactoriamente tras un importante desarrollo, orientado a resolver aspectos como:

- **Calentamiento directo del material de fresado (RAP).** Al no poder utilizar el sistema de transferencia de calor desde áridos sobrecalentados, como ocurre con las mezclas recicladas en caliente, el calentamiento del RAP se hizo directamente con los gases del tambor secador, pero con un sistema apropiado para evitar sobrecalentar el ligante. Éste es un requisito fundamental, pues una degradación del betún viejo del RAP afectaría muy negativamente a las características finales de la mezcla como un deficiente comportamiento a bajas temperaturas y baja cohesión. Por ello, se comprobó el calentamiento del RAP toman-

do muestras antes y después y comparando sus propiedades entre ambas muestras.

En este caso, el sistema empleado es uno específico para calentamiento del RAP, un tambor calentador de flujo paralelo (el material avanza en el mismo sentido que los gases calientes), con cámara de combustión retrasada, en el que el calentamiento del RAP se hace por gases calientes, pero sin contacto ni proximidad a las llamas del quemador o zonas de alta temperatura. Además, consta de una entrada diferenciada de fracciones de RAP, de modo que la que presenta mayor sensibilidad por su mayor superficie expuesta y contenido de ligante, la fracción fina, se incorpora en la zona más avanzada con menor temperatura.

- **Pegajosidad del RAP caliente.** También se ha procedido al diseño de un método de almacenamiento y dosificación del RAP en la planta discontinua dado los problemas presentados con el ligante entre los 80° C - 100° C.
- **Desmenuzamiento del RAP.** Es clave para conseguir una mezcla adecuada con el ligante nuevo. Este desmenuzamiento se asegura combinando una temperatura en el RAP por encima del punto de reblandecimiento de su ligante junto con la aplicación de una alta energía de mezclado.

- **Clasificación del RAP.** Otro aspecto crítico en una mezcla con tasa de reciclado total, es el de la regularidad de las características del RAP y su fraccionamiento para asegurar la precisión y uniformidad de la composición de la mezcla.

La clasificación del RAP se realizó en dos fracciones (0-6 y 6/25 mm) que se adiciona en la planta con un control ponderal en su proporción en la mezcla a fin de asegurar la regularidad de composición.

Las características más reseñables de la planta de fabricación son:

- Planta de fabricación de mezclas en caliente en proceso discontinuo de 260 tns hora de capacidad, de doble tambor
- Instalación de tratamiento y clasificación del material de fresado, en línea con el proceso de fabricación de mezclas recicladas compuesta de:
  - Reducción de tamaños de material de fresado superiores al especificado (25 mm como estándar) mediante rotor granulador, específico para RAP.
  - Clasificación del RAP en dos fracciones (0/6 y 6/25), almacenamiento temporal en tolvas de regulación para alimentación con control ponderal de cada una.
  - Entrada de fracciones de modo diferenciado en el tambor secador, dando mayor tiempo de residencia a la fracción gruesa para asegurar el calentamiento uniforme de la misma.

- Sistema de by-pass de alimentación de material dosificado, sin paso por el secadero, para incorporación de RAP en frío al mezclador (caso de tasas de 10% de fresado).
- Tolva de almacenamiento de RAP caliente y sistema de pesado, para alimentación discontinua a mezclador.

En la adaptación para fabricación de reciclados templados se ha incorporado:

- Depósitos y circuito de alimentación de emulsión a báscula de ligante.
- Dispositivos adicionales de regulación de aspiración de gases en tambor secador.
- Circuito adicional para recirculación parcial de gases calientes del tambor secador de RAP, para mejora de aspiración, recuperación parcial de energía térmica y sustitución de aire fresco secundario para regulación de temperatura, por aire reciclado pobre en oxígeno.
- Modificaciones en los diseños iniciales de recorrido de RAP caliente para resolución de la pegajosidad más acentuada del RAP en el rango de los 90° - 100° C.

#### 4. 2 Reciclados templados a tasa alta. (≥50%)

En el caso de tasas mayores del 50% en plantas discontinuas con incorporación de RAP frío al mezclador, se puede realizar con un sobrecalentamiento de los áridos, de poco más de 200° C (Figura 8).



Figura 5- Panorámica del sistema de pretratamiento y proceso del RAP.

## Mezclas templadas con reutilización del RAP con tasa alta y tasa total. Aplicación, experiencias reales y resultados

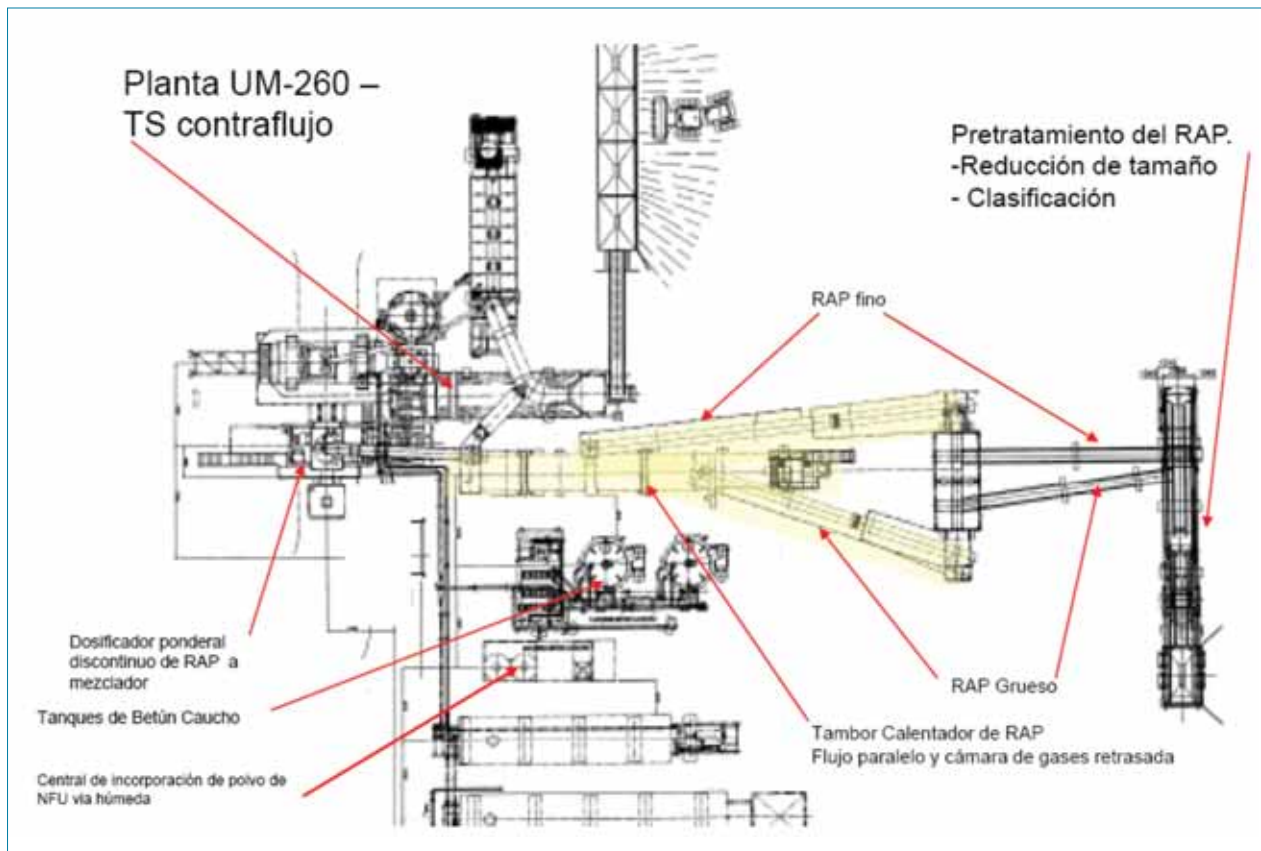


Figura 6- Planta de la disposición de elementos de la instalación.

También con esta tasa es importante tener en cuenta los mismos condicionantes que los indicados para la tasa total, sólo que en este caso hay que tener en cuenta el tiempo necesario de la mezcla en seco de los áridos sobrecalentados y del RAP, previo a la incorporación de la emulsión. Este tiempo adicional supone una reducción del rendimiento, pero es imprescindible para asegurar la homogeneidad del mortero y del ligante en el total de la mezcla.



Figura 7: Fracciones de RAP clasificado: aportación a tolvas dosificadoras.

### 5. Experiencias a escala real de mezcla templada reciclada a tasa total

La mezcla aplicada fue una AC16 D con 100% de RAP procedente del tramo de la Nacional I a rehabilitar utilizando la emulsión con betún base 50/70.

#### 5.1 Tramo Experimental Autovía de Arlanzón (Burgos)

Se propuso y aprobó por la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento la ejecución de un primer tramo experimental dentro de la concesión de las obras de la Autovía A1, en Burgos, que gestiona Sacyr.

Al no existir normativa que indique en qué capas se puede aplicar reciclado templado, y por imperativos contractuales, se ha tenido que ser conservador y aplicar al reciclado templado los criterios que se indican en el apartado 7.4. de la Norma 6.3- IC para los reciclados en frío in situ, a pesar de que las propiedades mecánicas del reciclado templado a ta-

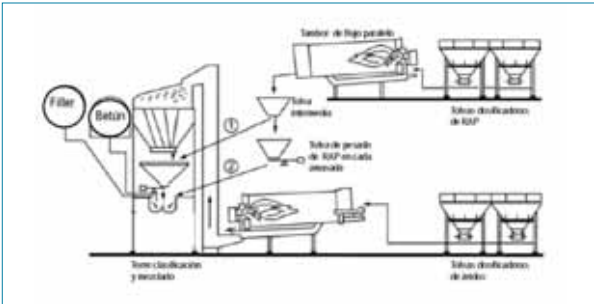


Figura 8 Esquema de fabricación, incorporando RAP clasificado y predosificado al mezclador, con control ponderal.

sa total son superiores. En dicho artículo se indica que para categoría de tráfico T2, se podrá colocar la mezcla reciclada en frío in situ en la calzada, siempre que lleve capa de roda-

dura encima. La sección tipo del tramo experimental consiste en un fresado de 5 cm del firme existente, una reposición con el reciclado total templado y la posterior extensión de una capa de rodadura con mezcla bituminosa convencional, cumpliendo así lo indicado por la Norma 6.3-IC.

Además de la formulación con el 2.5% de emulsión indicadas en el Apdo. 3.3, se dispuso una sección con mezcla con el 3%, a efectos de evaluar su potencial mejora de cohesión y resistencia a la fisuración reflejada al situarse la reposición en una sección de firme semirrígido.

Previamente a la ejecución del tramo aprobado en la Vía de Servicio, se procedió a la realización de otro tramo de prueba, en un vial secundario, en el que se terminaron de ajustar todos los parámetros de la mezcla y proceso de aplicación.



Figura 9: Mezcla reciclada templada a tasa total. Ausencia total de humos. Tª salida mezclador: 94.2°C.



Figura 10: Extendido de la MBT R100 en la capa intermedia de reposición y Termograma de la mezcla a salida de regla.

# Mezclas templadas con reutilización del RAP con tasa alta y tasa total. Aplicación, experiencias reales y resultados

## Características de la Mezcla Reciclada fabricada

El Centro Tecnológico de Repsol realizó la caracterización de las mezclas fabricadas. Se evaluaron muestras de material fresado todo uno, material fresado seleccionado en fracciones 0/6 mm y 6/25 mm, mezcla reciclada templada y testigos extraídos del tramo experimental. Los resultados en el control de los dos tipos de mezclas fabricadas, reflejaron una dosificación precisa de las fracciones de fresado por la planta de fabricación, tanto en la granulometría de mezcla obtenida y su regularidad como en la dosificación de la emulsión bituminosa y contenidos de ligante final:

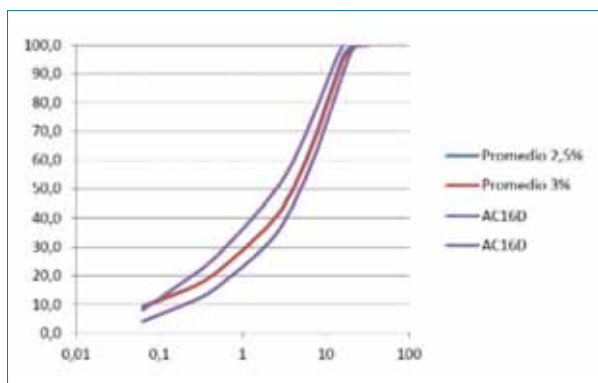


Figura 11: Curvas granulométricas.

Los datos obtenidos en los ensayo de Sensibilidad al Agua de probetas fabricadas con la mezcla reciclada templada, según Norma UNE EN 12697-12, dieron como resultado valores promedio de 92,3% para la formulación con el 2,5% de emulsión y de 96,5 para la mezcla con el 3%

## Ensayos de Testigos de Obra

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados sobre testigos extraídos de obra arrojan resultados óptimos en cuanto a Resistencia a Tracción Indirecta, Ensayo de Módulo de Rigidez y Sensibilidad al Agua. El dato de Huecos en Mezcla



Foto 12: Testigo de obra con MTRE a tasa total.

Tabla 4: Contenido de ligante.

Contenido de ligante soluble s/mezcla	MRT 2,5% Promedio	MRT 3% Promedio
% Ligante s/a	5,85 ± 0,29	6,19 ± 0,1

Tabla 5: Resultados ensayos sobre testigos.

Resultados/Testigo PROMEDIO	MRT 2,5%	MRT 3%
Altura, mm	53,6	55,2
Densidad s.s.s., g/cm <sup>3</sup>	2.309	2.250
% Huecos mezcla, % VM	5,2	7,4
Modulo rigidez 20° C, MPa	4.758	3.431
Resistencia Tracción Indirecta Seco, MPa	2,64	2,29
Resistencia Tracción Indirecta Húmedo, MPa	2,38	2,16
% RC	90,2	94

Tabla 6 Contenidos de Ligante de muestras de la mezcla fabricada.

Contenido de ligante soluble	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Promedio
% Ligante s/a	6,12	6,11	6,46	5,70	6,10 ± 0,3

Tabla 7. Caracterización del ligante.

Ensayo	MRT 2,5%	Material reciclado
Penetración, 25° C, 0,1 mm	15	14
Punto Reblandecimiento, °C	70,7	82,6

es adecuado y, como es lógico, algo superior al obtenido en la Fórmula de Trabajo.

### 5.2 Tramo Experimental A-231 (Palencia)

Con la misma formulación del 2,5% de emulsión sobre betún B50/70 utilizada en el tramo realizado en la A1, a finales de agosto, se procedió a realizar un segundo tramo experimental, esta vez en la Autovía A-231, en la capa intermedia del carril rápido de la calzada, correspondiente a la Dirección General de Carreteras de la Junta de Castilla y León.

Se controló de modo similar al tramo antes descrito.

Los datos que se extraen del análisis del ligante recuperado de la mezcla (Tabla 8) indican, respecto del ligante que contiene la mezcla envejecida, un leve incremento de la Penetración y una disminución significativa del Punto de Reblandecimiento (A y B).

Tabla 8. Resultados de los ensayos de mezcla templada con RAP

Promedio	2,5%
Altura, mm.	50,2
Densidad s.s.s., g/cm <sup>3</sup>	2.193
% Huecos Mezcla, %VM.	9,6
Modulo Rigidez 20° C, MPa	2.587
Resistencia Tracción Indirecta Seco, MPa	1,21

### Ensayos sobre testigos de obra

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados sobre testigos extraídos arrojaron resultados de Sensibilidad al Agua superiores al 95% , a pesar de tener un contenido de Huecos en Mezcla (9%) muy superior al obtenido en la Fórmula de Trabajo. En cuanto a ensayos de Módulo de Rigidez y Tracción Indirecta, lógicamente los datos son inferiores a los esperados.

### 6. Aplicación en obra de reciclado templado a tasa del 50%

En la rehabilitación de un tramo de la A231, categoría de tráfico T1, en la provincia de Palencia, llevada a cabo en 2012, se ha empleado en la capa de base una mezcla templada con emulsión, con tasa de reciclado del 50%, tipo MBT AC22 BASE C67B7 G R50.

