

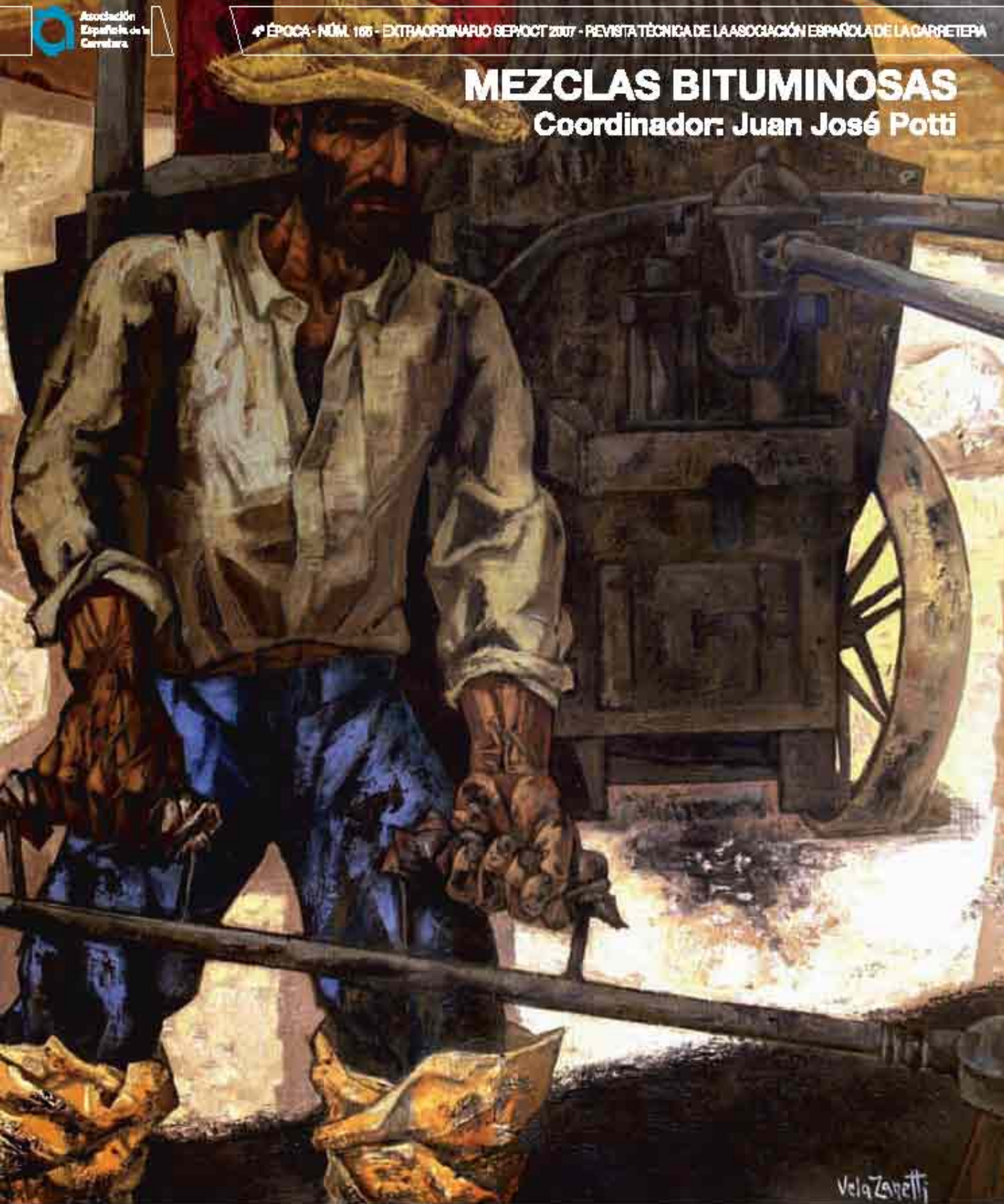
CARRETERAS

Asociación
Española de la
Carretera

ÉPOCA - N.º 165 - EXTRAORDINARIO SEPTIEMBRE 2007 - REVISTA TÉCNICA DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

MEZCLAS BITUMINOSAS

Coordinador: Juan José Potti



Láminas Retrorreflectantes 3M Diamond Grade para vehículos

Su vehículo más visible. Usted más seguro



Señal V-23 Distintivo Retrorreflectante para Vehículos

En Octubre de 2007 el Reglamento 48 será efectivo en Europa. El Capítulo 6.21 de dicho Reglamento establece que todos los vehículos sujetos a nueva homologación de tipo superiores a 7,5 Tm deberán incluir en su diseño un marcaje de contorno retrorreflectante. Esta legislación, afecta de manera obligatoria a las siguientes categorías de vehículos: N2, N3, O3 y O4.

A partir de Octubre de 2009 cada país tendrá que hacer obligatorio este requisito para nuevas matriculaciones.

Productos 3M para esta aplicación

Para líneas de contorno (Clase C)

Para superficies rígidas como aluminio y chapa.

3M Diamond Grade Serie 983
(983-10 blanco, 983-71 amarillo, 983-72 rojo).
Presentación 5,5 cm x 50 m.

Para superficies de lona.

3M Diamond Grade Serie 987
(987-10 blanco, 987-71 amarillo, 987-72 rojo).
Presentación 5 cm x 50 m en versión segmentada para facilitar el doblado del sustrato y la aplicación.



Ventajas 3M

- Máxima visibilidad en todos los ángulos.
- Máxima durabilidad.
- Adaptabilidad a la superficie de aplicación.
- Colores vivos que resaltan la visibilidad.