La rehabilitación implicó la retirada por fresado de parte del paquete de mezcla bituminosa para ejecutar un reciclado in situ con cemento (prefisurado) del espesor residual de asfalto y el suelo cemento subyacente. Sobre éste se colocaron mezclas bituminosas, siendo las de la capa de base mezclas recicladas templadas al 50% con emulsión como ligante, en la capa intermedia mezclas recicladas en caliente al 25% con ligante tipo BC, y en rodadura una mezcla discontinua BBTM. El total de mezclas sumaba un espesor de 18 cms., correspondiente a una sección con categoría de tráfico T1.

Este fresado se acopia y caracteriza a través de su granulometría, tras extracción del ligante, y del contenido y características de éste. La penetración del betún del RAP resultó

## Mezclas templadas con reutilización del RAP con tasa alta y tasa total. Aplicación, experiencias reales y resultados



Figura 13. Instalaciones utilizadas en la A231. Fraccionamiento de RAP y fabricación de mezcla.



Figura 14. Extendido de la capa de base MBT AC22 con 50% RAP.

de 13,5 mm/10. Dada la procedencia (capas de firme bituminoso de la autovía), no fue necesario caracterizar el árido recuperado, ya que procedía o de capas de rodadura o de las mismas capas en que se iba a reutilizar. El RAP obtenido del fresado del tramo a rehabilitar se procesó en un equipo con molino específico desmenuzador (Figura 13), obteniéndose dos fracciones, 0-5 mm y 5-22 mm.

Con estas fracciones de RAP y áridos vírgenes silíceos, se hizo el estudio de formulación de la mezcla, siguiendo un protocolo como el ya indicado en la mezcla de tasa total.

La formulación obtenida tenía una aportación de un 3,2% s/a de emulsión tipo C67B7, con un contenido total de ligante del 4.2% s/a, un contenido de huecos del 6%, un resultado en el ensayo de sensibilidad al agua del 86% y, en el ensayo de rodadura, una pendiente de deformación en pista, WTS Aire, de 0,099 mm/10<sup>3</sup> ciclos.

El procedimiento que se empleó para fabricar la mezcla, consistió en predosificar en la proporción prevista (en este caso 44% y 56%) cada fracción del RAP, incorporan-

do a esta mezcla, a temperatura ambiente y con control ponderal, al mezclador al tiempo que los áridos vírgenes, que se han calentado a una temperatura superior a la habitual (sobre 215° C), para obtener la temperatura requerida en la mezcla. (según el esquema de la Figura 8). Se dispone un tiempo de mezcla en seco mayor del normal, para conseguir homogeneizar la temperatura de mezcla y el disgregado total, en caliente, del RAP. Una vez conseguido esto, se procede a la adición del ligante y resto del proceso de mezclado.

### 7. Conclusiones

- El desarrollo de las mezclas recicladas templadas con emulsión bituminosa supone una apuesta decidida por la sostenibilidad del patrimonio viario, en base a reutilizar los materiales del propio firme y en la reducción de temperaturas en su fabricación y aplicación.
- Se ha propuesto una metodología específica de diseño en laboratorio de mezclas recicladas templadas a tasa total y tasa alta, dado que los métodos tradicionales no responden adecuadamente a su diseño, por las características de este tipo de mezclas.
- La producción de estas mezclas, necesariamente deben llevar incorporadas tecnologías industriales, que sean capaces de transferir calentamiento al material fresado sin deteriorar su ligante.
- En el caso de tasa total el calentamiento del RAP se hace de modo directo.
- En caso de reciclados de tasa alta la producción es viable en una gama de plantas más convencional, derivadas de las de reciclado en caliente.



- En la fabricación, antes de incorporar la emulsión, hay que asegurar que se ha realizado un desmenuzado adecuado del RAP.
- La ejecución de estas mezclas, no lleva asociada diferencias respecto a la ejecución de mezclas bituminosas en caliente, aportando la ventaja de menor gradiente de enfriamiento en su puesta en obra.
- Los tramos experimentales realizados, a la fecha de redacción del presente artículo, tras dos años en servicio, presentan muy buen comportamiento, sin indicio de deformaciones u otra patología en ambos tramos.
- Sería deseable la consideración de este tipo de mezclas en capa de rodadura en la realización de nuevos tramos experimentales, que permitan seguir conociendo su comportamiento y su campo de aplicación.
- Mezclas recicladas templadas con tasa de 50% se han colocado en la capa de base de un tramo rehabilitado de la A231.

## 8. Agradecimientos

Los autores, quieren expresar su agradecimiento, a todas las administraciones, organizaciones y profesionales, que, al margen de las áreas técnicas de Sacyr Construcción y Repsol, han colaborado en el desarrollo de este proyecto cuya duración ha sido de más de cuatro años:

- Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento
- Dirección de Carreteras de La Junta de Castilla y León
- Cedex
- Sacyr Concesiones
- Universidad Politécnica de Cataluña
- Universidad Alfonso X El Sabio

- Ideyco
- Áreas de Producción y Ejecución de Sacyr Construcción
- Áreas Comerciales y de Producción de Repsol Lubricantes y Especialidades, S. A.

## 9. Bibliografía

- (1) Dirección General de Carreteras, M° Fomento: "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes" PG-3. 2004.
- (2) Dirección General de Carreteras, M° Fomento: Norma 6.3-I.C. "Rehabilitación de firmes" 28 de Noviembre, 2003.
- (3) Dirección General de Carreteras, M° Fomento: "Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de conservación de carreteras" PG-4. 18 de enero de 2002.
- (4) García Santiago, J.L. et al. "Rehabilitación sostenible de pavimentos" 6º Congreso de Ingeniería Civil de Valencia, 2011.
- (5) García Santiago, J.L. et al. "Influencia de la temperatura de mezcla en las propiedades mecánicas del reciclado en frío" Congreso Latinoamericano del Asfalto. Brasil, 2011.
- (6) García Santiago, J.L., "Reutilización y reciclado de materiales en la conservación de firmes" Jornada Técnica ACEX. Vitoria, 2011.
- (7) García Santiago, J.L. et al. "Reciclado Total de Mezclas Bituminosas a baja temperatura. Una propuesta para su diseño, caracterización y producción" Jornada Técnica Asefma. Madrid, 2011.
- (8) Páez Dueñas, A et al. "Reciclado en frío in situ de Altas prestaciones. Experiencias y resultados." Congreso de Firmes, Valladolid, 2008.
- (9) Soto, J.A., et al.. "Mezclas Bituminosas adaptadas al cambio climático" Valladolid, 2010.

#8

## AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

El asfalto es un ligante "eterno", que permite sucesivas reutilizaciones con técnicas de reciclado

#INGENIERÍA

1988 - 2013  
**25** AÑOS

# VIATOP®

## El "Pellet".

Liderando las SMA  
desde 1988



**RETTENMAIER IBÉRICA**  
S.L. Y CIA. S. COM.



Fibras diseñadas  
por la naturaleza  
Una compañía del grupo JRS

C/ Venezuela, 103, 4ª planta., 08019 Barcelona  
Tel: 933 262 880 • Fax: 933 262 897  
www.jrsiberica.com • info@jrsiberica.com

# Reciclado en frío con emulsión bituminosa

La reutilización de pavimentos agrupa todas aquellas técnicas en las que se tratan materiales que forman parte de un firme e incluso, con carácter más general, materiales que ya han sido empleados para cualquier tipo de aplicación. El reciclado de capas de firme ofrece numerosas versiones que pueden clasificarse en base a diferentes criterios. En presente artículo, se pretende desarrollar exclusivamente la técnica de Reciclado en Frío con Emulsión, para intentar lograr un mayor conocimiento de este sistema dadas las ventajas que conlleva. A efectos del reciclado en frío con emulsión, tanto los materiales granulares como los procedentes del machaqueo de materiales tratados con conglomerantes hidráulicos tienen la consideración de áridos. Únicamente los materiales procedentes del machaqueo o fresado de mezclas bituminosas (MRMB (\*)) tienen la posibilidad de ser tratados de forma que el aglomerante sea también reciclado y, en consecuencia, aprovechado. Este reaprovechamiento del ligante de la mezcla a reciclar se puede realizar adicionando además emulsiones de betunes blandos o de mezcla de betunes y productos rejuvenecedores. Cabe distinguir dos tipos de reciclados en frío con emulsión por la forma de puesta en obra: en planta o in situ.

**Palabras clave:** emulsión bituminosa, conservación, tecnología, medioambiente

The pavement recycling includes all those techniques that encompassed materials which has been part of pavement and even for whatever type of application. The pavement recycling offers several versions that it can be classified according different criteria. The aim of this article is to describe the cold pavement recycling with bitumen emulsion technique, trying to achieve a better knowledge of this system with their improvements. For the purpose of cold pavement recycling with bitumen emulsion, both, the granular materials and those from crushing of materials treated with hydraulic binders, are considered aggregates. Only the materials from crushing or milling, of asphalt mixtures (RAP) (\*)), have the possibility to be treated, and the binder can be also used and recycled. Reusing this type of binder for this recycling mixture, can be performed using soft bitumen emulsions or blending bitumen and rejuvenation products to produce bituminous emulsions. According the production site, there are two types of cold pavement recycling: in plant or in situ.

**Keywords:** bitumen emulsion, maintenance, technology, environment

Daniel Andaluz García, [gerencia@ateb.es](mailto:gerencia@ateb.es)  
Francisco José Lucas Ochoa, [fjlucaso@repsol.com](mailto:fjlucaso@repsol.com)  
Lucía Miranda Pérez,  
[lucia.miranda@composanindustrial.com](mailto:lucia.miranda@composanindustrial.com)  
M<sup>a</sup> del Mar Colás Victoria, [marimar.colas@cepsa.com](mailto:marimar.colas@cepsa.com)  
Nuria Uguet Canal, [nuria.uguet@eurovia-es.com](mailto:nuria.uguet@eurovia-es.com)  
Rafael Guillén Carmona, [rguillen@sacyr.com](mailto:rguillen@sacyr.com)  
Santiago Gil Redondo, [sgil.ditecpesa@ferrovial.es](mailto:sgil.ditecpesa@ferrovial.es)  
Verónica Contreras Ibáñez,  
[contreras.ibanez.veronica@repsol.com](mailto:contreras.ibanez.veronica@repsol.com)

Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB)

## 1. Definición

Definimos como Reciclado en Frío con Emulsión bituminosa, en adelante RFE, a la mezcla homogénea, convenientemen-

te extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de un firme existente en un espesor comprendido entre 6 y 12 cm, emulsión bituminosa, agua y eventualmente aditivos. Todo el proceso de ejecución se realizará a temperatura ambiente.

La operación de reciclado puede realizarse in situ o en planta. En planta pueden ajustarse los parámetros de fabricación con mayor precisión pero el coste también es mayor, por lo que suele ser mucho más habitual la puesta en obra directa in situ. Los equipos disponibles en la actualidad para la ejecución de reciclados en frío in situ, con sistemas de dosificación bastante precisos, permiten suponer un comportamiento mecánico similar durante toda la ejecución de la obra, si se siguen las reglas de buenas prácticas.

(\*) Material Recuperado de Mezcla Bituminosa / Reclaimed asphalt pavement

## Reciclado en frío con emulsión bituminosa

El RFE se puede realizar sin aporte de áridos (tasa de reciclado del 100%) o bien con aporte de áridos, normalmente en baja proporción (hasta un 15%), para corregir la granulometría. En lo sucesivo supondremos que la granulometría es suficientemente buena y que, en caso de no serlo, se recurrirá a su corrección.

### 2. Ventajas de la utilización del reciclado en frío con emulsión

La técnica del RFE presenta un buen número de aspectos positivos que hacen que su empleo sea enormemente atractivo pero no por ello constituye una solución universal. Entre estos aspectos destacan los siguientes:

- Conservación de recursos, ya que se minimizan las necesidades de ligantes y áridos nuevos, al reutilizar los existentes en el firme. Con ello, se elimina gran parte del transporte de materiales necesario en las operaciones de refuerzo convencionales, con lo que se minimizan los daños ocasionados por el tráfico de obra sobre la propia vía y la red adyacente.
- Se reduce el recrecimiento, casi siempre innecesario, de los arcones y minimiza el efecto sobre el gálibo, bordillos, etc., con lo que se obtienen economías adicionales en el proyecto.
- En general, el RFE permite mejorar la regularidad del firme existente. Esto es particularmente interesante, en las vías secundarias cuyas condiciones geométricas suelen ser bastante malas y cuya mejora requiere importantes capas de regularización.
- Desde el punto de vista operativo, el RFE, especialmente el realizado in situ, limita las interferencias con el tráfico y permite una apertura prácticamente inmediata a la circulación, con lo que se minimizan las molestias a los usuarios.
- Desde el punto de vista económico el RFE permite, en general, obtener un ahorro significativo frente a otras técnicas convencionales. Generalmente es una operación de costo similar o inferior a un simple refuerzo y considerablemente más económica que la de fresado y reposición de la capa del firme con nuevos materiales.
- Finalmente, la técnica del RFE reduce el impacto ambiental asociado a otras técnicas, ya que minimiza el consumo energético durante la fabricación, al eliminar la necesidad

de calentar el material a tratar, y evita gran parte del transporte, en particular cuando es in situ. Asimismo, se consigue una disminución drástica de las necesidades de árido virgen y de ligantes bituminosos así como la eliminación de espacios de vertido, en el caso que la rehabilitación del firme prevea operaciones de fresado.

Adicionalmente a estas ventajas generales del RFE, en el caso del reciclado in situ, cabe destacar las siguientes ventajas con respecto a la rehabilitación del firme con nuevas capas de refuerzo:

1. Se consiguen mejoras estructurales o de regularidad con aportación mínima de materiales nuevos.
2. Mantiene o modifica levemente la rasante.
3. Permite la rehabilitación estructural de carriles individualizados
4. No es necesario ensanchar la plataforma para la operación
5. Permite la colocación de las capas nuevas de refuerzo sobre material no deteriorado, consiguiéndose así una mayor vida de servicio.

Asimismo, el reciclado in situ con emulsión presenta las siguientes ventajas respecto a las operaciones de fresado y sustitución con nuevos materiales:

1. Mayor rapidez de ejecución
2. Mayor economía
3. Menor incidencia en la circulación, al reducir el número de vehículos pesados necesarios para la ejecución de la obra
4. Menor impacto para los firmes del entorno al reducirse el flujo de vehículos que transportan materiales.

Con todo ello, el RFE debería ser considerado como una posible solución en todas las actuaciones de rehabilitación de firmes.

### 3. Campos de aplicación

Este sistema de reciclado se ha subdividido en tres tipos diferentes: I, II y III, que responden a tres situaciones posibles de reciclado en las que, si bien la técnica de puesta en obra es

similar, los resultados obtenidos difieren en cuanto a la calidad del material final y, por tanto, a sus prestaciones en cuanto al dimensionamiento. Los tres diferentes tipos de RFE se caracterizan por:

#### RFE-I

Se corresponde con aquellas situaciones en las que se pretende reciclar reutilizar materiales que en su mayor parte no están tratados con ligantes bituminosos. Este es el caso, por ejemplo, de los firmes denominados tradicionalmente flexibles, que están constituidos por capas granulares con un revestimiento formado por tratamientos superficiales o capas finas (espesor igual o inferior a 4/5 cm) de mezclas bituminosas. Naturalmente también se incluyen en este tipo los caminos rurales no pavimentados.

En general, la aplicación de la técnica del RFE a este tipo de firmes permite obtener una capa de base, tipo grava-emulsión de calidad media, de características mecánicas mejoradas en relación al material granular de partida, que se puede terminar con un tratamiento superficial o un aglomerado flexible en capa fina. El espesor del reciclado puede variar en función de las condiciones del tráfico desde los 8 cm, en los casos de tráfico más ligero, a los 12 cm. Con este sistema pueden rehabilitarse firmes típicos de tráfico T4 o bien re-

habilitar o transformar firmes flexibles para adaptarlos a una categoría de tráfico superior, T3, añadiendo una capa de rodadura sobre el material reciclado.

El tratamiento en espesores menores, 6 cm por ejemplo, es posible en muchos casos pero con la idea de mejorar la capacidad portante más por el efecto de impermeabilización del firme que por el aporte estructural de la capa reciclada.

Un caso particular de esta técnica, muy propio de caminos agrícolas o firmes flexibles en los que se ha empleado un material de base con plasticidad, es el reciclado en dos fases. En la primera se trata el material granular en una profundidad importante (20-25 cm) con cal para corregir el problema de plasticidad. En la segunda fase se trata un espesor menor (8-12 cm) con emulsión.

En el RFE-I no se valora, en general, el efecto del ligante existente en el firme a tratar y la emulsión a emplear tiene como base un betún 160/220 ó 70/100. Los contenidos de emulsión pueden variar, normalmente, entre el 4 y el 7%.

#### RFE-II

Se corresponde con una situación intermedia en la que se pretende reciclar reutilizar simultáneamente materiales tratados con ligantes bituminosos y otros no tratados o tratados con conglomerantes hidráulicos, de forma que la parte de

Tabla 1. Identificación de los diferentes tipos de reciclado en frío con emulsión.

Reciclado en frío con emulsión				
		Tipo I	Tipo II	Tipo III
Material reciclado del firme existente		Capa bituminosa (< 4/5 cm) + base granular	Capa bituminosa (5-10 cm) + base no bituminosa (>50% "negro")	Mezclas bituminosas
Emulsión (60% B. Res.)	Tipo	Emulsión de betún blando (70/100 ó 160/220)	Emulsión de betún blando o regenerante	Emulsión de betún blando o regenerante
	Dotación	(4-7%)	(3-5%)	(2,5-4%)
Espesor de reciclado		8-12cm	8-12cm	6-12cm
Objetivo		Mejora de las características mecánicas o geométricas del firme existente	Idem tipo I y, eventualmente, regeneración del ligante existente	Reciclado y regeneración del ligante existente

materiales "negros" es al menos del 50% del espesor total a tratar (preferentemente >75%). Concretamente esta situación puede darse en aquellos firmes, típicos de la anterior Instrucción 6.1-I.C., constituidos por una o dos capas de mezcla con un espesor entre 5 y 12 cm, apoyados sobre una base granular o tratada con ligantes hidráulicos.

Sin embargo, no debe asimilarse necesariamente este tipo de firme con un RFE-II. En estos firmes caben varias posibilidades:

- Si el problema afecta a la base granular puede realizarse un levantamiento de las capas superiores de mezcla y actuar con un retratamiento con emulsión de la base, en cuyo caso es una situación del tipo RFE-I, o bien con cal, cemento e incluso una estabilización granulométrica.
- Si el problema afecta sólo a la mezcla, por ejemplo, un problema de fisuración por reflexión, la actuación se debería realizar exclusivamente sobre la mezcla, con lo que se trataría de una situación tipo RFE-III.

Finalmente, puede plantearse el retratamiento conjunto de las capas superiores de mezcla y de toda o una parte de la base. En este caso estaríamos en una situación del tipo RFE-II, en la que se recicla un espesor que puede ir desde los 8 cm hasta los 12 cm y empleándose una emulsión formulada a partir de un betún blando o, excepcionalmente, un ligante regenerante según las circunstancias. El material obtenido tiene características similares a las de una grava-emulsión clásica. Los contenidos de emulsión pueden variar, normalmente, entre el 3 y el 5%.

Los RFE tipo II con proporciones próximas al 30-50% de materiales granulares se han tratado con mucho éxito mediante la técnica del reciclado mixto (Conglomerante = Emulsión bituminosa + Cemento).

### RFE-III

Es la situación que se plantea cuando únicamente se reciclan materiales tratados con ligantes bituminosos. Es el caso, por ejemplo, de los firmes constituidos por capas bituminosas en los que el RFE se concibe como un retratamiento de mezcla bituminosa exclusivamente. Se trata normalmente de carreteras de tráfico medio o pesado, con problemas de rotura a fatiga, despegue de capa de rodadura, envejecimiento, etc.

También puede darse este caso cuando se pretenda reciclar las capas superiores de mezcla bituminosa de un firme semi-rígido con problemas de reflexión de fisuras.

En general son estructuras muy homogéneas que permiten encontrar una fórmula de reutilización del firme existente mediante una emulsión de efecto regenerante en proporciones del 2,5-4%. Lo más habitual es el tratamiento en espesores de 6 a 12 cm y, en cualquier caso, con un espesor mínimo superior al de la capa de rodadura existente para evitar los problemas de interfase. El material obtenido después del proceso de maduración presenta generalmente unas características mecánicas mejores que el de una grava-emulsión clásica y próximas a las de una mezcla gruesa para capa de base.

En la práctica, el comportamiento del RFE tipo II está muy ligado a las proporciones respectivas de materiales bituminosos y granulares. Cuando la proporción de material granular es superior al 20-25%, especialmente si presenta algún tipo de actividad plástica, el comportamiento se aproxima a los del tipo RFE I, mientras que con proporciones inferiores al 15%, y materiales "limpios", el comportamiento es asociable a los del tipo RFE III. A la vista de lo anterior podemos admitir la existencia de dos tipos básicos de comportamiento de RFE que desde el punto de vista del diseño y el control podríamos asociar con materiales del tipo grava-emulsión y del tipo mezcla cerrada en frío respectivamente.

### 4. Especificaciones. marco normativo (Art. 20 del PG-4 (Orden Circular 8/2001)).

#### 4.1 Norma 6.3 IC de rehabilitación de firmes y Art. 20 del PG-4

Según refiere la Norma 6.3 IC, entre las posibles soluciones de rehabilitación estructural de firmes que tengan pavimento bituminoso, básicamente se considerarán los tipos de actuación siguientes:

- Eliminación parcial de una parte del firme existente y reposición con mezcla bituminosa hasta la misma cota que la superficie original del pavimento existente.
- Recrecimiento mediante mezclas bituminosas o mediante pavimento de hormigón.
- Combinación de los dos tipos de actuación anteriores, incluyendo las técnicas de reciclado de materiales.

Tabla 2: Especificaciones de las emulsiones catiónicas y aniónicas a utilizar en el reciclado en frío.

Emulsion original			
Requisitos	Norma	C60B5 REC	A60BL
Polaridad de las partículas	EN 1430	Positiva	Negativa
Índice de ruptura (filler Forshammer)	EN 13075-1	>170	
Estabilidad por mezcla con cemento, %	EN 12848		<2
Tiempo de fluencia 2 mm a 40 °C, s	EN 12846-1	15-70 a	40-130 b
Adhesividad con el árido de referencia, %	EN 13614	≥ 90	
Contenido de ligante (por contenido en agua), % o ligante residual después de la destilación, %	EN 1428 EN 1431	58 – 62 ≥58	58-62
Residuo de tamizado (tamiz 0,5mm), %	EN 1429	≤ 0,1	≤ 0,1
Tendencia a la sedimentación (almacenamiento durante 7 días), %	EN 12847	≤ 10	≤ 10

- a Se pueden emplear emulsiones con tiempo de fluencia (40-130) s a 40 °C con el orificio de 2 mm, especialmente en los casos en los materiales a reciclar presenten humedad elevada.
- b Puede ser fabricada con viscosidad inferiores (15-70) s a 40 °C con el orificio de 2 mm, en función de sus condiciones de empleo.
- c El contenido de ligante de la emulsión determinado por el método de destilación descrito en la Norma EN 1431 debe definirse como (porcentaje en masa de ligante residual + contenido en masa del fluidificante destilado).

Por consideraciones ambientales y de reutilización de los materiales existentes en los firmes y pavimentos, en actuaciones cuya superficie de rehabilitación sea superior a 70.000 m<sup>2</sup>, se deberán tener en cuenta en el análisis de las soluciones las técnicas de reciclado.

En el proyecto de la rehabilitación de un firme se podrá utilizar el reciclado en frío in situ con emulsión bituminosa teniendo en cuenta las limitaciones y prescripciones siguientes:

- En carreteras con categoría de tráfico pesado T1 se podrán utilizar mezclas bituminosas recicladas in situ con emulsión bituminosa en arcenes cuando sobre este material se disponga como mínimo una capa de rodadura. También podrá ser aplicable este último tipo de material reciclado en capas de reposición en calzada cuando sobre ellas se coloquen capas de recrecimiento con mezclas bituminosas en caliente en un espesor total mínimo de 8 cm.
- Para carreteras con categorías de tráfico pesado T2 a T4, incluidas las vías de servicio no agrícolas de autovías y autopistas, podrá utilizarse el reciclado in situ con emulsión,

con la condición de disponer sobre él, como mínimo, una capa de mezcla bituminosa en caliente del tipo densa (D) o semidensa (S).

Adicionalmente, el Art. 20 del PG-4, iniciado con la O.C. 8/2001, inequívocamente define la unidad "Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas", indicando los materiales, tipo de mezcla, equipo necesario para la ejecución y desarrollo de la misma, así como el control de calidad necesario, y especificaciones de la unidad terminada.

#### 4.2 Especificaciones emulsiones bituminosas

Las especificaciones de las posibles emulsiones a emplear se encuentran, en el caso de las emulsiones bituminosas catiónicas, en el Anexo Nacional recogido en la norma UNE-EN 13808:2013/1M:2014 y, en el caso de las emulsiones bituminosas aniónicas, en la norma española UNE 51603.

A continuación se muestran las especificaciones recogidas en dichos documentos:

Tabla 3: Especificaciones para el residuo de las emulsiones catiónicas y aniónicas.

Ligante residual		C60B5 REC			A60BL
		Ligante residual por destilación	Ligante recuperado	Ligante estabilizado	Ligante residual por destilación
Requisitos	Norma	EN 1431	EN 13074-1	EN 13074-1 seguido por EN 13074-2	EN 1431
Penetración a 25°C, 0,1 mm	EN 1426	≤ 270 <sup>a</sup>	≤ 330 <sup>a</sup>	≤ 270 <sup>a</sup>	220-330 <sup>a</sup>
Punto de reblandecimiento, °C	EN 1427	≥ 35 <sup>a</sup>	≥ 35 <sup>a</sup>	≥ 35 <sup>a</sup>	≥ 35

a Se admiten emulsiones fabricadas con betunes más duros (Penetración ≤150 0,1mm y Punto de reblandecimiento ≥ 43°C, a emplear en zonas cálidas o con tráfico intenso.

## 5. Criterios de diseño

Un correcto diseño de la fórmula de trabajo de los reciclados en frío con emulsión (RFE), debe seguir criterios similares a los de las mezclas cerradas en frío, incluyendo a la grava-emulsión. En el proceso de diseño se debe prestar atención al material a tratar ya que puede presentar diferencias a lo largo de la traza, por ello se deberá identificar y tener en



Figura 1: Detalle de la extracción de un testigo.

cuenta previamente sus características tanto mecánicas como de forma.

### 5.1 Inspección del firme a reciclar

Se considera una de las fases más relevantes para un correcto diseño, se debe realizar una definición de tramos homogéneos, determinación del tráfico, climatología y las condiciones estructurales y visuales del firme. Se procederá a la extracción de testigos: dos por perfil y, al menos, un perfil por cada 1.000 m, o por tramo si este fuera de menor longitud. Sobre cada testigo se determinarán espesores y tipos de material.

Con esta información se procederá a una definición de tramos caracterizados por la homogeneidad de su estructura longitudinal y transversal, en lo que se refiere a espesor de capas, tipos de materiales y estado de las mismas.

La frecuencia de muestreo debe ser mayor para los tipos I y II ya que puede haber más variación en los materiales granulares. Las muestras obtenidas se caracterizan en laboratorio y la información obtenida servirá además para redefinir, si fuera necesario, los tramos homogéneos establecidos en la fase primera.

### 5.2 Estudio de la fórmula de trabajo

Los análisis mínimos a realizar sobre las muestras dependen de si éstas corresponden a materiales tratados con ligantes bituminosos o no. Las muestras de materiales tratados con betún para los RFE tipo III (y los del tipo II asimilados: menos





Figura 2: Toma de muestras mediante fresadora.

de un 15-20% de material granular) deben ser obtenidas mediante una operación similar a la que posteriormente vaya a emplearse en obra, generalmente mediante fresado y, mejor aún, con el mismo tipo de máquina a emplear en el reciclado, al objeto de obtener una muestra representativa, aunque en el caso de materiales no tratados con ligantes bituminosos no es imprescindible.

Sobre las muestras se determinará la granulometría del material fresado, contenido y tipo de ligante y sobre el residuo extraído (penetración y punto de reblandecimiento como mínimo). Adicionalmente pueden realizarse ensayos de caracterización sobre el ligante mediante sistemas de cromatografía.

Sobre los áridos además se evaluará la calidad del árido grueso (dureza, caras de fractura, forma) y de la fracción fina (equivalente de arena e índice de plasticidad). También se determinará la humedad natural, si bien este parámetro deberá ser objeto de un control sistemático durante la ejecución.

El objeto de esta fase es la definición de una o varias fórmulas de trabajo y de los parámetros necesarios para el control de la ejecución. A tal efecto deberá asegurarse un buen esqueleto mineral en el material reciclado.

En general para los RFE-I y asimilados se siguen criterios similares a los de una grava-emulsión y por ello en ocasiones se precisará corregir la granulometría mediante aporte de árido. El contenido de emulsión se determinará en base al ensayo de inmersión-compresión y vendrá fijado de acuerdo con las exigencias mecánicas mínimas de resistencias en seco y conservadas establecidas en función de la posición del

material en la estructura del firme y del tráfico previsto, recogidas en el art. 20 del PG-4.

Se recomiendan utilizar emulsiones convencionales del tipo A60BL y C60B5 REC con betunes asfálticos del tipo 70/100 ó 160/220. La concentración de emulsión en peso sobre árido suele estar comprendida entre el 4 y el 7%, dependiendo del porcentaje de material bituminoso en el conjunto. Por encima de estas cantidades la operación de RFE puede no ser viable económicamente.

Con objeto de obtener buenas resistencias conservadas, sobre todo cuando el material original presenta algo de plasticidad, se podrá recurrir al empleo, además de la emulsión, de pequeñas proporciones (1-2%) de cal hidráulica o cemento. En general la cal es más eficaz para mejorar las resistencias conservadas mientras que el cemento tiene un menor efecto frente a la plasticidad del árido pero puede mejorar sustancialmente las resistencias mecánicas en seco y tras inmersión.

En todos los casos será necesario adaptar la humedad total y la formulación de la emulsión a las condiciones in situ y a las características mineralógicas del árido, para obtener una buena capacidad de envuelta, una velocidad de rotura adaptada a las condiciones de la obra y una buena adhesividad. El contenido de agua total debe ajustarse de forma cuidadosa ya que es un factor decisivo para obtener una envuelta correcta, efectuar una buena compactación es vital para el proceso de maduración.

En los RFE-III y asimilados se seguirá un criterio similar al de diseño de las mezclas cerradas con emulsión empleando el ensa-

## Reciclado en frío con emulsión bituminosa

Tabla 4: Husos granulométricos para RFE tipo III cernido acumulado (% en masa).

Tipo de reciclado III	Cedazos y tamices UNE-EN 933-2 (mm)									
	40	25	20	12,5	8	4	2	0,500	0,250	0,063
RE1	100	78-100	69-95	52-82	40-70	25-53	15-40	2-20	0-10	0-3
RE2	-	100	80-100	62-89	49-77	31-58	19-42	2-20	0-10	0-3

Tabla 5: Husos granulométricos para RFE tipo I y II cernido acumulado (% en masa).

Tipo de reciclado I-II	Cedazos y tamices UNE-EN 933-2 (mm)									
	40	25	20	12,5	8	4	2	0,500	0,250	0,063
"RE 3"	100	78-100	69-95	52-82	40-70	25-53	15-40	8-25	5-20	2-12
"RE 4"	-	100	80-100	62-89	49-77	31-58	19-42	8-25	5-20	2-12

yo de inmersión-compresión para la caracterización mecánica, si bien las exigencias mínimas serán, en general, superiores a las de los RFE-I. En cuanto al tipo de emulsión a emplear podrá ser A60BL, C60B5, si bien, la experiencia existente en España con los RFE se basa mayoritariamente en el empleo de emulsiones catiónicas. En cuanto al tipo de ligante de base podrá optarse por un 160/220, ó bien por uno más duro tipo 70/100.

En las tablas 4 y 5 se muestran los husos granulométricos para los diferentes tipos de RFE.

Los valores de resistencias mínimas para los diferentes tipos de RFE en el ensayo de inmersión-compresión, según explica la Tabla 6.

En cuanto al contenido de ligante en función del tipo de RFE que se aplique, se limitarán los porcentajes de emulsión a aportar a los valores que refleja la Tabla 7.

En el caso de los RFE-III debe tenerse muy en cuenta la limitación superior para evitar problemas de exudaciones y/o deformaciones plásticas.

Tabla 6: Valores de resistencias mínimas para los diferentes tipos de RFE.