Dpto. de Sistemas de Seguridad Vial
3M España, S.A.
Juan Ignacio Luca de Tena, 19-25
28027 Madrid
Tel.: 91 321 64 92. Fax: 91 321 64 89
E-mail: trafico.es@mmm.com

900 210 584
E-mail: innovation@3M.com

3M *Sistemas de Seguridad Vial*

Editorial

Imposible	6
-----------	----------

Presentación institucional

ASEFMA, historia reciente	Junta Directiva de ASEFMA	8
---------------------------	---------------------------	----------

Presentación del número

Extraordinario "Mezclas bituminosas"	Juan José Potti	9
--------------------------------------	-----------------	----------

Tribuna

Las mezclas bituminosas en los firmes de carreteras	Jorge Ortiz Ripoll	12
---	--------------------	-----------

Artículos Técnicos

Innovaciones en ligantes	Alberto Bardesi Ignacio Pérez	14
El mercado CE de las mezclas bituminosas en España	Juan José Potti	27
Sistemas de baja emisión	José A. Soto Sánchez Ramón Tomás Raz	41
Mezclas bituminosas en caliente y análisis de ciclo de vida	Anna Paris Madrona Cristina Moncunill Farré	53
Caracterización de fibras en mezclas durables mediante el nuevo ensayo europeo de escurrimiento de ligante	Santiago Lanchas Óscar Herrero	60
Mezclas bituminosas fabricadas con betunes sintéticos coloreables	Antonio Páez Dueñas	72
Influencia de la mezcla asfáltica en la seguridad de los túneles	Jesús Felipo Sanjuán Lucía Miranda Pérez Marisol Abellaneda Oliva Marisol Barral Vázquez J. César Aroca Mondéjar Francisco Javier Suárez Marco Juan José Potti	80
Estudio sobre el efecto de las segregaciones térmicas en la durabilidad de las mezclas bituminosas en caliente	José Miguel Baena Rangel Jacinto Luis García Santiago	92
Control de la regularidad superficial de mezclas asfálticas en tiempo real	Jesús Felipo Sanjuán José Ramón López Marco Miguel Ángel Martínez Colomer	112
Reciclado en central de mezclas bituminosas en caliente	Jorge Ortiz Ripoll Félix Pérez Jiménez	125
Sistema móvil de reciclado en planta en caliente	Diego Peinado Martín Mariano Cebrián González	143
Reciclado <i>in situ</i> en frío con emulsión Panorámica de la técnica	José Luis Peña Ruiz David Almazán Cruzado	154

Tribuna

Armonización de especificaciones de cementos asfálticos para América Latina	Néstor W. Huamán Guerrero	165
---	---------------------------	------------

Documento

Las mezclas bituminosas en cifras	EAPA	168
-----------------------------------	------	------------

Área de Servicio
172
Desde el Arcén

Responsabilidad Social Individual (RSI)	Luis Ayuso	182
---	------------	------------

Guía profesional de empresas colaboradoras
187

Revista Carreteras nº 155,
septiembre/octubre 2007.
Extraordinario "Mezclas Bituminosas".
Portada: reproducción de la pintura El Regador,
de José Vela Zanetti (1913-1999).
IMAGEN CEDIDA POR COLLOSA.



CONSEJO DE REDACCIÓN:

Presidente:

Julio González de Pedroviejo

Vocales:

Mercedes Aviñó Bolinches

Luis Ayuso Sánchez

Alberto Bardesi Orúe-Echevarría

Carlos Cristóbal Pinto

Federico Fernández Alonso

José Antonio Hinojosa Cabrera

Juan José Jarillo Rodríguez

Jesús M^a Leal Bermejo

José Vicente Martínez Sierra

José Montoya Pérez

Pablo Nobell Rodríguez

Elena de la Peña González

Juan José Potti Cuervo

José Quereda Laviña

Sebastián de la Rica Castedo

Rodolfo Sáenz de Ugarte Corres

Luis Alberto Solís Villa

José Antonio Soto Sánchez

Paloma Tello Lucini

Ramón Tomás Raz

Jesús Yagüe Córdova

Aniceto Zaragoza Ramírez

PRESIDENTE:

Miguel M^a Muñoz Medina

DIRECTOR:

Jacobo Díaz Pineda

DIRECTORA EJECUTIVA:

Marta Rodrigo Pérez

DIRECTOR TÉCNICO:

Recaredo Romero Amich

REDACTORA JEFE:

Susana Rubio Gutiérrez

REDACCIÓN:

Iván Corzo Reina

DISEÑO Y MAQUETACIÓN:

Jose María Gil • Edurne Armendariz • Ramón Araujo

EDICIÓN Y PUBLICIDAD:

COMUNICACIÓN Y DISEÑO

O'Donnell, 18 - 5º H

28009 Madrid

☎ 91 432 43 18 Fax: 91 432 43 19

e-mail: comdis@cydiseno.com

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA

DE LA CARRETERA

Goya, 23 - 3º y 4º Derecha

28001 MADRID

☎ 91 577 99 72 Fax: 91 576 65 22

e-mail: aec@aecarretera.com

http://www.aecarretera.com

SUSCRIPCIÓN ANUAL (Año 2007):

España: 61 Euros (IVA incluido)

Europa: 101 Euros • América: 145 \$ / 109 Euros

IMPRIME: Gráficas Marte

Depósito Legal: M- 19.439-1975

ISSN: 0212 - 6389

Las opiniones vertidas en las páginas de Carreteras no coinciden necesariamente con las de la Asociación Española de la Carretera o las del Consejo de Redacción de la publicación.

EMPRESAS COLABORADORAS

LUBRICANTES Y ESPECIALIDADES

La revista Carreteras aparece citada actualmente en las siguientes bases de datos científicas: Engineering Index, Ulrichs, DIIT (Documentación Internacional de Investigación del Transporte de la OCDE), CINDOT (Centro de Información y Documentación Científica del CSIC), ICYT (Base de Datos de Ciencia y Tecnología del CSIC), CIRBIC (Catálogo Colectivo de los Fondos de las Bibliotecas del CSIC), Base de Datos del Centro de Documentación del Transporte y las Comunicaciones del Ministerio de Fomento y DIALNET, Base de Datos de Publicaciones Técnicas y Científicas de la Universidad de La Rioja.



NUEVO EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE AGLOMERADO - TRANSFER **VÖGELE** MT-1000-1

LA PERFECCIÓN EN EXTENDIDO SIN PAUSAS NI PARADAS

Equipo de transferencia de mezcla bituminosa que asegura su remezclado y rehomogenización antes de la descarga a la extendidora.



Unidades disponibles de entrega inmediata para alquiler y venta



NUEVA DIRECCIÓN COMERCIAL / TÉCNICA

Crta. de la Marañosa Km. 0,8 • A-4 Salda Km. 20 • 28320 Pinto (MADRID)

tel. 91 307 81 33 - fax 91 357 47 62 - www.emsa-machinery.net



El camino más firme

Imposible



Convertir el plomo en oro, pasear hasta la Luna, vivir eternamente... Son algunos de los imposibles más consagrados de nuestro imaginario. En el mundo viario el imposible más sólido es aquel que propone una cierta asignación impositiva para la construcción o conservación de las carreteras.

Que alguno de los muchos impuestos que gravan el transporte se destine a la financiación de las infraestructuras viarias se ha convertido en un imposible indiscutible en nuestro entorno cultural (es necesario remarcar lo de nuestro entorno cultural porque en otras partes del mundo, o en nuestro país hace muchas décadas, eso era una realidad cotidiana). Pero en esta época de cambios, ni siquiera los imposibles son imposibles de verdad. Un poco de valor, un poco más de decisión política, alguna idea claramente formulada, y los imposibles se desvanecen: Portugal, nuestro vecino Portugal, acaba de superar lo imposible. De acuerdo a la Ley 55/2007 de 31 de agosto, el organismo que tiene encomendada la gestión de la red viaria lusa, Estradas de Portugal (E.P.E.), se encargará –como Agencia– de toda la red de carreteras que no está concesionada como autopistas de peaje y se financiará con una parte de los impuestos de combustibles.

La noticia exige ser seguida de cerca –hay matices tales como los de una mayor afectación impositiva del diesel que de la gasolina, intentando recoger el impacto sobre los firmes de los vehículos pesados– y es seguro que algunos aspectos se podrán mejorar, pero de momento han conseguido lo imposible. ¡Afectación impositiva (parcial) no ya en Europa, sino a pocos cientos de kilómetros de Madrid! ¡No nos lo acabamos de creer! Los incrédulos viarios del mundo deben prepararse: otro mundo, otra financiación son posibles.

No es tan importante si las cantidades son suficientes o no, lo decisivo es que algunas ideas cambian. ¡Estamos de enhorabuena! 



ISOLUX CORSÁN
CORSÁN-CORVIAM



Imagen de El Avist. Línea de Alta Velocidad Sevilla-Cádiz.

La calidad
salta a la vista

En ISOLUX CORSÁN afrontamos el futuro desde una perspectiva de crecimiento sostenible. Empezamos iniciativas dirigidas a generar bienestar para todos, que contribuyen a crear sociedades más felices, prósperas y respetuosas con el entorno. Y para ello mantenemos un alto nivel de exigencia en nuestras políticas de calidad y medio ambiente.

Por eso nuestro trabajo deja una huella, la excelencia de lo bien hecho. Y eso se nota.

ASEFMA, historia reciente

Junta Directiva de ASEFMA

La Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Bituminosas (ASEFMA), fue constituida en el año 1973. Hoy reúne a 105 compañías, entre fabricantes de mezclas, productores de betún y fabricantes o distribuidores de maquinaria e instalaciones asfálticas. Centros de investigación, universidades y laboratorios también se hallan representados.

Los asociados de ASEFMA representan, en la actualidad, el 65% de la producción total nacional de mezclas bituminosas y el 100% de la producción de betún. ASEFMA es una asociación absolutamente abierta, que pretende acoger a cualquier empresa que se sienta vinculada a este importante sector productivo y aspira, por tanto, a continuar creciendo en los próximos años, sin otra limitación que la establecida por unos estatutos orientados, en esencia, a la promoción de las mezclas bituminosas y la ampliación de sus campos de aplicación.


En los tres años transcurridos desde el comienzo de la etapa inaugurada en junio de 2004, en la que ASEFMA reactivó su actividad y se crearon las bases para alcanzar la situación actual, las empresas asociadas han aportado grandes dosis de ilusión y esfuerzo en la consecución de unos objetivos consonantes con los fines de la asociación.

Es de justicia reconocer el esfuerzo de la Junta Directiva que se constituyó en el año 2004, y es deseo no sólo de la Junta sino de todos los socios reconocer de una manera muy especial el esfuerzo personal que dedicó *D. Javier Cameo Bel*, Presidente de ASEFMA, durante este periodo, 2004-2007. Este reconocimiento se hizo patente en la última Asamblea General de ASEFMA.

Las cifras de participación en las actividades que ASEFMA trata de encauzar ilustran a la perfección esta afirmación. Más de 80 técnicos de 39 empresas distintas forman parte de los seis grupos de trabajo desde los que la comisión técnica se ocupa de impulsar las mejores técnicas de extendido, la coordinación de estrategias de I+D, el mercado CE, el cuidado del Medio Ambiente,

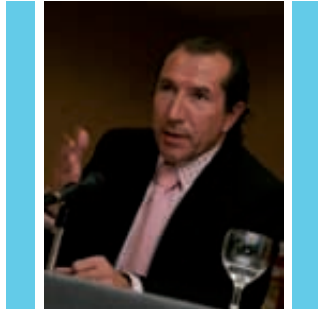
los nuevos campos de aplicación de los materiales bituminosos y la seguridad. ASEFMA colabora activamente con las administraciones públicas, ante la inminente implantación del marcado CE de mezclas bituminosas, en la investigación prenormativa y en la elaboración o discusión de algunos de sus pliegos. Proporciona apoyo técnico, asesoramiento y documentación a sus asociados. Organiza jornadas técnicas propias, siempre de excelente acogida, y participa en los principales foros nacionales e internacionales.