Tipo de reciclado	Categoría del tráfico pesado	Valores mínimos		
		Resistencia en seco (MPa)	Resistencia tras inmersión (MPa)	Resistencia conservada (%)
RFE-III	T1 (sólo capas de base) - T2 y (*)	3	2,5	75
	T3-T4 y ARCENES	2,5	2	70
RFE-II >75% "negro"	T2 y (*)	3	2,5	75
	T3-T4 y ARCENES	2,5	2	70
RFE-II <75% "negro" y RFE-I	T3-T4 y ARCENES	2,5	2	70
	Caminos agrícolas y asimilados	0,9	0,7	50

\* Vías de servicio no agrícolas de autopistas y autovías interurbanas.

Tabla 7: Valores de contenido de ligante para los diferentes tipos de RFE.

Tipo de reciclado	Emulsión al 60% B. res.		Ligante	
	(% en peso sobre material a reutilizar)		(% en peso sobre material a reutilizar)	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.
RFE-III	2,5	4	1,5	2,4
RFE-II	3	5	1,8	3
RFE-I	4	7	2,4	4,2

## 6. Puesta en obra

La realización de un reciclado en frío con emulsión (RFE) supone la ejecución de un conjunto de operaciones en cadena. Estas operaciones pueden ser ejecutadas directamente in situ o bien en planta independiente. Los equipos empleados pueden ser monofunción o multifunción. De hecho, como se verá más adelante, los fabricantes de maquinaria han diseñado equipos específicos que pueden realizar prácticamente todas las operaciones en una única pasada del equipo.

De forma elemental la ejecución de un RFE puede desglosarse en las siguientes operaciones:

- Demolición, levantamiento y retirada del pavimento en el espesor de proyecto
- Machaqueo del material hasta reducirlo al tamaño conveniente
- Mezclado del material machacado con la emulsión y otros elementos: áridos, agua, aditivos,...
- Extensión del material mezclado
- Compactación
- Tratamientos de protección
- Apertura al tráfico.

### 6.1 RFE en planta

La realización del RFE en planta independiente supone transportar el material a reutilizar a una instalación de mezclado para incorporarlo con el resto de los componentes definidos en la fórmula de trabajo.

El RFE en planta comienza por la demolición/fresado, levantamiento, carga y transporte del material a tratar. El mez-

clado se realiza generalmente en plantas convencionales de mezcla en frío, aunque nada impide que se empleen plantas de mezcla en caliente de tipo continuo o discontinuo. En cualquiera de ambos casos, será necesario dotar a la planta de un sistema adicional para dosificar el agua de preenvuelta. Se incorporarán también las proporciones previstas de áridos para corrección granulométrica y de aditivos (p.e. cal o cemento).

La extensión del material reciclado se realizará preferentemente con extendedoras autopropulsadas dotadas de los elementos de guiado.

El resto de las operaciones: compactación, tratamiento de protección y apertura al tráfico, se plantean de la misma forma que en el RFE in situ, por lo que se tratarán conjuntamente.

### 6.2 RFE in situ

En el RFE in situ el mezclado se realiza sobre la misma carretera por lo que requiere equipos específicamente diseñados pa-



Figura 3: Reciclado en Planta independiente.

## Reciclado en frío con emulsión bituminosa



Figura 4: Recicladora mezcladora con regla de extensión y precompactación.



Figura 5: Compactador metálico y neumático.

ra ello. Esta especificidad se refiere fundamentalmente a los equipos que realizan el fresado del firme y el mezclado en la cámara de fresado, reduciendo así notablemente el ruido y la contaminación atmosférica, y la posterior extensión. La compactación y operaciones posteriores son comunes al RFE en planta.

Existe una variada gama de equipos para la ejecución del RFE in situ. Desde equipos muy sencillos derivados de las máquinas de estabilización de suelos hasta equipos completos. Derivado de la experiencia de esta técnica en España, han surgido equipos que integran en una sola máquina las funciones de fresado, mezclado, extendido y pre-compactado.

Estos equipos al estar dotados con una regla de extendido permite obtener planimetrías de alta calidad, tanto transversal como longitudinal.

Estos equipos se están utilizando con gran éxito en la realización de obras de RFE in situ de gran volumen y están especialmente indicadas para los del tipo RFE-III. Sus principales ventajas son su sencillez, robustez y coste relativamente reducido.

### 6.3 Equipos de compactación

En general, las necesidades de compactación son mayores que las que se requerirían para la compactación de una capa de mezcla bituminosa en caliente del mismo espesor, especialmente los reciclados del tipo RFE-III. Ello se debe a que este tipo de materiales, al igual que las grava-emulsiones, son

bastante "agrios" y con poca trabajabilidad, pues normalmente se busca trabajar con el mínimo posible de humedad al objeto de acortar el periodo de maduración.

No se ha definido aún la combinación idónea de compactadores. La combinación de rodillos lisos vibratorios en cabeza seguidos por compactadores pesados de neumáticos parece la más adecuada.

### 7. Dimensionamiento de firmes con capas recicladas

Cuando se piensa en emplear técnicas de reciclado, lo más habitual es que el firme analizado se encuentre en una situación de agotamiento estructural. Con carácter excepcional se puede pensar en reciclar sin que se haya llegado a dicho agotamiento.

Los sistemas de reciclado in situ con emulsión, son soluciones alternativas a las operaciones de fresado y reposición, compitiendo con éstas desde el punto de vista técnico y económico.

El dimensionamiento de firmes con capas recicladas resulta ser una variante, aunque más complicada, del dimensionamiento de una rehabilitación. Como ocurre con el diseño de firmes de nueva construcción es necesario el empleo de métodos analíticos y/o métodos empíricos.

#### 7.1 Dimensionamiento por métodos analíticos

Como criterio o norma básica cuando se quiera realizar un dimensionamiento de este tipo se deberá tener una referencia

Tabla 8: Valores orientativos de módulos para capas recicladas.

Tipo de reciclado	Módulo dinámico E (MPa)	Módulo de Poisson $\nu$	Observaciones
RFE-I	1.200-1.800	0.35	Valores a alcanzar tras la maduración
RFE-II	1.500-2.500	0.35	
RFE-III	2.500-3.500	0.35	

de tipo empírico, basada en una aproximación vía rehabilitación comparando con secciones de nueva construcción o vía coeficientes de equivalencia, que permita ir comprobando que los resultados obtenidos guardan una cierta coherencia con los sancionados por la experiencia: catálogos de secciones, método de la AASHTO, etc.

A los conocidos problemas habituales de los métodos analíticos en cuanto al discutible cumplimiento de las hipótesis de los métodos multicapa (elasticidad, homogeneidad, linealidad, etc.) hay que sumar la dificultad para determinar las condiciones iniciales de diseño (cálculo inverso a partir de los datos de deflexión), la caracterización de los materiales reciclados y la alteración de las condiciones iniciales por el propio proceso de reciclado. Si no tomamos en consideración este último aspecto quedan por estudiar los dos anteriores: cálculo inverso y caracterización de materiales reciclados.

El cálculo inverso es el proceso por el que, a partir de los datos de auscultación, se deducen las características mecánicas de las capas constituyentes del firme. Este conjunto de datos resulta casi imprescindible para poder valorar en términos analíticos la situación del firme existente con cierta aproximación. Existen programas informáticos que realizan este cálculo inverso a partir de los datos anteriores. Conviene, en todo caso, comprobar la coherencia de las salidas con los datos disponibles, especialmente a los datos de auscultación visual. El otro aspecto fundamental es el de la caracterización en sí de las capas recicladas. En los sistemas en frío in situ, las características mecánicas están muy condicionadas por la ejecución. Los resultados obtenidos en obra mediante extracción de testigos pueden presentar dispersiones importantes con los obtenidos en probetas de laboratorio, en gran medida debido a diferencias de compactación.

A efectos de un dimensionamiento previo, y salvo que se disponga de datos fiables de laboratorio, los valores de módulo a emplear podrían ser los recogidos en la Tabla 8.

Los datos disponibles respecto a las leyes de fatiga de estos materiales son más escasos aún que los de módulos.

En los RFE, como en la grava-emulsión, la fatiga no es un criterio de rotura como en las mezclas en caliente. Estos materiales presentan un marcado carácter no-lineal de forma que modifican su respuesta en términos de módulo en función de la sollicitación. Por tanto el criterio de rotura debe buscarse en la deformación vertical de la explanada o en la deformación tangencial de la mezcla de las capas superiores.

Las capas de mezcla que se coloquen sobre el un RFE pueden considerarse adheridas si se toman las precauciones habituales a nivel de puesta en obra. En cualquier caso hay que recordar que realmente estas condiciones absolutas de adherencia/despegue no se dan en la realidad pero que se modelizan como tales por las limitaciones de los métodos de cálculo.

Como es obvio, en todos los casos deberán comprobarse los distintos criterios de fallo, tanto de las capas recicladas, como del resto de las capas, y de la explanada. A estos efectos resulta recomendable que la estructura presente unos niveles de seguridad similares en todas sus capas evitando que unas capas se encuentren "al límite" y otras "muy desahogadas".

## 7.2 Dimensionamiento por métodos empíricos

El dimensionamiento por métodos empíricos supone proponer soluciones basándose en catálogos, referidos normalmente a una clasificación del tráfico y de la explanada, o en valores estructurales, determinados mediante la suma ponderada de los espesores de las capas con coeficientes de equivalencia de los materiales. Este segundo caso es el del conocido método de la AASTHO que en sus últimas versiones recoge ya algunas de las técnicas de reciclado antes analizadas, ofreciendo figuras de las que es posible obtener los coeficientes de equivalencia a emplear en el método.

## Reciclado en frío con emulsión bituminosa

Tabla 9: Coeficientes de equivalencia entre materiales reciclados y convencionales.

Tipo de reciclado	Coefficiente de equivalencia	Observaciones
RFE-I	0,6 MB ó 2,5 ZA	La asimilación puede ser frente a MB o ZA
RFE-II	0,7 MB	
RFE-III	0,8 MB	

A continuación se exponen otras posibilidades basadas en catálogos propios para firmes con capas recicladas o en asimilación de soluciones de nueva construcción y/o refuerzo mediante coeficientes de paso de materiales convencionales a materiales procedentes de reciclado.

### Instrucción Española 6.1 IC y otros catálogos de firmes

Basándose en catálogos es posible dimensionar firmes con capas recicladas asimilando estas capas a materiales convencionales directamente o a través de coeficientes de equivalencia. De esta forma es posible emplear el catálogo de secciones de la Instrucción 6.1 IC y también las "Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos" de la Junta de Castilla y León. Para el caso de que no se disponga de secciones fácilmente asimilables se pueden emplear coeficientes de equivalencia entre materiales. Con carácter meramente indicativo se ofrecen algunos posibles coeficientes:

### Dimensionamiento basado en la Instrucción 6.3 IC

El criterio básico de esta instrucción es que las operaciones de rehabilitación devuelvan al firme a una situación estructural similar a la de un firme de nueva construcción con un periodo de vida de 20 años.

La situación más normal cuando se plantee un reciclado será la de agotamiento estructural. En principio se debe tratar de un agotamiento que no afecte a la explanada porque en este caso el reciclado no solucionará el problema.

### 8. Últimos avances en la técnica del reciclado con emulsión bituminosa

Desde hace ya unos años, el sector ha apostado por la sostenibilidad en obras de rehabilitación de firmes, desarrollando im-

portantes avances en las técnicas de reciclado in situ con emulsión, dando lugar a nuevas mezclas que se pueden denominar de altas prestaciones. Las últimas líneas de investigación van orientadas a mejorar dos aspectos fundamentales:

- Mejorar las características de la mezcla en términos de cohesión, módulo y comportamiento a la fatiga.
- Disminuir los tiempos de maduración de la mezcla para permitir la extensión de la capa de rodadura en el menor tiempo posible, minimizando así las molestias a los usuarios de la vía

Para ello se siguen diversas líneas de investigación:

- Agentes rejuvenecedores que aportan al betún envejecido las características perdidas por el paso del tiempo, mejorando así entre otros aspectos, como el comportamiento a la fatiga.
- Aditivos que consiguen mejores cohesiones iniciales que permiten un tapado curado del reciclado más rápido, minimizando así las afecciones a los usuarios de la vía.
- Sistemas mixtos emulsión cemento que permiten módulos más elevados.
- Mejoras en la maquinaria que permiten:
  - Mayor control en la granulometría del material que se va a reciclar
  - Una dosificación de los componentes de la mezcla más precisa
  - Una extensión de la mezcla reciclada más adecuada
  - Una compactación de la misma más homogénea

### 9. Conclusiones

La técnica de reciclado de firmes en frío con emulsión es una alternativa muy competitiva desde el punto de vista económico, técnico y medioambiental.

Esta técnica ha tenido una importante evolución por el desarrollo de nuevas emulsiones bituminosas, más adaptadas a esta técnica de pavimentación y específicas, en función de las características del material procedente de mezcla bituminosa a reutilizar

El RD 105/2008 cita que las Administraciones Públicas velarán por que en las obras en las que intervengan como promotores, se apliquen medidas tendentes a la prevención en la generación de residuos de construcción y demolición y que, además, velarán por que, en fase de proyecto, se tengan en cuenta alternativas que también generen menos residuos en la fase de construcción y de explotación. Igualmente las administraciones públicas fomentaran el empleo de dichas técnicas.

Por todo ello, el RFE se considera una técnica de pavimentación con un gran potencial de empleo a corto-medio-largo plazo.

## 10. Bibliografía

- Anexo Nacional de emulsiones bituminosas catiónicas UNE-EN 13808:2013/1M:2014
- Del Val, M y Rocci, S. Guía para el dimensionamiento de reciclados in situ en frío. 1998
- Especificaciones de las emulsiones bituminosas aniónicas UNE 51603
- García Santiago, J.L. et al. "Influencia de la temperatura de mezcla en las propiedades mecánicas del reciclado en frío" Congreso Latinoamericano del Asfalto. Brasil,2011
- Instrucción 6.1 IC Secciones de firmes
- Instrucción 6.3 IC de refuerzo de firmes
- Páez Dueñas, A et al. "Reciclado en frío in situ de Altas prestaciones. Experiencias y resultados." Congreso de Firmes, Valladolid, 2008
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de conservación de carreteras. PG-4. Artículo 20 Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas.
- RD 105/2008. Regulación de residuos de construcción y demolición.
- Soto, J.A y Peña, J.L. Monografía ATEB: Reciclado en frío con emulsión.
- Soto, J.A., et al.. "Mezclas Bituminosas adaptadas al cambio climático" Valladolid, 2010

#9

## AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas permiten conservar los firmes de modo eficiente

#CONFORT\_Y\_SEGURIDAD

# SIGNUS

SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS



## Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático

**Primer manual práctico  
de formulación de betunes  
para la industria**

**“La apuesta por  
las mezclas con  
polvo de caucho  
supone ahorros  
presentes y  
futuros”**

**“Las soluciones  
con polvo de  
caucho están  
avaladas por más  
de 1.100 kilómetros  
de vías construidas  
en nuestro país”**





# Norma UNE EN 13108-8:2007

## Mezclas bituminosas.

### Especificaciones de materiales.

#### Parte 8: Mezcla bituminosa reciclada

Lucía Miranda Pérez,  
lucia.miranda@composanindustrial.com

Composan Industrial y Tecnología

#### 1. Objeto de la norma

Esta norma especifica los requisitos para la clasificación y descripción de las características del reciclado de mezclas bituminosas para ser utilizado como material constituyente en nuevas mezclas.

Este material reciclado puede proceder: del fresado de pavimentos bituminosos, de la trituración de placas extraídas de los pavimentos así como de mezclas bituminosa de excedentes y rechazos de producción.

Se incluye además los requisitos relativos a las propiedades del ligante, del árido y de las materias extrañas, se indica, cuales son las propiedades de la mezcla reciclada y de los materiales constituyentes que se deben declarar en el caso de que se requiera una descripción del lote.

#### 2. Designación del material reciclado

Se define en la norma una designación del material reciclado a través de la siguiente expresión:

**U MBR d/D**

Donde:

U: (expresado en mm) Designa el tamaño del tamiz más pequeño a través del cual pasa el 100% de las partículas de la mezcla bituminosa reciclada de origen

MBR: Son las iniciales de “Mezcla bituminosa reciclada”. En la versión en inglés este término se designa como RA “Asphalt Reclaimed”

d/D: Corresponde a la granulometría del material reciclado una vez triturado

#### 3. Requisitos de la mezcla bituminosa reciclada

##### 3.1 Detección de materias extrañas

Uno de los aspectos que se evalúan sobre el material reciclado inicial es la presencia de materias extrañas las cuales se determinan siguiendo la norma UNE EN 12697-42.