Este número Extraordinario de la revista *Carreteras* es fruto de las inquietudes de muchos de los asociados, y puede considerarse un anticipo de próximas publicaciones que, en distintos formatos, pretenderán abordar las cuestiones que mayor interés pueden despertar en el sector.

La vitalidad demostrada, el alcance de sus todavía jóvenes iniciativas, es la mejor muestra de la realidad de las empresas del sector que representa: empresas de muy distintos orígenes, tamaños y ámbitos de actuación, pero todas ellas altamente especializadas y comprometidas con la aplicación experta de los materiales y técnicas relacionados con la construcción y conservación de los firmes de mezclas bituminosas. 



Javier Cameo Bel (dcha.) ha sido Presidente de ASEFMA entre 2004 y 2007.



Juan José Potti

Gerente de ASEFMA
(Asociación Española de Fabricantes de
Mezclas Asfálticas)
Coordinador del número Extraordinario
"Mezclas bituminosas"

Desde la *Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Bituminosas, ASEFMA*, hemos querido realizar un número *Extraordinario* de la revista *Carreteras* por varias razones. En primer lugar, una de las más importantes labores de ASEFMA es la promoción y difusión de los campos de aplicación de las mezclas bituminosas. Este número, muy amplio en su contenido, creemos que puede ser una buena herramienta para favorecer y ampliar el empleo actual de las mezclas bituminosas.

En segundo lugar, entendemos que la revista *Carreteras* es un cauce excelente para dar a conocer algunas de las actividades que ASEFMA está desarrollando. Dentro de ASEFMA existen 6 grupos de trabajo: extensión de las mezclas bituminosas, coordinación de estrategias de I+D, marcado CE, medio ambiente, nuevos campos de aplicación y seguridad. Más de 80 técnicos de 39 empresas asociadas forman parte de estos grupos de trabajo. Desde estos grupos ha surgido buena parte de los textos que componen este número Extraordinario.

En tercer lugar, España es un gran país, el segundo más importante de Europa en términos de producción de mezclas bituminosas, según la estadística última de la *Asociación Europea de Productores de Mezcla Asfáltica, EAPA*. Es el segundo detrás de Alemania y por delante de Francia, Italia e Inglaterra. Con esta publicación queremos demostrar que España no es sólo un gran productor europeo sino también un país en el que existen importantes desarrollos industriales y técnicos dentro de nuestra actividad.

Este número cuenta con importantes firmas entre sus autores, y con un número importante de artículos, doce en total. Hemos querido presentar un abanico amplio de temas, desde los desarrollos en ligantes a la normativa europea, desde el medio ambiente a las aplicaciones más novedosas, desde los desarrollos en la maquinaria de fabricación a sistemas de medida de las características geométricas, desde las aplicaciones de ciertos aditivos a las experiencias con los modernos silos de transferencia y desde las técnicas más innovadoras en reciclado a la aplicación de los conceptos de sostenibilidad. Lo hemos hecho conscientemente porque queremos que este número Extraordinario sea una de esas publicaciones que guardamos en nuestro despacho, cerca de nosotros, como una referencia.

A todos los autores quiero darles las gracias muy sinceramente por su excelente trabajo. Su experiencia y conocimiento han sido expuestos de una forma rigurosa y clara en estos doce artículos. Debo decir que, en general, me han facilitado enormemente la labor de coordinación. Lamento no haber podido contar con otras firmas de reconocido prestigio en este Extraordinario, pero la necesidad de mantener un número de páginas limitado ha impedido otras colaboraciones.


En la elaboración de estos artículos llevamos trabajando desde hace más de un año. Los temas han sido discutidos y seleccionados desde hace tiempo. Durante este tiempo han sucedido muchas cosas. Algunas de gran importancia y trascendencia, quizás la más importante, técnicamente hablando, sea la concesión dentro de la segunda convocatoria de los programas *CENIT* de una subvención por parte del CDTI para el desarrollo del *proyecto FENIX*. Se trata del proyecto de investigación de carreteras más importante de Europa por su volumen. Nunca ha existido un programa de casi 29 millones de euros dedicado a las mezclas bituminosas para carreteras. En él participan 11 empresas y 15 organismos públicos de investigación españoles.

El proyecto FENIX ha empezado en el año 2007, tendrá cuatro años de duración, y hemos pensado que más allá de esta reseña era quizás prematuro realizar una publicación. Sin lugar a dudas, de este proyecto surgirán muchas publicaciones.

Me gustaría agradecer, aunque me temo no voy a ser nada original, a mi gran amigo Recaredo Romero su magnífico trabajo de apoyo y seguimiento. Sus consejos y ayuda nos han sido de gran utilidad.

Por último, quisiera destacar y agradecer al Consejo de Redacción de esta revista que haya tenido la iniciativa de hacer coincidir la salida de este número Extraordinario con dos eventos de especial importancia: el *IV Congreso Andaluz de Carreteras*, que se celebra estos días en Jaen, y el *XIV Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto* de Cuba, previsto para el mes de noviembre.

ASEFMA ha crecido enormemente en el último año, más de un cincuenta por ciento, y hoy la componen 105 empresas. Más de 90 fabricantes de mezclas bituminosas y además, productores de betún, fabricantes o distribuidores de maquinaria e instalaciones asfálticas, centros de Investigación, universidades, laboratorios, fabricantes de equipos de laboratorio, proveedores de aditivos para mezclas bituminosas, etc.

ASEFMA es la referencia sectorial de las mezclas bituminosas en España y ha querido realizar en este número Extraordinario algo más que recopilar doce artículos. Pretende demostrar el vigor de la asociación, el empuje e iniciativas actuales del sector, y ofrecer una panorámica actual de las mezclas bituminosas. Ésta ha sido nuestra intención y en ella he puesto mi empeño. Espero que el resultado responda a las expectativas. Gracias y espero que disfrute con su lectura. 