Estas materias extrañas se clasifican en dos grupos:

- Grupo 1: hormigón, ladrillos, material de subbase (excluidos los áridos naturales), mortero y metales
- Grupo 2: Materiales sintéticos, madera y plástico

Según la presencia del tipo de materias extrañas se definen unas categorías para clasificar la MBR:

- Categoría F1: El contenido de materiales del grupo 1 no sea superior al 1% y del grupo 2 no superior al 0,1 %
- Categoría F5: El contenido de materiales del grupo 1 no sea superior al 5% y del grupo 2 no superior al 0,1 %

##### 3.2 Tipo de ligante y propiedades

Se deberá indicar el tipo de ligante que forma parte de la MBR; betún de penetración, betún modificado o si la mezcla contiene algún aditivo modificador.

El ligante será extraído utilizando los métodos de ensayo UNE EN 12697-3 ó UNE EN 12697-4. La penetración y pun-

# Norma UNE EN 13108-8:2007. Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 8: Mezcla bituminosa reciclada

Tabla 1. Categorías para los posibles tipos de MBR

MRB	Característica	Categoría	Descripción
Mezclas recicladas con betún de penetración	Penetración	P15	La penetración de cada una de las muestras es de 10 dmm y la media de todas ellas es al menos 15 dmm
	Punto de reblandecimiento	S70	El punto de reblandecimiento de cada una de las muestras no es superior a 77 °C y la media de todas ellas no es superior a 70 °C
Otras mezclas recicladas con betún de penetración	Penetración	Pdec	Se declara el valor de la penetración
	Punto de reblandecimiento	Sdec	Se declara el valor del punto de reblandecimiento

to de reblandecimiento según las normas UNE EN 1426 y UNE EN 1427.

Las categorías para los posibles tipos de MBR son las recogidas en la Tabla 1.

Cuando el ligante sea modificado, se realizará una declaración de su naturaleza y propiedades basada bien en investigaciones o en informaciones actuales o anteriores.

### 3.3 Material granular

Se debe declarar la granulometría de los áridos expresándose como el porcentaje de pasa por los diferentes tamices.

### 4. Descripción de lote y gestión de la MRB

Se debe definir la cantidad del lote, y para cada uno se deberá declarar cuando se requiera, la siguiente información:

- Origen de la mezcla o de los grupos de mezcla
- Tipo y propiedades del árido
- Homogeneidad del lote determinado a partir de la variabilidad de los porcentajes de los diferentes tamaños de los áridos, del contenido de ligante y de las características de penetración y punto de reblandecimiento. Este requisito se puede expresar como el valor máximo o la desviación estándar de un número determinado de ensayos

La definición del número de muestras que hay que tomar, según la norma, se define como la cantidad del lote ex-

presada en toneladas dividido por 500 t, redondeado hacia arriba, con un mínimo de cinco muestras.

También se indica la necesidad de definir los valores máximos y mínimos requeridos para las diferentes características evaluadas sobre los materiales que componen la MRB.

Se define el empleo de un porcentaje de menos del 10% para la capa de rodadura o del 20% para capas de base o intermedia, siendo la frecuencia de toma de muestra una vez por cada 2.000 toneladas.

### 5. Otras normas relacionadas

- Normas UNE EN 1426: Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la penetración con aguja
- UNE EN 1427: Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del punto de reblandecimiento. Método del anillo y bola
- UNE EN 12697-3: Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 3: Recuperación de betún. Evaporador rotatorio.
- UNE EN 12697-4: Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 4: Recuperación de betún. Columna de fraccionamiento
- UNE EN 12697-42: Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa. Parte 42: Cantidad de materias extrañas en asfalto reciclado

# UNE-EN 12697-3:2013. Recuperación de betún. Evaporador rotatorio

En esta sección se describen métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente.

Javier Loma, jloma@ohl.es

Asfaltos y Construcciones ELSAN

## 1. Objeto y principio del ensayo

Método de ensayo para la recuperación del betún soluble en materiales bituminosos de forma adecuada para realizar posteriormente ensayos con este ligante.

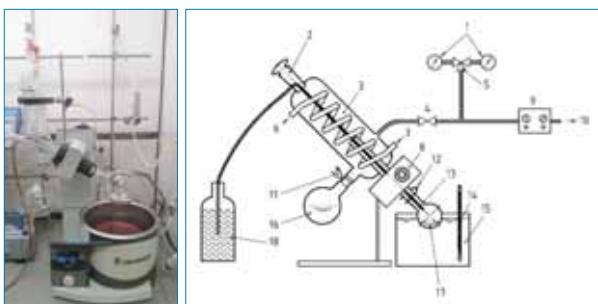
Este método de ensayo es de aplicación tanto para los betunes de penetración como para los betunes modificados.

El betún se separa de la muestra por disolución con diclorometano (u otro disolvente adecuado), retirando previamente los elementos sólidos y recuperando el betún mediante destilación por vacío utilizando un evaporador rotatorio.

## 2. Método operativo

El método operativo se divide en tres partes:

**1ª parte extracción del ligante soluble:** Para ello se puede utilizar el método de ensayo UNE EN 12697-1. Con la aplicación de este método el ligante se puede endurecer pero se compensa con el empleo del disolvente. Para esta extracción se utilizará la cantidad de muestra de mezcla bituminosa necesaria para obtener entre 120 y 150 gramos de betún.



**2ª clarificación de la disolución de ligante:** Se procede a continuación a la eliminación de las partículas sólidas que hayan podido quedar en la disolución utilizando un tamiz de abertura de 0.063 mm después de haber dejado la disolución reposando como mínimo 10 minutos. A continuación se procede a la clarificación utilizando uno de estos dos métodos:

- Por filtración a presión
- Por centrifugación en unas condiciones definidas

**3ª Extracción del ligante con el equipo rotatorio:** El proceso se realiza utilizando el equipo que se muestra en la figura haciendo pasar la disolución bituminosa a través de los matraces, variando las condiciones de temperatura y valores de presión en las diferentes fases. Este proceso tiene una duración aproximada de dos horas.

## 3. Equipamiento

Los equipos necesarios para efectuar destilaciones de las mezclas bituminosas son los siguientes:

- Equipo para la extracción de betún de la norma UNE-EN 12697-1.
- Equipos para la clarificación de la solución bituminosa, tipos centrífugas (de tubo o continuas) o sistemas de filtración.
- Equipos de destilación. Evaporador rotatorio y accesorios (matraces, baños, bomba de vacío, manómetros, termómetro).
- Disolventes. Generalmente diclorometano, aunque también se pueden utilizar otros: tolueno, tetracloroetileno, tricloroetileno, xileno o benceno.

## 4. Puntos críticos

La separación de la solución bituminosa en el equipo rotatorio en la primera fase del ensayo se debe efectuar sin provo-

car sobrecalentamientos en el material, lo que produciría la modificación de las características del ligante.

Se debe asegurar un correcto control de la presión y el vacío durante todo el ensayo, lo que requiere que se utilicen equipos capaces de realizar estas operaciones correctamente.

Se utilizan productos peligrosos capaces de disolver el betún, por lo que se debe seguir la legislación y reglamentación pertinentes en materia de seguridad y salud.

### 5. Comentarios

Este procedimiento permite extraer el betún soluble de una mezcla bituminosa para efectuar posteriormente los ensayos de caracterización. Su interés aumenta cuando se utilizan materiales procedente de fresado de mezclas bituminosas, ya que es conveniente conocer las propiedades del ligante para asegurar, dentro de la formulación de la mezcla, el empleo de un betún adecuado que permita conseguir las característi-

cas requeridas según las prestaciones de la mezcla bituminosa. Este aspecto es más importante tenerlo en cuenta sobre todo cuando se utiliza un porcentaje de fresado elevado.

### 6. Especificaciones

No existan especificaciones para este método de ensayo.

### 7. Bibliografía

- UNE-EN 12697-1. Contenido de ligante soluble.
- UNE-EN 12697-3. Recuperación de betún con el evaporador rotatorio.

*El método de ensayo permite extraer el betún soluble de una mezcla bituminosa para realizar los ensayos de características. En mezclas bituminosas con material fresado es necesario asegurar la penetración final del ligante, aún más cuando se emplea un porcentaje elevado de material fresado.*

#10

## AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

**La reciclabilidad de las mezclas asfálticas permite su reutilización, ahorrando energía y materias primas**

#HECHOS\_ECONÓMICOS

# Últimas actualizaciones en legislación, normativa y otras disposiciones

En esta sección se listarán, con periodicidad trimestral, la actualización de la legislación y otras disposiciones así como las normas UNE EN y los proyectos de normas, que se vayan publicando para diferentes materiales y comportamiento relacionados con las mezclas bituminosas. En esta entrega se recoge el listado de normas que se encuentran como proyecto de norma así como las publicadas en el periodo desde el 2 de junio hasta el 3 de octubre de 2014.

## Sección Normativa

### NORMAS DE ÁRIDOS

Norma	Título	Anula
UNE-EN 933-6:2014	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 6: Evaluación de las características superficiales. Coeficiente de flujo de los áridos	UNE-EN 933-6:2002/AC:2004
Proyecto norma	Título	
PNE-EN 1097-10	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 10: Determinación de la altura de succión de agua	
PNE-EN 1367-7	Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 7: Determinación de la resistencia a ciclos de hielo y deshielo de los áridos ligeros	
PNE-EN 1367-8	Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 8: Determinación de la resistencia a la desintegración de los áridos ligeros	
PNE-prEN 13055	Áridos ligeros para hormigones, mortero, inyecciones, mezclas bituminosas, tratamientos superficiales y aplicaciones en capas tratadas y no tratadas	

### NORMAS DE LIGANTES BITUMINOSOS

Norma	Título	Anula
UNE-EN 13808:2013/1M:2014	Betunes y ligantes bituminosos. Especificaciones de las emulsiones bituminosas catiónicas	UNE-EN 13808:2005/1M/2011
Proyecto norma	Título	
PNE-prEN 1426	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la penetración con aguja	
PNE-prEN 1427	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del punto de reblandecimiento	
PNE-prEN 12592	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la solubilidad	
PNE-prEN 12593	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del punto de fragilidad Fraass	
PNE-prEN 12594	Betunes y ligantes bituminosos. Preparación de las muestras de ensayo	
PNE-prEN 12595	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la viscosidad cinemática	
PNE-prEN 12596	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la viscosidad dinámica por viscosímetro capilar al vacío	
PNE-prEN 12597	Betunes y ligantes bituminosos. Terminología	
PNE-prEN 12606-1	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del contenido de parafinas. Parte 1: Método por destilación	
PNE-prEN 12607-1	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la resistencia al endurecimiento por efecto del calor y del aire. Parte 1: Método RTFOT (película fina rotatoria)	

### NORMAS DE LIGANTES BITUMINOSOS (CONTINUACIÓN)

Proyecto norma	Título
PNE-prEN 12607-2	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la resistencia al endurecimiento por efecto del calor y del aire. Parte 2: Método TFOT (película fina)
PNE-prEN 12607-3	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la resistencia al endurecimiento por efecto del calor y del aire. Parte 3: Método RFT (rotavapor)
PNE-prEN 13924-1	Betunes y ligantes bituminosos. Marco para la especificación de los betunes especiales. Parte 1: Ligantes bituminosos de grado duro
PNE-EN 13924-2	Betunes y ligantes bituminosos. Marco para la especificación de los betunes especiales. Parte 2: Ligantes bituminosos multigrado
PNE-FprCEN/TS 16346	Ligantes bituminosos. Determinación del comportamiento de ruptura y la adhesividad inmediata de las emulsiones bituminosas catiónicas con un árido de 2/4 mm
PNE-prEN 16659	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la fluencia-recuperación de un ligante después de someterlo a múltiples esfuerzos repetidos. Ensayo MSCR

### NORMAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS

Norma	Título	Anula
UNE-EN 12697-49:2014	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 49: Determinación del rozamiento tras el pulido	Primera publicación

Proyecto norma	Título
PNE-prEN 12697-2	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas
PNE-prEN 12697-4	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 4: Columna de fraccionamiento
PNE-prEN 12697-22	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 22: Ensayo de rodadura
PNE-prEN 12697-25	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 25: Ensayo de compresión
PNE-prEN 12697-32	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 32: Compactación en laboratorio de mezclas bituminosas mediante compactador vibratorio
PNE-prEN 12697-33	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 33: Elaboración de probetas con compactador de placas
PNE-prEN 12697-35	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 35: Mezclado en laboratorio
PNE-prEN 12697-43	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 43: Resistencia a los combustibles
PNE-prEN 12697-48	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 48: Ensayo de adherencia entre capas
PNE-prEN 13108-1	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso
PNE-prEN 13108-2	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 2: Mezclas bituminosas para capas delgadas
PNE-prEN 13108-3	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 3: Mezclas bituminosas tipo SA
PNE-prEN 13108-4	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 4: Mezclas bituminosas tipo HRA
PNE-prEN 13108-5	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 5: Mezclas bituminosas tipo SMA
PNE-prEN 13108-6	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 6: Másticos bituminosos
PNE-prEN 13108-7	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 7: Mezcla bituminosa drenante
PNE-prEN 13108-8	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 8: Mezcla bituminosa reciclada
PNE-prEN 13108-9	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 9: Mezclas bituminosas tipo AUTL
PNE-prEN 13108-20	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 20: Ensayo de tipo
PNE-prEN 13108-21	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 21: Control de producción en fábrica

## NORMAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS (CONTINUACIÓN)

Proyecto norma	Título
PNE-prEN 13285	Mezclas de áridos sin ligante. Especificaciones
PNE-prEN 16333	Lechadas bituminosas. Especificaciones para aeropuertos
PNE-prEN 14187-9	Productos de sellado aplicados en frío. Métodos de ensayo. Parte 9: Ensayo de funcionamiento de productos de sellado
PNE 41250-1 (*)	Métodos de ensayo para la medida de deflexiones en firmes. Parte 1: Viga Benkelman
PNE 41250-2 (*)	Métodos de ensayo para la medida de deflexiones en firmes. Parte 2: Deflectógrafo Lacroix
PNE 41250-3 (*)	Métodos de ensayo para la medida de deflexiones en firmes. Parte 3: Deflectómetro de impacto
PNE 41250-4 (*)	Métodos de ensayo para la medida de deflexiones en firmes. Parte 4: Curvímetro

(\*) Normas que se encuentran ya aprobadas pero pendientes de traducción en España

## COMENTARIO

### NORMAS DESTACADAS EN ESTA REVISIÓN DE LA NORMATIVA:

- Aprobación del anexo a la norma UNE EN 13808 donde se incluye las especificaciones de las emulsiones bituminosas catiónicas más comunes a utilizar en España.
- Aprobación de la norma UNE EN 12697-49 sobre la metodología de ensayo para determinar la resistencia al deslizamiento de una mezcla en laboratorio.
- Incorporación de nuevas normas de la serie UNE EN 12697 dentro del periodo que corresponde de revisión. Entre ellas están la UNE EN 12697-2; 4 y 35

## Últimas actualizaciones en legislación, normativa y otras disposiciones

### Legislación y otras disposiciones (actualizada a 13 de octubre de 2014)

#### AYUDAS PARA LAS MATRÍCULAS EN LAS ENSEÑANZAS DE DOCTORADO DEL PERSONAL INVESTIGADOR EN FORMACIÓN 2014 (PENDIENTE DE PUBLICACIÓN EN BOE)

##### Descripción general

Las ayudas tienen como objeto financiar el pago de las matrículas en las enseñanzas de doctorado que realice el personal investigador en formación.

##### Objetivos específicos y actividades que se financian

Las ayudas tienen como objeto financiar el pago de las matrículas en las enseñanzas de doctorado que realice el personal investigador en formación, correspondientes a los cursos 2012-13 y/o 2013-14, y que sean realizadas en una universidad española, pública o privada. Con carácter excepcional, se podrán conceder ayudas para el pago de las matrículas de máster que realice el personal investigador en formación, que tenga una ayuda para la formación de personal investigador al amparo de la convocatoria 2012 del Subprograma FPI, correspondientes a los cursos 2012-13 y/o 2013-14. Las ayudas no podrán exceder de las cuantías máximas de los precios públicos por la prestación de servicios académicos universitarios establecidas por la correspondiente Comunidad Autónoma para las universidades públicas, para los cursos correspondientes. En el caso de las ayudas para financiar créditos, solo se concederán para primeras matrículas.