Servia Cantó



**Construcción sostenible de carreteras
Tratamiento de suelos y firmes in situ
Hormigones deslizados en continuo
Áridos graníticos
Mezclas bituminosas en caliente**

Servia Cantó, S.A.
Enginyer Algarra, 65 17256 - PALS (GERONA)
Tel. 972.66.79.36 Fax: 972.63.70.96
serviacanto@serviacanto.es

Las mezclas bituminosas en los firmes de carreteras



Jorge Ortiz Ripoll

Presidente de ASEFMA

Los pavimentos de mezcla bituminosa constituyen la superficie de rodadura preferida por los usuarios de las carreteras, que perciben sus indiscutibles ventajas de seguridad y confort. Un amplio abanico de estructuras de firme, sin embargo, pueden ser íntegramente diseñadas haciendo uso de las posibilidades ofrecidas por estos materiales: las mezclas bituminosas permiten construir capas continuas de un amplio rango de espesores, y de muy variadas propiedades mecánicas y funcionales. A medida que se revisan y perfeccionan los criterios de selección de las alternativas disponibles, los firmes totalmente bituminosos tienden a predominar de nuevo entre las soluciones técnicamente más adecuadas para todo tipo de vías y para muy distintos niveles de solicitud.

LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EN LOS NUEVOS FIRMES DE CARRETERAS

Los firmes de carreteras consisten en estructuras *multi-capas* cada vez más complejas, compuestas por materiales a los que se exigen propiedades muy específicas. Incluso algunas de las capas tradicionalmente concebidas como estructuras elementales se dividen ahora para obtener respuestas más eficientes. El objetivo es proyectar firmes mejores y más duraderos, pero también más *ecológicos*. Prolongar los periodos de proyecto y considerar todos los costes relevantes en que se incurre a lo largo de la vida de una cierta alternativa, en lugar de reparar sólo en las inversiones iniciales es, sin duda, la mejor práctica. Una perspectiva ecológica requiere, además, la consideración de los impactos ambientales ocasionados por la construcción y conservación de los firmes de carreteras, así como valorar sus posibilidades de reutilización.

Las *mezclas bituminosas* proporcionan, con toda seguridad, la mejor respuesta a estas exigencias. Por una parte, porque permiten atender las necesidades de especialización de las capas convencionales o de las

más novedosas con que se proyectan los nuevos firmes, puesto que admiten una amplísima gama de composiciones y condiciones de puesta en obra. Por otra, porque con ellas ya es posible construir firmes de larga duración y de costes de mantenimiento muy reducidos: las actuaciones de conservación pueden ceñirse a la rehabilitación de su capa de rodadura, construida sobre otras capas bituminosas que permanecen prácticamente inalteradas por el tráfico. Por último, porque las mezclas bituminosas envejecidas son absolutamente susceptibles de reutilización: se componen básicamente de áridos y betún, materiales 100% reciclables, cuyas propiedades pueden ser completamente restauradas, incluso mediante reciclados sucesivos.

Las mezclas bituminosas, como componentes de los firmes de carretera, han evolucionado, y continúan haciéndolo, de un modo muy parejo a las necesidades expresadas por administraciones, proyectistas o usuarios. Las innovaciones en técnicas, materiales y procedimientos se producen con una frecuencia muy superior a la observada en otras unidades de obra, sean o no alternativas. Esta circunstancia habla muy en favor de su capacidad para responder a todo tipo de exigencias técnicas, sociales, económicas o medioambientales. Mezclas drenantes, discontinuas, de alto módulo, anticarburantes, coloreadas... son sólo algunas de las novedades que en poco más de una década han pasado del ámbito casi experimental al de los materiales convencionales. Hablando de técnicas de producción o de puesta en obra, lo mismo cabe decir del reciclado en central en caliente o en frío *in situ*. Las innovaciones en betunes y emulsiones bituminosas, por su parte, ponen a nuestra disposición un amplio abanico de productos con los que resolver satisfactoriamente la construcción o rehabilitación de firmes, también en las condiciones más extremas.

Es bien sabido, además, que las operaciones de conservación de firmes constituyen un campo reservado casi en exclusiva a las mezclas bituminosas o a los tratamientos superficiales con áridos y ligantes bituminosos. Las capa-

ciudades que se han esbozado, los elevados rendimientos de puesta en obra, la inmediatez con que puede abrirse al tráfico una carretera rehabilitada mediante el extendido de mezclas bituminosas, las convierte en materiales idóneos cuando se trata de conservar toda clase de pavimentos o para la rehabilitación de cualquier estructura de firme. Así, también los firmes con pavimento de hormigón se rehabilitan, casi sin excepción, empleándose estas mezclas en regularizaciones y actuaciones localizadas, o para la renovación de sus superficies de rodadura.

No queremos dejar sin comentario, por último, el cierto retroceso experimentado recientemente por los firmes *flexibles* o *semiflexibles*, aquéllos compuestos exclusivamente por mezclas bituminosas y materiales granulares, en favor de otras soluciones. Estas secciones alternativas cuentan con espesores de mezclas bituminosas más reducidos, pues se diseñan confiando buena parte de su comportamiento resistente a capas tratadas con otros conglomerantes. Se trata de una evolución que cabe cuestionar, si se observa desde las nuevas perspectivas apuntadas. Proyectar para la *reciclabilidad* es otra de las necesidades de nuestro tiempo y la consideración de este aspecto, ya en las etapas de proyecto, introduciría criterios de valoración hasta ahora ausentes en la discusión de las alternativas disponibles. Los firmes flexibles contienen materiales completamente reutilizables, y ofrecen, por tanto, especialmente cuando se considera su ciclo de vida completo, unas ventajas económicas y medioambientales que no deben ser menospreciadas.

EL SECTOR PRODUCTIVO


Un aspecto que merece ser reseñado de un modo muy particular cuando se trata de mezclas bituminosas para firmes de carreteras tiene que ver con el carácter de las empresas involucradas en su producción y puesta en obra. En la generalidad de los casos, tanto productores de ligantes bituminosos como fabricantes y aplicadores de mezclas, tienen en los materiales destinados a los firmes el objeto primordial, si no exclusivo, de sus actividades. La especialización es, pues, más que el resultado de los esfuerzos realizados por estas compañías, el primero de los atributos con que pueden ser identificadas. Son empresas arraigadas, estables y decididamente inversoras, pues destinan la mayor parte de sus recursos a la adquisición o renovación de instalaciones y equipos, y la actualización de sus procedimientos productivos.

Con un volumen total que supera los 40 millones de toneladas anuales, España es el segundo productor de mezclas bituminosas en Europa, sólo por detrás de Alemania. Nuestro país presenta una muy reducida concentración

empresarial, de la que se derivan algunos inconvenientes, pero también indiscutibles ventajas desde el punto de vista de la competencia empresarial. En cualquier caso, puede afirmarse que contamos con empresas muy especializadas, que se encuentran en disposición de hacer frente a la construcción y conservación de los firmes de carreteras de acuerdo con las más estrictas exigencias en cuanto a características de la vía, condiciones de ejecución, calidad de los trabajos o requisitos medioambientales.

Si acaso conviene lamentar alguna carencia nacional, ésta debería referirse a la procedencia de las innovaciones tecnológicas, varias de las cuales han sido antes sucintamente mencionadas. Muchas de nuestras empresas se hallan perfectamente preparadas para asimilar correctamente cualquiera de las tecnologías novedosas desarrolladas en los países más avanzados, aquellos que mayores inversiones destinan a sus planes de I+D+i. La participación española en tal tipo de planes, sin embargo, continua siendo desproporcionadamente inferior a la que correspondería de acuerdo con la importancia de nuestro sector productivo.

Tal vez la transparencia de nuestros modos de producción, habitualmente controlados mediante pliegos de *tipo receta*, debiera hacerse compatible con la utilización, en condiciones que habrían de ser reguladas, de diseños, materiales y procedimientos propios de cada compañía individual. Abrir la posibilidad de desarrollar tecnologías distintivas, incluso susceptibles de patente o registro, puede alentar una inversión más decidida en proyectos empresariales de I+D+i. Se trataría de alcanzar un equilibrio entre los pliegos a los que estamos tan habituados y la institucionalización de estas nuevas oportunidades de innovación. Es seguro, sin embargo, que vale la pena reflexionar sobre la mejor forma de abordar dos asuntos tan relacionados y acerca de cómo establecer los incentivos más adecuados.

Una detenida lectura de la colección de artículos contenidos en este número *extraordinario* de *Carreteras*, proporcionará, sin ninguna duda, un buen soporte a nuestras anteriores consideraciones. Seguir apostando por las mezclas bituminosas como constituyentes básicos de nuestros firmes de carretera supone, en fin, confiar en fabricantes y constructores expertos, en empresas innovadoras, dotadas de personal especializado y de abundantes recursos propios, y en materiales que, además de la mejor respuesta en servicio, ofrecen un perfil medioambiental idóneo. Las mezclas bituminosas son, en definitiva, materiales imprescindibles para promover las tecnologías capaces de aproximar nuestros proyectos de construcción y conservación de firmes a modelos adaptados a los requisitos de un desarrollo sostenible. 

Innovaciones en ligantes

Innovations in binders



Alberto Bardesi

Responsable de Asfaltos
REPSOL YPF Lubricantes y Especialidades, S.A.

Ignacio Pérez

Técnico de Investigación CEPESA-PROAS

RESUMEN

Dentro del campo de los ligantes bituminosos las innovaciones que se están realizando en los últimos años podrían encuadrarse en la búsqueda de dos objetivos fundamentales. Por un lado, la mejora de sus propiedades para conseguir productos de altas prestaciones que ayuden a mejorar el comportamiento de los firmes. En este campo podemos encontrar productos como los betunes modificados de altas prestaciones, los betunes multigrado, las emulsiones termoadherentes y las emulsiones de alto poder de penetración.

Un segundo objetivo sería el desarrollo de técnicas que ayuden a responder a algunas de las preocupaciones que actualmente existen en nuestra sociedad, como son la preservación del medio ambiente, la mejora de las condiciones laborales, etc. En esta línea podemos encontrar ligantes que permiten diseñar mezclas con baja temperatura de fabricación, el empleo de betunes modificados con polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso y la utilización de otros productos más amigables con el medio ambiente.

Palabras clave: Betún modificado, Multigrado, Emulsiones termoadherentes, Emulsiones de alto poder de penetración, Mezclas templadas, Mezclas semicalientes, Caucho, Neumático fuera de uso NFU.

ABSTRACT

In recent years, innovation in the field of bituminous binders has been focused on two main subjects. On one hand, we look for the improvement of their properties to achieve high performance products that help us to improve roads performance. Regarding this issue, there are different products like high performance polymer modified bitumens, multigrade bitumens, thermosetting emulsions and high penetration power emulsions.

The second subject deals with the development of new techniques that help us to give an appropriate answer to social concerns like environment preservation, improvement of labour conditions... On this topic we can find binders with low working temperatures, crumb rubber modified binders and the use of other environmental friendly products.

Keywords: Modified Bitumen, Multigrade, Thermosetting emulsions, High penetration power emulsions, Warm mixes, Semi-hot mixes, Rubber, Recycled tires.



Las innovaciones que se están produciendo en el campo de los ligantes bituminosos en los últimos años se pueden encuadrar en la búsqueda de dos objetivos fundamentales:

- La mejora de sus propiedades para conseguir productos de altas prestaciones que ayuden a mejorar el comportamiento de los firmes, y
- El desarrollo de técnicas que ayuden a responder a la preocupación que actualmente existe en nuestra sociedad sobre los aspectos medioambientales y sobre las condiciones laborales.