[www.itafec.com](http://www.itafec.com)

Los tiempos están cambiando  
Entra en la web y regístrate



**Lucía Miranda**  
"Me parece una forma moderna y eficaz de acceder a los archivos del sector"



**Miguel Ángel del Val**  
"Reconozco que inicialmente la idea me sorprendió, pero ahora estoy plenamente convencido"



**Ángel Sampedro**  
"Es un camino nuevo al que me uno y animo a otros a que hagan lo mismo"

Ya hay más de 5.000 usuarios

# ¿A qué esperas?



[Acceder a mi cuenta](#)

[INICIO](#) • [SERVICIOS](#) • [EVENTOS](#) • [TIENDA](#) • [NOTICIAS](#) • [CONTACTO](#)

Español



## Mayor impacto a través de las redes sociales

Antes, durante y después del evento

Desde la gestión de las redes sociales Facebook, Twitter y LinkedIn, **itafec** dará a conocer previamente, a toda su red de contactos, cuándo se va a realizar el evento, congreso o jornada, potenciando las inscripciones y la presencia en los medios de comunicación pero además, el evento no termina en la clausura



### Retransmisión Online

Visualización en directo en nuestro portal: con un solo click usted podrá asistir al evento desde cualquier parte del mundo

[MÁS INFORMACIÓN](#)

### Gestión y Coordinación

Itafec dispone de una pasarela de pago y TPV para facilitar las inscripciones desde cualquier lugar del mundo

[MÁS INFORMACIÓN](#)

### Comunicación

Por medio del gabinete de comunicación experto de Itafec lanzamos una campaña de información previa del evento

[MÁS INFORMACIÓN](#)

### Tienda de recursos

La grabación del evento genera unos archivos digitales que, junto a textos y presentaciones del evento, pueden ser alojados y comercializados en Itafec

[MÁS INFORMACIÓN](#)

## Noticias Recientes

[#XVII Congreso CILA, un ejemplo de gestión 2.0 con tiempos muy ajustados](#)  
12 / 12 / 2013

La gestión del Social Media del XVII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto (CILA) a tan solo 37 días del mayor evento del sector de las carreteras en Iberoamérica fue para ITAFEC una oportunidad pero, ante todo un gran reto...

## Agenda de Eventos

DICIEMBRE 2013

Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
						1
2	3	4	5	6	7	8



## Jornada Nacional de Asefma: Incidencia real del estado del pavimento

La Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (Asefma) analizó, durante su IX Jornada Nacional, celebrada el pasado día 26 de junio, la influencia del “estado del pavimento en la vida de los ciudadanos”. Este lema marcó las ponencias y comunicaciones presentadas. Además de las consecuencias evidentes de carreteras mal conservadas sobre los daños a los vehículos y la seguridad vial, un firme en mal estado es determinante en el acceso a derechos fundamentales, a bienes y servicios básicos, e incide negativamente en la economía y la calidad de vida de los ciudadanos.

Más allá de lo evidente, el posible impacto de un deterioro en el daño a nuestro vehículo, hay otras muchas incidencias, ya contrastadas, que afectan a la actividad de todos los ciudadanos. En esta IX Jornada Nacional de Asefma, coordinada por el profesor Ángel Sampedro, se abordaron las consecuencias del estado de conservación del pavimento de nuestras carreteras en relación con el consumo de combustible, al ruido generado entre neumático/pavimento, a las emisiones de gases de efecto invernadero o al esfuerzo adicional que produce en los conductores, etc. El encuentro contó con el patrocinio de las empresas Cepsa, Galp Energía y Repsol.

Con la presencia de académicos, técnicos vinculados a pavimentos y seguridad vial, así como profesionales del transporte, Asefma también abordó la relación entre la seguridad vial y el estado del pavimento, las patologías de las carreteras españolas, la desinformación en materia de infraestructura de transportes y la ausencia de transparencia política en conservación viaria.

Estos aspectos estuvieron en primera línea de debate online, que pudo seguirse gratuitamente desde la plataforma de Itafec o en Twitter, con el hashtag #IXJornadaAsefma.

En la inauguración intervinieron el presidente de Asefma, Juan José Potti, y el secretario general de Infraestructuras del Ministerio de Fomento, Manuel Niño. El primero de ellos señaló que los últimos datos disponibles sobre producción de mezclas bituminosas en España marcan un descenso acumulado de más del 70% desde 2007 y un mínimo histórico registrado en 2013 de 12,3 millones de producción. La caída de la producción de asfalto indica la

escasa inversión en el medio de transporte más utilizado por los españoles. Concretamente, significa más del 90% de los desplazamientos de viajeros y más del 80% del transporte de mercancías. “La relación entre la conservación del pavimento de carreteras y la vida de los ciudadanos es evidente”, afirmó el presidente de Asefma; infraestructuras viarias bien conservadas repercuten en la calidad de vida, economía y medio ambiente. Es más, “las políticas preventivas en materia de carreteras resultan ser, a medio y largo plazo, mucho más económicas que las políticas curativas”. Francia, en donde sí se aplican, es un ejemplo de ello.

Manuel Niño insistió en que la conservación viaria es una prioridad para Fomento. Reconoció la importancia de la carretera en la vida de los ciudadanos y afirmó que desde el Ministerio se está desarrollando un paquete de inversiones relacionadas con mantenimiento y explotación, también en seguridad vial y optimización de autopistas de peaje. “En un contexto de contención presupuestaria, la sociedad nos exige realizar ajuste de costes y atender a las prioridades más urgentes”, afirmó. También tuvo palabras el secretario general de Infraestructuras para las entidades dedicadas a la pavimentación asfáltica: “Las empresas españolas de fabricantes de asfalto realizan un excelente trabajo que beneficia a los usuarios de carreteras”, señaló.

### Premio “Mejores Prácticas Ambientales”

En el transcurso de la Jornada, tuvo lugar la presentación del I premio a las Mejores Prácticas Ambientales (MPA) del sector de la pavimentación, a cargo de Ángel Sampedro y



## Noticias del sector

Fernando Onega, y cuya entrega correspondió a Juan Lazcano. Esta iniciativa sectorial aspira a reconocer los desarrollos en materia de mezclas asfálticas que significan avances técnicos, económicos, sostenibles y medioambientalmente amigables, y responde a la creciente sensibilidad medioambiental de las entidades fabricantes de asfalto y vinculadas a su producción, transporte y aplicación.

Sacyr Construcción y Repsol Lubricantes y Especialidades han sido galardonados en esta primera convocatoria. Su proyecto "Mezclas recicladas templadas de tasa total con emulsión" ha sido la propuesta mejor valorada atendiendo a criterios de innovación y sostenibilidad en materia de pavimentos, así como por su repercusión en el sector y mejoras ambientales evaluadas. Sacyr Construcción y Repsol Lubricantes y Especialidades han desarrollado una técnica innovadora a nivel mundial, que permite la rehabilitación del pavimento de la carretera, reutilizando el 100% de los materiales que están deteriorados y envejecidos, empleando para ello una emulsión asfáltica desarrollada

con esta finalidad. La técnica se ejecuta a una temperatura por debajo de 100 °C (frente a las clásicas técnicas en caliente realizadas a temperaturas superiores a los 160°C), lo que supone una importante reducción de emisiones a la atmósfera, optimización de la eficiencia energética para el aplicador y unas mejores condiciones laborales para los operarios que la manipulan.

En la rehabilitación de un pavimento de carretera, el material generado en la renovación de las capas deterioradas suele generar un residuo excedente, dada la inexistencia actual de mezclas bituminosas recicladas capaces de absorberlo en la misma obra, Sacyr y Repsol resuelve con esta técnica del reciclado templado con emulsión este problema: la nueva mezcla es fabricada a partir del material procedente del fresado de las carreteras a rehabilitar. Los beneficios de esta tecnología son económicos, medioambientales y sociales. Por un lado, al calentar durante la fabricación a menor temperatura, se reduce el consumo de combustible, los compuestos orgánicos volátiles y las emisiones de CO2 a la

# Aglomerado COLOREADO

## Pigmento tradicional en polvo



## NUEVO PIGMENTO EN ESCAMAS



**Sodemin, s.l.** Presenta un nuevo pigmento **Oxido Rojo en Escamas** para colorear aglomerado asfáltico fabricado a partir de betún natural, obteniendo excelentes rendimientos, principales características:

- Fácil Manipulación, no mancha, no irrita la piel ni las fosas nasales.
- Excelente rendimiento, superior al pigmento en polvo,
- Garantiza una larga vida al pavimento coloreado.
- Mejor rendimiento económico frente al pigmento en polvo.

Proponemos una prueba para contrastar rendimiento en sus instalaciones. Contacte con nuestro Dpto. Técnico.

Otros colores, Disponemos igualmente de Pigmento en escamas en color amarillo y blanco. Dispersiones de ALTO rendimiento, igualando y/o superando la capacidad del mismo pigmento en polvo.

En nuestra fabrica, en Marsella (Francia), disponemos de equipos especiales de formulación para conseguir cualquier color. Suministrado en sacos termo-sellados.



PEP Ox. Rojo  
(Pigment Enrobé Polymère)  
Es un producto de:



Datos de contacto:

**Sodemin, s.l.**

Sant Llorenç, 23  
43850 Cambrils - Tarragona  
tel. 902 014 232 - 630 97 73 53 fax. 902 014 299  
[marc.mir@sodemin.com](mailto:marc.mir@sodemin.com) - [www.sodemin.com](http://www.sodemin.com)

atmósfera. Por otro lado, al reutilizar el 100% del material fresado de las carreteras a rehabilitar, se evita el tener que enviar este material a vertedero y se disminuyen sustancialmente los costes de fabricación, sin pérdida de calidad en el producto finalmente obtenido, lo que constituye el aspecto más innovador del proyecto.

La presente tecnología se ha desarrollado en el marco de cinco proyectos de investigación. Dos han sido financiados a nivel nacional por el Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial, (CDTI), y el Ministerio de Economía y Competitividad, (Mineco). A nivel internacional, otros dos han sido financiados por la Unión Europea y uno por el Gobierno de Chile. Sacyr y Repsol han construido con esta técnica los dos primeros tramos de prueba en autovías españolas con tasas de reutilización de material fresado del 100% y del 50% respectivamente.

### Comunicaciones libres

Como es tradicional, la última sesión de la Jornada estuvo dedicada a las comunicaciones libres. Jesús Felipe y Vicente Pérez, coordinadores de la Mesa subrayaron la alta calidad técnica e interés para el sector de los 34 trabajos presentados. En primer lugar, Julio del Pozo y José Luis Peña realizaron un resumen de las comunicaciones no seleccionadas. A continuación tuvo lugar la presentación de las seis comunicaciones seleccionadas, a cargo de los autores, y que se recogen a continuación:

- Proyecto Pavirex. Comportamiento al fuego de mezclas bituminosas a escala real, presentada por Marisol Barral y colaboradores, que se alzó como ganadora.
- Análisis de la medida en laboratorio de la resistencia al deslizamiento de mezclas bituminosas con el equipo Wehner Schulze. Comparación con equipos de alto rendimiento empleados en campo, presentada por Marisol Barral y colaboradores.
- Mezclas SMA (Stone Mastic Asphalt), sostenibles y medioambientalmente amigables, presentada por Andrés Costa y colaboradores.
- Betún mejorado con caucho de NFU para mezclas de alto módulo, presentada por M<sup>a</sup> del Mar Colás y colaboradores.



- Rodaduras urbanas sostenibles, presentada por Francisco Guisado y colaboradores.
- Criterios y especificaciones para el uso del ensayo Fénix en el diseño de mezclas bituminosas tipo AC, presentada por Félix E. Pérez-Jiménez y colaboradores.

### Incidencias destacadas y principales propuestas

Los profesionales del transporte, académicos y técnicos de la pavimentación y seguridad vial que participaron en la Jornada de Asefma coincidieron en apuntar que “las Administraciones de carreteras deben hacer un esfuerzo superior en materia de conservación de carreteras” porque “del estado del pavimento nos beneficiamos todos: no sólo afecta a profesionales del transporte y usuarios de carreteras, sino a la totalidad del país”. Un pavimento en buen estado, con una buena regularidad superficial, disminuye el consumo de combustible de un vehículo ligero en un porcentaje de 12-18%. Reducir un 10% del consumo de combustible en España supone un ahorro, sólo por este concepto, superior a los 1.000 millones de euros cada año. Además, un pavimento en mal estado provoca que los vehí-

culos que por él circulan aumenten hasta un 34% las emisiones de gases de efecto invernadero. Genera mayor tráfico y problemas circulatorios y puede disminuir la vida útil de los vehículos hasta un 25%, acelerando el envejecimiento del parque automovilístico español.

Por otro lado, una política de mejora de la regularidad superficial de las carreteras logra disminuir los gastos de conservación, incrementa la durabilidad de los pavimentos y disminuye significativamente el consumo de combustible. Así quedó patente durante la intervención del doctor Jorge Prozzi quién explicó las medidas que, en esta línea, están siendo aplicadas por la Administración de carreteras de Texas (Estados Unidos).

En la sesión coordinada por Pere Macías, presidente de la Comisión de Seguridad Vial y Movilidad, se destacó la necesidad de impulsar la Ley de transparencia, en materia de carreteras, para poder implementar medidas similares a las de Texas en España. Sobre la mesa quedaron evidencias tales como que un firme deteriorado obstaculiza la cohesión del territorio, limita el acceso a bienes y servicios básicos e incide negativamente en la economía en la medida en que incrementa los costes para los usuarios y empresas. De la inversión en carreteras dependen 85.000 empleos directos, 52.000 indirectos, y el 0,4% del PIB de España.

Los fabricantes de mezclas asfálticas recuerdan que el pavimento acumula el 94% déficit total de las carreteras españolas, estimado en 6.200 millones de euros. En concreto, las necesidades de inversión en reposición y refuerzo de firmes alcanza los 5.828 millones de euros para el conjunto de las carreteras españolas: 1.883 millones en la red estatal y 3.945 millones en las vías autonómicas.

### Falleció Hélio Farah, secretario general adjunto de CILA

El Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto (CILA) está de luto. También lo está la Asociación Latino-Americana del Asfalto (AILA) y todos sus miembros. Ha fallecido Hélio Farah, secretario general adjunto de CILA y director de AILA. Junto al doctor Jorge Omar Agnusdei, el ingeniero brasileño fue fundador y uno de los mayores promotores del intercambio de conocimiento técnico en materia de

asfalto que en 1981 y en Río de Janeiro (Brasil) tomaba la forma de macro evento científico para plantar la semilla de lo que hoy es CILA.

También fue encargado de comunicar oficialmente el nacimiento de AILA. Lo hizo en el XVII CILA (Guatemala, 2013), mediante un emotivo discurso donde también mencionó el espíritu del CILA y el valor de sus senadores. Farah ejercía como máximo representante de AILA, cuya actividad fue expuesta en Madrid hace apenas unos meses con motivo del I interCILA.

Asefma recibe con pesadumbre la noticia del fallecimiento del ingeniero Hélio Farah y transmite sus sentidas condolencias a familiares y allegados. Lamenta la pérdida de quien considera uno de los mayores representantes y técnicos del asfalto en Iberoamérica.

### Asefma lanza interCILA. Evento online ibero-latinoamericano sobre pavimentación

La Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (Asefma) y la Asociación Ibero-Latinoamericana del Asfalto (AILA) han celebrado la primera edición del encuentro online sobre pavimentación asfáltica y en español (interCILA). La jornada técnica virtual tuvo lugar en Madrid en vísperas de la celebración de la IX Jornada Nacional de Asefma, y contó con un evento espejo en Montevideo (Uruguay).

InterCILA fue coordinado por el catedrático de Caminos Miguel Ángel del Val y promovido por Asefma junto a la Asociación Ibero-Latinoamericana del Asfalto (AILA). Además de abordar la I+D+i en materia de pavimentación y mezclas bituminosas, interCILA fue el marco de exposición para los progresos del XVIII CILA, que tendrá lugar en Bariloche (Argentina) en 2015. También fue el evento elegido para presentar la metodología de diseño de mezclas asfálticas elaborada por ALEAS y el "Manual para la puesta en obra de mezclas asfálticas", redactado por el ingeniero español Jacinto Luis García Santiago.

Además de Asefma y AILA, participaron en la difusión de interCILA y en el esfuerzo cohesionador de la comunidad ibero-latinoamericana vinculada a pavimentación asfál-



tica la Asociación Uruguaya de Caminos, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) de la Universidad de Costa Rica y el Instituto del Asfalto y Asoasfaltos de Guatemala.