Dentro del primer objetivo se encuentran el desarrollo de *betunes modificados de altas prestaciones*, los *betunes multigrado*, *emulsiones termoadherentes* y *emulsiones de alto poder de penetración*, que son la respuesta de la industria a las crecientes exigencias en calidad y durabilidad demandadas actualmente a las mezclas asfálticas.

Las innovaciones que permiten una mejora medioambiental y las condiciones laborales van principalmente encaminadas al desarrollo de ligantes (betunes o emulsiones) que permitan fabricar mezclas a temperaturas inferiores a las de las actuales mezclas en caliente.

Finalmente, en un punto intermedio se encuentra el empleo de betunes modificados con *polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU)*, en el que se da solución a un problema medioambiental, como es la generación de residuos, consiguiendo un producto con propiedades mejoradas.

BETUNES MODIFICADOS DE ALTAS PRESTACIONES

Desde la aparición de las especificaciones de betunes modificados en los años 80, la mayor parte de las aplicaciones de mezclas específicas para capas de rodadura (porosas y microaglomerados) se han venido realizando, aún en aquellas carreteras en las que no era estrictamente necesario por tráfico, con los diferentes tipos de betunes modificados BM-3. En menor grado, pero también con gran éxito, otros tipos de mezclas (especialmente resistentes a fisuración, a deformación plástica, etc.) también han utilizado los betunes modificados del artículo 215 del PG-3. En total, en estos años se han empleado más de 2 millones de toneladas de betunes modificados, lo

que supone más de 500 millones de metros cuadrados pavimentados, con un altísimo nivel de éxito.

Sin embargo, las crecientes exigencias en calidad y durabilidad demandadas a las mezclas asfálticas, junto a la necesidad de disminuir costes y aumentar los rendimientos en obra están demandando el desarrollo de *betunes modificados de mayores prestaciones (BMAP)*. En general, con estos nuevos betunes pueden fabricarse mezclas con contenidos relativamente elevados de ligante sin que exista riesgo de aparición de deformaciones plásticas o problemas de escurrimiento, mejorando su cohesión, durabilidad, etc.

Estos nuevos betunes tienen unas propiedades mecánicas superiores a las habituales en betunes modificados con polímeros (como puede verse en la Tabla 1), destacando una fuerte viscosidad y un elevado punto de reblandecimiento a temperaturas altas de empleo y servicio, una gran capacidad de recuperación elástica y una alta energía de cohesión interna (medida con el ensayo de fuerza-ductilidad).

En función de las especiales características de este ligante, las aplicaciones pueden ser bastante amplias, como se expone seguidamente.

1. Tratamientos antifisuras

Hasta el momento la utilización más extendida de este tipo de ligante se ha centrado en la fabricación de mezclas de rodadura *antifisuras*. Estas mezclas buscan aunar en una única capa de rodadura las características antireflexión de fisuras de diseños más complejos tal y como se venían empleando: arena-betún modificado, geotextiles impregnados o geomallas terminados generalmente con una rodadura con mezcla discontinua también con betún modificado.

Las principales obras con esta técnica se han realizado sobre firmes de hormigón con niveles altos de deterioro por fisuración y un elevado volumen de tráfico, los más importantes en la autopista A7. Al día de hoy, los primeros tramos realizados, con una antigüedad de más de 2 años, ofrecen unos resultados totalmente satisfactorios (Foto 1).

También se han realizado tramos en zonas con climatología más extrema (Valladolid y Ávila) y sobre otro tipo de soportes (firmes semirrígidos con base de gravacemento y de hormigón compactado).

Desde el punto de vista del diseño de la mezcla, la granulometría se compone con un contenido muy elevado de árido grueso (80-90%), poco árido fino (10-20%) y un



Foto 1. Detalle de firme fisurado antes y después del tratamiento con BMAP.

contenido relativamente alto (6-8%) de polvo mineral. La idea es que esta estructura granulométrica permita formular la mezcla con un contenido muy elevado de ligante (7-9%) sin riesgos de deformaciones. La mayor riqueza en ligante del mástico queda compensada por la mayor modificación del betún, lo que lleva a mejorar extraordinariamente su flexibilidad y su resistencia a la fisuración sin merma apreciable del módulo a temperaturas de servicio.

La fabricación y puesta en obra de este tipo de mezclas es similar a la de las mezclas discontinuas. La única variable es el aumento de las temperaturas debido a la mayor viscosidad de este tipo de ligantes, aunque también debido a su elevado porcentaje en la mezcla, su manipulación es más cómoda de lo que su elevada viscosidad nos pudiera indicar, pudiéndose fabricar a temperaturas del orden de 165-175 °C y empezar a compactar a una temperatura superior a 160 °C.


PROPIEDAD		NORMA	UNIDAD	BETÚN MODIFICADO ALTAS PRESTACIONES
Betún original				
Penetración, 25°C		UNE EN 1426	0,1 mm	55-70
Punto de Reblandecimiento		UNE EN 1427	°C	≥ 75
Punto de Fragilidad Fraass		UNE EN 12593	°C	≤ -15
Fuerza-Ductilidad, 5°C, 5 cm/min		UNE EN 13589 UNE EN 13703	J/cm ²	≥ 3
Viscosidad dinámica	135 °C	UNE EN 13302	mPa.s	≤ 5000
	170 °C			≥ 800
Recuperación elástica	25 °C	UNE EN 13398	%	≥ 75
Estabilidad al almacenamiento	Δ anillo y bola	UNE EN 13399	°C	≤ 5
	Δ penetración		0,1 mm	≤ 20
Punto de Inflamación v/a		UNE EN ISO 2592	°C	≥ 235
Residuo del ensayo de película fina y rotatoria UNE EN 12607-1				
Variación de masa		UNE EN 12607-1	%	≤ 1,0
Penetración retenida		UNE EN 1426	% p.o.	≥ 70
Variación del Punto de Reblandecimiento		UNE EN 1427	°C	mín -5 ; máx +12

Tabla 1. Propiedades características de un Betún Modificado de Altas Prestaciones (BMAP).