Delegados internacionales del Congreso ibero-latinoamericano del asfalto (CILA) participaron en la que desde su primera convocatoria constituye ya la mayor reunión de habla hispana sobre cuestiones asfálticas, al contar con una asistencia de 104 personas en la modalidad presencial y 248 puntos de conexión online entre Iberoamérica, España y Portugal. La primera edición de interCILA fue pionera en el uso de tecnologías de la información y comunicación dentro del sector. Todo el evento fue retransmitido online vía streaming y el debate integró las comunicaciones de Twitter; que generaron más de cinco millones de impresiones. La inscripción online fue gratuita gracias al patrocinio del grupo uruguayo Bitafal, mediante el Centro de Investigación de Tecnologías Viales (Citevi). El número de inscripciones, entendidas como usuarios únicos y medidos mediante registro por IP, fue de 167 y corresponden a 19 países distintos. En particular, los países iberoamericanos con mayor participación han sido: Ecuador (23 inscripciones), México (10), Venezuela (nueve), Perú (ocho), Costa Rica (siete), Guatemala (siete) y Argentina (seis). Estas cifras apuntan un récord en alcance internacional de visualización de eventos retransmitidos vía streaming por Itafec desde su plataforma virtual.

A dichos datos de seguimiento hay que sumar la visualización en auditorios: la Asociación Uruguaya de Caminos, el Instituto del Asfalto de Guatemala y Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (Lanamme) de

la Universidad de Costa Rica habilitaron espacios para el seguimiento colectivo de la jornada.

En total fueron 352 los seguidores de este evento internacional y significa que el 72,5% de los participantes totales de la jornada han optado por la modalidad online. De este modo se concluye que emplear las tecnologías de la información y comunicación para la difusión de eventos técnicos garantiza no sólo el éxito de participación sino también la extensión del conocimiento.

A la hora de evaluar el alcance total de interCILA habría que considerar los datos procedentes de la difusión mediante Social Media. Concretamente, en la red de información Twitter se estima que, sólo durante el día de la jornada, han estado expuestos a los contenidos abordados en interCILA 295.511 usuarios: en el debate online (medido a partir del uso y repercusión del hashtag #interCILA en Twitter) participaron 121 usuarios que generaron 2.081 tweets y 5.725.579 impresiones. El uso de herramientas sociales para el intercambio de conocimiento está cada vez más extendido en el sector y también contribuye a amplificar el alcance y contenidos de toda jornada técnica.

## “Valoración medioambiental de las técnicas de pavimentación” Grupo IV del Comité Técnico de Asefma

Dentro de los Grupos de Trabajo de la asociación Asefma se encuentra el Grupo IV –“Medio Ambiente”, que, como su propio nombre indica, se encarga de trabajar sobre las temáticas ambientales de nuestro sector. El coordinador de este Grupo es Angel Sampedro Rodriguez.

En este grupo trabajan representantes de empresas miembros de Asefma, de todos los ámbitos: constructoras, fabricantes, maquinaria y equipos, laboratorios, ligantes, aditivos, universidades, etc. Desde Asefma, se quiere aprovechar esta nota para invitar a las empresas asociadas a seguir participando, tanto en este grupo como en el resto, para colaborar activamente en el desarrollo del sector de las mezclas asfálticas.

La publicación de este número monográfico de la Revista Asfalto y Pavimentación, sobre Reutilización de mezclas bituminosas, coincide con el desarrollo, dentro del ci-

## EL CAMINO ENERGIZED BY LANXESS

Para nosotros mostrar el camino es una simple cuestión de responsabilidad. Responsabilidad acerca de la seguridad de las personas. Ya sea en carriles bici, carriles señalizados en color, plazas públicas o instalaciones deportivas – Bayferrox® 230A marca un claro camino cuando se trata de movilidad. El asfalto coloreado con pigmentos Bayferrox® es atractivo y muestra el camino a un futuro seguro. Como líderes en la fabricación de óxidos de hierro sintéticos estamos dejando huella en infraestructuras – en colores intensos, sólidos a la luz, resistentes a la intemperie y, por supuesto, sostenibles. Soluciones que muestran el camino. [www.bayferrox.com](http://www.bayferrox.com)

**BAYFERROX**  
Color for Life

tado Grupo de Trabajo, de un documento técnico sobre la Reutilización del RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), que estará editado en unos meses, antes de finalizar el presente año.

Este documento está englobado dentro de la Monografía sobre la que se está trabajando, para analizar y desarrollar la "Valoración medioambiental de las Técnicas de Pavimentación". El sector de las mezclas bituminosas lleva muchos años preocupándose, de forma activa, por mejorar la sostenibilidad nuestra actividad, y, desde Asefma, se ha considerado el momento oportuno de plasmar todo ese conocimiento para su difusión.

Dentro de las mezclas bituminosas, son muchas las técnicas sostenibles que se van a abordar, lo cual ha motivado que dicha monografía se vaya a ir editando en documentos separados, que son, los siguientes:

1. Reutilización del RAP (material de fresado)
2. Mezclas de baja temperatura
3. Uso de subproductos: filler y polvo procedente de NFU
4. Ecoetiquetado y Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Este primer documento tiene por objeto describir y analizar las mejores prácticas para el tratamiento y posterior reutilización del material fresado de pavimentos asfálticos, dentro de lo que se conoce como la técnica del reciclado en caliente.

Para ello, y de la mano de los mejores especialistas, se analiza el proceso de obtención, el tratamiento necesario, la caracterización del material fresado, su utilización, y la valoración de las ventajas ambientales que supone su empleo.

Incluye una recopilación y análisis de las experiencias españolas e internacionales en esta técnica, para establecer una guía práctica de cara a su empleo en obras de pavimentación, en un momento clave, en el que está pendiente la actualización de las especificaciones vigentes para mezclas bituminosas en obras de construcción y conservación de carreteras.

El objeto es que las estadísticas de fabricación de mezclas bituminosas en España logren mejorar; y mucho, unos porcentajes de reutilización de RAP que, a día de hoy, son muy inferiores a los de los países de nuestro entorno.

# Calendario de eventos

## AÑO 2014

<b>6-7 de noviembre</b> Asociación Peruana de Carreteras	<b>Congreso Nacional del Asfalto y Congreso Nacional del Concreto 2014</b> eventos@asociacionperuanadecarreteras.com	<b>Lima (Perú)</b>  www.asociacionperuanadecarreteras.com
<b>21-24 de noviembre</b> AASHTO	<b>AASHTO Annual Meeting</b>	<b>Charlotte, North Carolina (EEUU)</b> www.cvent.com/events/2014-aashto-annual-meeting/
<b>27 de noviembre</b> ATC-PIARC	<b>Jornada Técnica "La nueva norma de trazado 3.1-IC"</b> r.alonso@atc-piarc.com	<b>Madrid (España)</b> www.atc-piarc.com
<b>9 de diciembre</b> Eurobitume	<b>Asphalt Day 2014</b>	<b>Amersfoort (Holanda)</b> www.eurobitume.eu/events

## AÑO 2015

<b>11-15 de enero</b> TRB	<b>94<sup>th</sup> TRB Annual Meeting</b> Rcunard@NAS.edu	<b>Washington DC (EEUU)</b> www.trb.org/
<b>19-22 de enero</b> ISSA	<b>2015 Slurry Systems Workshop</b>	<b>Las Vegas, Nevada (EEUU)</b> http://slurry.org/upcoming-meetings/ssws2015/
<b>25-28 de enero</b> NAPA	<b>NAPA's 2015 Annual Meeting</b>	<b>Marco Island, Florida (EEUU)</b> www.asphaltpavement.org/
<b>10-11 de febrero</b> ARBIT	<b>Symposium ARBIT</b>	<b>Leipzig (Alemania)</b> www.arbit.de/service/kalender
<b>22-25 de febrero</b>  IBEF	<b>6<sup>th</sup> World Emulsion Congress &amp; 1st Pavement Preservation &amp; Recycling Summit</b>	<b>París (Francia)</b>  www.ibef-net/
<b>3-5 de marzo</b> NCAT	<b>2015 Pavement Test Track Conference</b> www.eng.auburn.edu/research/centers/ncat/newsroom/2015conference.html	<b>Auburn, Alabama (EEUU)</b>
<b>8-11 de marzo</b> AAPT	<b>90 AAPT Annual Meeting</b> aaptinfo@gmail.com	<b>Portland, Oregon (EEUU)</b> www.asphalttechnology.org/
<b>17-19 de marzo</b>	<b>World of Asphalt 2015</b>	<b>Baltimore, Maryland (EEUU)</b> www.worldofasphalt.com
<b>5-6 de mayo</b> FGSV	<b>Asphaltstraßentagung</b>	<b>Hamburgo (Alemania)</b> www.fgsv.de
<b>4 de junio</b> EAPA	<b>9<sup>th</sup> EAPA Symposium</b>	<b>Estambul (Turquía)</b> www.eapa.org/events.php
<b>10-12 de junio</b>  Universidades de Tesalónica, Ulster y Mississippi	<b>6<sup>th</sup> International Conference 'Bituminous Mixtures and Pavements'</b>	<b>Tesalónica (Grecia)</b>  http://iconfbmp.civil.auth.gr
<b>12-15 de julio</b> TRB	<b>11<sup>th</sup> International Conference on Low-Volume Roads</b>	<b>Pittsburgh, Pensilvania (EEUU)</b> www.trb.org
<b>4-7 de octubre</b> Consulpav	<b>Rubberized Asphalt Rubber 2015</b> catia.dantas@consulpav.com	<b>Las Vegas, Nevada (EEUU)</b> www.consulpav.com/rar2015/
<b>7-9 de octubre</b> RILEM	<b>8<sup>th</sup> International RILEM Symposium</b>	<b>Ancona (Italia)</b> www.rilem-sib2015.it
<b>Noviembre</b> Comisión Permanente del Asfalto	<b>XXVII Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto</b>	<b>Bariloche (Argentina)</b> www.cpasfalto.org/eventos.htm
<b>2-6 de noviembre</b> AIPCR	<b>XXV Congreso Mundial de la Carretera</b> info@atc-piarc.com	<b>Seúl (Corea del Sur)</b> www.atc-piarc.com

# HA NACIDO NOVAFIR

Nueva publicación  
sobre firmes y pavimentos



**NOVAFIR/1**  
INGENIERÍA DE PAVIMENTOS

Edición David Hernando  
Manuel G. Romana y Miguel Ángel del Val

**2012** CONTENIDO:  
MEZCLAS BITUMINOSAS DE CALIENTE  
MEZCLAS BITUMINOSAS CON POLVO DE CAUCHO (MEZCLAS)  
DE ALMACENTAMIENTO EN CALIENTE  
MEZCLAS BITUMINOSAS FRIAS DE CALIENTE  
MEZCLAS BITUMINOSAS FRIAS DE CALIENTE  
MEZCLAS BITUMINOSAS FRIAS DE CALIENTE  
MEZCLAS BITUMINOSAS FRIAS DE CALIENTE  
MEZCLAS BITUMINOSAS FRIAS DE CALIENTE  
MEZCLAS BITUMINOSAS FRIAS DE CALIENTE  
MEZCLAS BITUMINOSAS FRIAS DE CALIENTE

Novafir es una nueva serie de volúmenes recopilatorios de artículos científicos, estados del arte, artículos de divulgación y casos prácticos aplicados tanto a explanadas como a pavimentos bituminosos y de hormigón.

YA A LA VENTA EL PRIMER NÚMERO - [www.cinter.es](http://www.cinter.es)

Una edición de David Hernando,  
con Manuel G. Romana y Miguel Ángel  
del Val como editores adjuntos.

## NOVAFIR

Nace como una nueva serie de volúmenes recopilatorios de artículos sobre firmes y pavimentos que recogen aspectos novedosos sobre los materiales, los deterioros, el dimensionamiento, la fabricación, la conservación y la tecnología de pavimentación, y de artículos que, a pesar de no desarrollar aspectos novedosos, llevan a cabo un análisis de la información existente que sirve como base para avanzar en el conocimiento.

## EL NÚMERO UNO

Este primer volumen incluye 19 artículos clasificados en 9 capítulos: explanadas, mezclas bituminosas en caliente, mezclas bituminosas con polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso, mezclas bituminosas fabricadas a baja temperatura, pavimentos de hormigón, firmes especiales, puesta en obra, auscultación y reciclado de firmes.



Editado por CINTER  
con la colaboración de ASEFMA





DEPARTURES			
TIME	TO	FLIGHT NO. GATE	REMARKS
06:00	BARCELONA	IB3181	OK
06:00	BARCELONA	IB3182	OK
06:00	BARCELONA	IB3183	OK
06:00	BARCELONA	IB3184	OK
06:00	BARCELONA	IB3185	OK
06:00	BARCELONA	IB3186	OK
06:00	BARCELONA	IB3187	OK
06:00	BARCELONA	IB3188	OK
06:00	BARCELONA	IB3189	OK
06:00	BARCELONA	IB3190	OK
06:00	BARCELONA	IB3191	OK
06:00	BARCELONA	IB3192	OK
06:00	BARCELONA	IB3193	OK
06:00	BARCELONA	IB3194	OK
06:00	BARCELONA	IB3195	OK
06:00	BARCELONA	IB3196	OK
06:00	BARCELONA	IB3197	OK
06:00	BARCELONA	IB3198	OK
06:00	BARCELONA	IB3199	OK
06:00	BARCELONA	IB3200	OK
06:00	BARCELONA	IB3201	OK
06:00	BARCELONA	IB3202	OK
06:00	BARCELONA	IB3203	OK
06:00	BARCELONA	IB3204	OK
06:00	BARCELONA	IB3205	OK
06:00	BARCELONA	IB3206	OK
06:00	BARCELONA	IB3207	OK
06:00	BARCELONA	IB3208	OK
06:00	BARCELONA	IB3209	OK
06:00	BARCELONA	IB3210	OK
06:00	BARCELONA	IB3211	OK
06:00	BARCELONA	IB3212	OK
06:00	BARCELONA	IB3213	OK
06:00	BARCELONA	IB3214	OK
06:00	BARCELONA	IB3215	OK
06:00	BARCELONA	IB3216	OK
06:00	BARCELONA	IB3217	OK
06:00	BARCELONA	IB3218	OK
06:00	BARCELONA	IB3219	OK
06:00	BARCELONA	IB3220	OK
06:00	BARCELONA	IB3221	OK
06:00	BARCELONA	IB3222	OK
06:00	BARCELONA	IB3223	OK
06:00	BARCELONA	IB3224	OK
06:00	BARCELONA	IB3225	OK
06:00	BARCELONA	IB3226	OK
06:00	BARCELONA	IB3227	OK
06:00	BARCELONA	IB3228	OK
06:00	BARCELONA	IB3229	OK
06:00	BARCELONA	IB3230	OK
06:00	BARCELONA	IB3231	OK
06:00	BARCELONA	IB3232	OK
06:00	BARCELONA	IB3233	OK
06:00	BARCELONA	IB3234	OK
06:00	BARCELONA	IB3235	OK
06:00	BARCELONA	IB3236	OK
06:00	BARCELONA	IB3237	OK
06:00	BARCELONA	IB3238	OK
06:00	BARCELONA	IB3239	OK
06:00	BARCELONA	IB3240	OK
06:00	BARCELONA	IB3241	OK
06:00	BARCELONA	IB3242	OK
06:00	BARCELONA	IB3243	OK
06:00	BARCELONA	IB3244	OK
06:00	BARCELONA	IB3245	OK
06:00	BARCELONA	IB3246	OK
06:00	BARCELONA	IB3247	OK
06:00	BARCELONA	IB3248	OK
06:00	BARCELONA	IB3249	OK
06:00	BARCELONA	IB3250	OK
06:00	BARCELONA	IB3251	OK
06:00	BARCELONA	IB3252	OK
06:00	BARCELONA	IB3253	OK
06:00	BARCELONA	IB3254	OK
06:00	BARCELONA	IB3255	OK
06:00	BARCELONA	IB3256	OK
06:00	BARCELONA	IB3257	OK
06:00	BARCELONA	IB3258	OK
06:00	BARCELONA	IB3259	OK
06:00	BARCELONA	IB3260	OK
06:00	BARCELONA	IB3261	OK
06:00	BARCELONA	IB3262	OK
06:00	BARCELONA	IB3263	OK
06:00	BARCELONA	IB3264	OK
06:00	BARCELONA	IB3265	OK
06:00	BARCELONA	IB3266	OK
06:00	BARCELONA	IB3267	OK
06:00	BARCELONA	IB3268	OK
06:00	BARCELONA	IB3269	OK
06:00	BARCELONA	IB3270	OK
06:00	BARCELONA	IB3271	OK
06:00	BARCELONA	IB3272	OK
06:00	BARCELONA	IB3273	OK
06:00	BARCELONA	IB3274	OK
06:00	BARCELONA	IB3275	OK
06:00	BARCELONA	IB3276	OK
06:00	BARCELONA	IB3277	OK
06:00	BARCELONA	IB3278	OK
06:00	BARCELONA	IB3279	OK
06:00	BARCELONA	IB3280	OK
06:00	BARCELONA	IB3281	OK
06:00	BARCELONA	IB3282	OK
06:00	BARCELONA	IB3283	OK
06:00	BARCELONA	IB3284	OK
06:00	BARCELONA	IB3285	OK
06:00	BARCELONA	IB3286	OK
06:00	BARCELONA	IB3287	OK
06:00	BARCELONA	IB3288	OK
06:00	BARCELONA	IB3289	OK
06:00	BARCELONA	IB3290	OK
06:00	BARCELONA	IB3291	OK
06:00	BARCELONA	IB3292	OK
06:00	BARCELONA	IB3293	OK
06:00	BARCELONA	IB3294	OK
06:00	BARCELONA	IB3295	OK
06:00	BARCELONA	IB3296	OK
06:00	BARCELONA	IB3297	OK
06:00	BARCELONA	IB3298	OK
06:00	BARCELONA	IB3299	OK
06:00	BARCELONA	IB3300	OK

11  
2014

Además cuando **no** puedes **volar**  
ni navegar porque el **clima** se vuelve  
**adverso, sólo te queda ella**

REFORZANDO el firme, consolidando el FUTURO →

## NOVIEMBRE 2014

Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas



f /asfma @asfma\_es /company/asfma

L	M	X	J	V	S	D
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

Seguramente estamos siendo  
un poco ingratos no ayudándola  
en los momentos duros...

La **inversión** en refuerzo  
de **firμες** en los tres últimos años  
ha sido prácticamente **CERO**.

12  
2014

REFORZANDO el firme, consolidando el FUTURO →

## DICIEMBRE 2014

Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas



f /asfma @asfma\_es /company/asfma

L	M	X	J	V	S	D
					6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				



# LA BASE DE LA INNOVACION

17 a 19 de marzo de 2015 • Baltimore, Maryland

- Más de 300 expositores exhibirán nuevos productos para mejorar su productividad
- El programa educativo más interesante de la industria con temas como "Gente, Plantas, y Pavimentación"
- Contactos profesionales con más de 6.000 visitantes para aumentar su red profesional

Inscríbese con anticipación y ahorre: [www.worldofasphalt.com](http://www.worldofasphalt.com)



Realizada paralelamente con



Co-propietario y productor de World of Asphalt

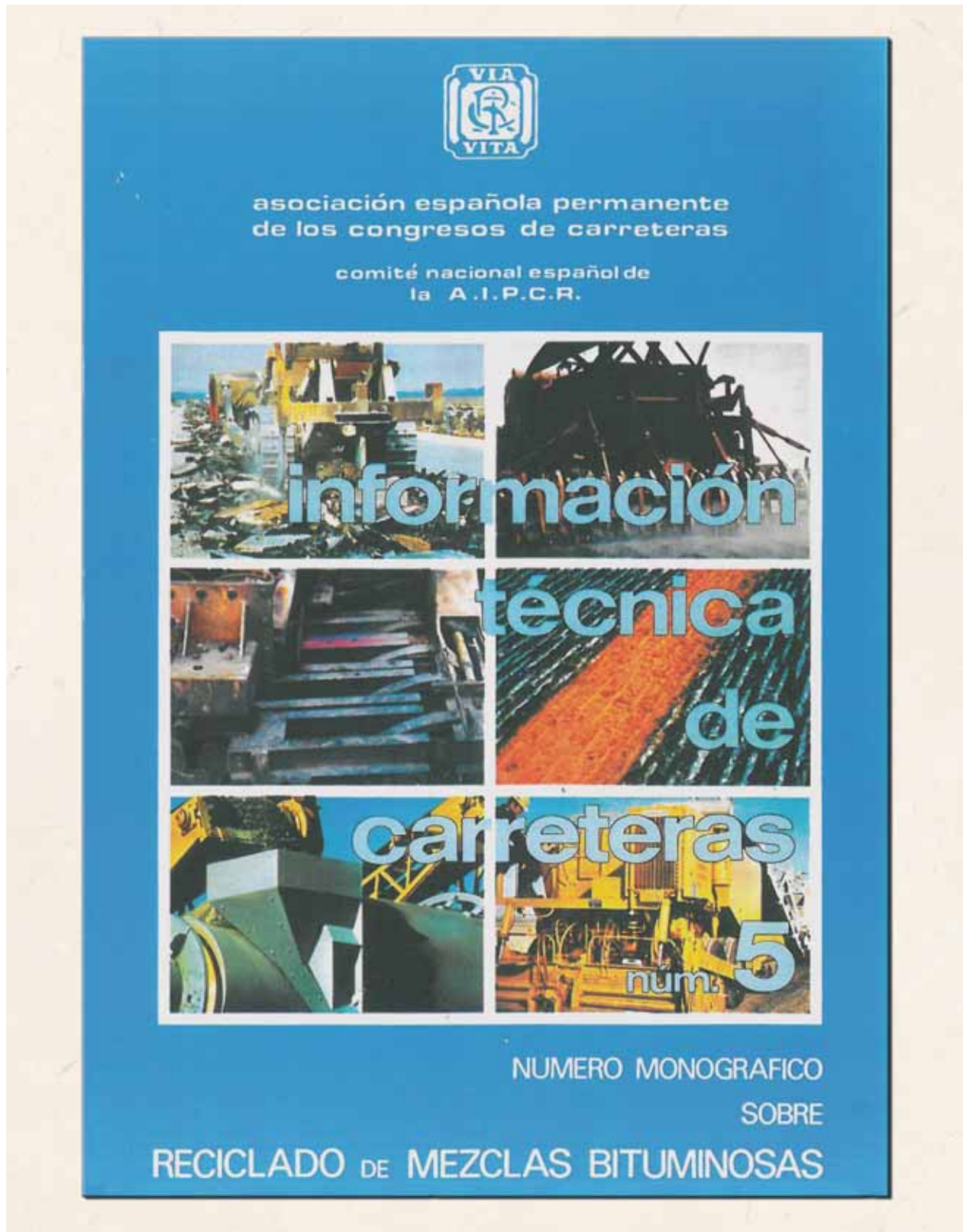


Co-propietarios de World of Asphalt



# Mirando al pasado

Trabajo realizado por José Luis Elvira y Juan F. Viguera en 1981



# Lecturas recomendadas



**Informe: "Pavement design for specialist surfacings ". 2014. NZ Transport Agency research report 543**

El objeto de este estudio es el análisis de la "compatibilidad" de propiedades mecánicas de un pavimento y un potencial tratamiento superficial teniendo en cuenta factores como la rigidez. Los tratamientos superficiales estudiados están basados en compuestos poliméricos de poliuretano, epoxi y bauxita calcinada. Del estudio, además de las conclusiones, cabe destacar la metodología de evaluación de las diversas alternativas incluidas en el trabajo.



**Informe: "Improved Design Procedures for Asphalt Pavements: Pavement Temperature and Load Frequency Estimation". Austroads AP-T248-13. Septiembre de 2013**

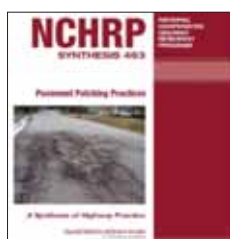
El efecto de la carga y de la temperatura del pavimento son dos de los principales elementos para efectuar el diseño de pavimentos. Este estudio recoge la experiencia llevada a cabo en Australia en la validación de los diversos modelos propuestos.

<https://www.onlinepublications.austroads.com.au/items/AP-T248-13>



**Informe: "Reformulated Pavement Remaining Service Life Framework". Publication No. FHWA-HRT-13-038. Noviembre 2013**

El documento se centra en clarificar la terminología asociada a la vida útil de los pavimentos que, según los autores, en la actualidad genera interpretaciones confusas. El texto es de especial utilidad para los gestores de infraestructuras. [https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub\\_details.cfm?id=901](https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pub_details.cfm?id=901)



**Publicación: " NCHRP Synthesis Report 463 Pavement Patching Practices". 2014**

La gestión de la conservación de los pavimentos requiere una aplicación rigurosa de las soluciones en función de las necesidades de cada carretera. En este informe, que recoge experiencias de USA, Canadá, Reino Unido e Irlanda se estudia en profundidad del tratamiento de los baches, tanto en pavimentos asfálticos como de hormigón. [http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp\\_syn\\_463.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_463.pdf)



**Informe "Report S2-R23-RR-1 Using Existing Pavement in Place and Achieving Long Life". Programa SHRP2. Febrero 2014**

El diseño de pavimentos de larga duración es uno de los objetivos al que se están dedicando más esfuerzos en EEUU. La mayor parte de los estudios se han centrado en el diseño de secciones capaces de alcanzar un gran número de aplicaciones de cargas. Este trabajo, auspiciado bajo el programa SHRP2, aborda cómo convertir un firme existente en uno de larga duración.

[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp2/SHRP2\\_S2-R23-RR-1.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/shrp2/SHRP2_S2-R23-RR-1.pdf)

# Observatorio del sector

Los fabricantes de asfalto españoles hacen una primera valoración positiva del capítulo dedicado a "Obras de rehabilitación y conservación", pero recuerdan que no cubre las necesidades actuales ni responde al déficit que acumulan los pavimentos de la red viaria española.

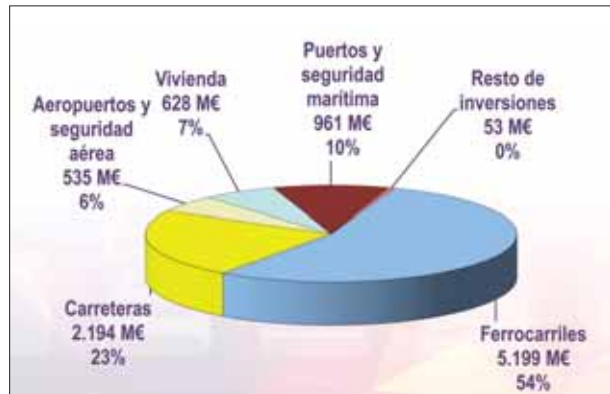
La Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (Asefma) realiza una primera valoración positiva del capítulo referido al Programa 453C, dedicado a la conservación y explotación de carreteras, del Grupo de Fomento del Proyecto de Ley de los Presupuestos Generales del Estado (PGE) para 2015. No obstante, apunta que aun en el escenario más optimista la partida destinada es muy escasa: los pavimentos por sí solos ya acumulan un déficit muy superior.

El presupuesto asignado a conservación de carreteras en 2015 es de 935 millones de euros (14% más que en 2014). En esta línea, la mayor preocupación para ASEFMA responde al abandono de las licitaciones de refuerzos de firmes (proyectos de clave 32): en los últimos 1.200 días el Ministerio de Fomento ha licitado obras de refuerzo de firmes por un importe total inferior a 40 millones de euros (tanto en 2007 como en 2008 superaron respectivamente los 550 millones de euros, para luego caer de manera drástica).

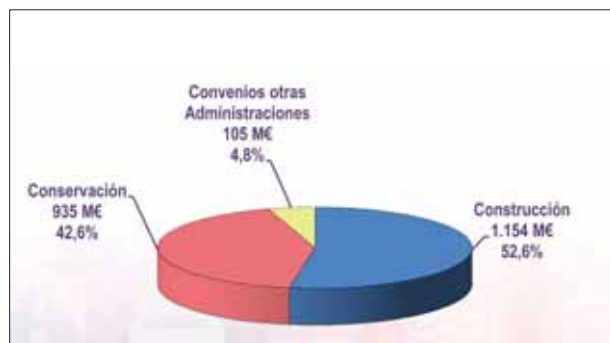
Los fabricantes de asfalto toman en consideración las declaraciones de la propia titular de Fomento, Ana Pastor, quien anunció en rueda de prensa durante la presentación de los PGE 2015 que "continuarán las obras de mejora en varios tramos de la red, especialmente de rehabilitación de firmes y seguridad vial". ASEFMA considera un "avance muy significativo" estas declaraciones.

ASEFMA insiste, no obstante, en que los Presupuestos Generales 2015 debería considerar la grave degradación de las infraestructuras viarias, que aumentan exponencialmente los costes de conservación a medio y largo plazo y suponen riesgos económicos, sociales y medioambientales. Los PGE 2015 también deben considerar el uso real de las carreteras, que en España significa el 90% de los desplazamientos de viajeros y el 85 % de las mercancías.

También recuerda ASEFMA que para devolver los firmes de la red de carreteras del Estado a un estado mínimamente adecuado se necesita una inversión superior a los 1.500 millones de euros (más de 5.800 si de incluyen las redes viarias no estatales). Una vez sufragado dicho déficit, el conjunto de



Inversión total del Grupo Fomento.



Distribución de la inversión total destinada a carreteras.

todas las carreteras españolas necesitan una inversión anual de 1.288,89 millones.

Por todo ello, ASEFMA reclama que en los presupuestos 2015 se establezca una partida suficiente en los Presupuestos Generales del Estado, en el Programa 453C, que recoja las necesidades reales de los degradados pavimentos.

ASEFMA es una asociación de entidades dedicadas a la fabricación y aplicación de mezclas asfálticas para la pavimentación viaria. Entre sus fines estatutarios destaca el fomento de la investigación y la colaboración en la redacción de normas de fabricación, aplicación y control de calidad. Sus acciones están orientadas a la satisfacción de los usuarios y la preservación del medio ambiente.

# Tu mejor yo en Ingeniería Civil



**Tu mejor yo** se alcanza en la **Escuela Politécnica de la Universidad Europea de Madrid**.

Con tu esfuerzo y una formación diferente, que une los conocimientos técnicos con un especial enfoque en habilidades de gestión, llegarás a ser el ingeniero práctico y creativo que demanda el futuro.

Con laboratorios equipados con la última tecnología, profesores que son profesionales de prestigio en el sector y atención personalizada, para que lideres proyectos desde el primer día.

Sean cuales sean tus circunstancias laborales, ahora es el momento.

Tanto el **Curso de adaptación** como el **Máster Universitario**, son compatibles con tu horario profesional.

- Grado en Ingeniería Civil
- Curso de adaptación a Grado en Ingeniería Civil, para Ingenieros Técnicos de Obras Públicas
- Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos  
(habilitante para ejercer la profesión de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos)

Infórmate de las **condiciones especiales** para estudiar el **Curso de Adaptación al Grado + Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos** (Habilitante).

Infórmate  
902 23 23 50  
universidadeuropea.es



Universidad  
Europea Madrid

LAUREATE INTERNATIONAL UNIVERSITIES



PRIMER CONGRESO MUNDIAL SOBRE  
LA CONSERVACIÓN Y EL RECICLADO DE PAVIMENTOS

# PPRS

## PARIS 2015

22-25 DE FEBRERO  
Palais des Congrès de Paris - France

Organizado por:



# INSCRIPCIÓN E INFORMACIÓN:

[www.pprsparis2015.com](http://www.pprsparis2015.com)

Con el apoyo de:



## ¿Qué?

Los 3 temas del Congreso  
PPRS Paris 2015

- Socio - económico
- Estado del arte
- Prospectiva e Innovación

## ¿Quién?

- Para el público en general
- Para quienes toman decisiones políticas
- Para los gestores de redes viales
- Para las empresas e industrias
- Para los fabricantes de plantas y equipos
- Para los usuarios de las redes, los automovilistas y el público en general

## ¿Dónde?

Paris, Convention Center  
2 place de la Porte Maillot  
75017 Paris

## ¿Cuándo?

22 - 25 febrero 2015

Para más informaciones,  
póngase en contacto con



[Amaury.lefebvre@gl-events.com](mailto:Amaury.lefebvre@gl-events.com)  
Tel: + 33(0)4 78 17 62 85



## Innovar está en nuestros genes

En Repsol, la innovación forma parte de nuestra esencia. Por eso, en el Centro de Tecnología Repsol, dedicamos todo nuestro esfuerzo a la investigación y desarrollo de asfaltos que hacen nuestras carreteras más seguras, eficientes y sostenibles.



**REPSOL**

*Inventemos el futuro*

Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.  
Más información en [repsol.com](http://repsol.com)