REPSOL

Un camino sólido hacia el bienestar de todos.



Las infraestructuras viales y su constante mejora constituyen el motor del progreso que nos permite a todos aumentar nuestra calidad de vida, aportándonos seguridad, ahorro de tiempo y comodidad. Por eso trabajamos para facilitar la vida de las personas que recorren con nosotros el camino hacia el futuro y el bienestar.

REPSOL YPF Lubricantes y Especialidades, S.A.
Glorieta Mar Caribe, 1. 28043 Madrid.

Más información en repsolypf.com

2. Drenantes de alto porcentaje de huecos

La alta viscosidad, elevada recuperación elástica y gran energía de cohesión de este ligante, permiten el diseño de mezclas porosas con una granulometría muy abierta y por tanto con un alto contenido en huecos (24-25%), lo que permitiría firmes con una elevada drenabilidad y una fuerte reducción del nivel sonoro.

3. Mezclas de altas resistencias a los esfuerzos tangenciales

Este tipo de ligante, debido a su elevada energía de cohesión, puede ser de gran utilidad en zonas afectadas por grandes esfuerzos tangenciales (rotondas, circuitos, polígonos, etc.) en las que se podrían utilizar tanto en mezclas convencionales como en mezclas de tipo discontinuo.

4. Mezclas anti-roderas

Tanto en obra nueva como en refuerzos existen ocasiones en las que se necesita una capa intermedia o de rodadura resistentes a las deformaciones permanentes, es en estos casos donde la elevada viscosidad y punto de reblandecimiento, unidos a las características propias de los modificados, hacen de la utilización del ligante de altas prestaciones el ideal para fabricar todo tipo de mezclas.

BETUNES MULTIGRADO

Son betunes obtenidos a partir del tratamiento físico-químico de bases asfálticas de características específicas y que presentan una susceptibilidad térmica claramente inferior a la de los betunes convencionales, con un punto de reblandecimiento y una resistencia al envejecimiento superiores a las de los betunes de similar penetración, lo que los sitúa en una posición intermedia entre los betunes convencionales y los betunes modificados con polímero, permitiendo su uso en diferentes zonas climáticas con excelentes prestaciones.

La menor susceptibilidad térmica de estos betunes significa que, en compara-

ción con un betún convencional, su consistencia varía menos al cambiar la temperatura, es decir, que un betún *multigrado* es más consistente a temperaturas altas y menos frágil a bajas temperaturas que un betún convencional de similar penetración.

Las mezclas fabricadas con estos betunes tienen una excelente resistencia a las deformaciones plásticas sin sufrir problemas de fatiga debido a su menor susceptibilidad térmica, lo que las hace especialmente apropiadas para carriles lentos en carreteras con el tráfico muy pesado y canalizado, como capas intermedias en tráfico pesados bajo capas drenantes o mezclas discontinuas en capa fina, etc..

Aunque es posible diseñar betunes multigrado con diferentes consistencias, para las condiciones de tráfico y de climatología españolas, los de penetración 35/50 (ver Tabla 2) parecen los más indicados en la mayor parte de las aplicaciones y son con los que se han realizado la mayor parte de las experiencias existentes hasta el momento. Un desarrollo de interés a futuro puede ser el de los betunes multigrado para mezclas de alto módulo a emplear en tráfico pesados y muy pesados.

Desde los primeros tramos realizados en Murcia (Lorca-Águilas) en el año 2000, se han venido aplicando estos ligantes en diferentes actuaciones, entre las que quizá la más significativa por volumen sea el tramo Zalea-Ardales en Málaga (Foto 2), y por tráfico los tramos realizados en la A-6 en Valladolid y en el puerto de Echegárte en Guipúzcoa.

Generalmente estos betunes se han empleado asociados a mezclas del tipo S-12 y S-20 con contenido de



Foto 2. Aplicación de mezcla con betún multigrado. Tramo Zalea-Ardales.

Propiedad	Norma	Unidad	Multigrado 35/50
Betún original			
Penetración, 25°C	UNE EN 1426	0,1 mm	35-50
Índice de Penetración	UNE EN 12591	-	≥ 1,0
Punto de Reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	≥ 60
Punto de Fragilidad Fraass	UNE EN 12593	°C	≤ -12
Estabilidad al almacenamiento	UNE EN 13399	Δ anillo y bola	°C
		Δ penetración	0,1 mm
Punto de Inflamación v/a	UNE EN ISO 2592	°C	≥ 235
Residuo del ensayo de película fina y rotatoria UNE EN 12607-1			
Variación de masa	UNE EN 12607-1	%	≤ 1,0
Penetración retenida	UNE EN 1426	% p.o.	≥ 65
Variación del Punto de Reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	mín -4 ; máx +8

Tabla 2. Propiedades características del Betún Multigrado.

ligante alrededor del 4,8%. La fabricación no presenta especiales problemas, aunque la temperatura de mezclado debe ser algo mayor. Durante la puesta en obra debe ponerse la atención en conseguir llegar pronto a un grado adecuado de compactación ya que, por su alta consistencia, el límite inferior de temperatura de compactación se alcanza más rápido que con los ligantes convencionales.

EMULSIONES TERMOADHERENTES

Constituyen uno de los avances más significativos de los últimos años. Son emulsiones catiónicas rápidas especialmente diseñadas para realizar riegos de adherencia entre capas sin que el ligante se adhiera a los neumáticos del tráfico de obra. Se caracterizan por tener un betún residual muy duro, que en algunos casos está modificado con polímero, y que cuando se aplica la capa superior de mezcla en caliente se reblandece consiguiendo una adherencia perfecta entre capas, de ahí el nombre de emulsiones *termoadherentes*. Resulta también evidente que su empleo está asociado con la aplicación de mezclas en caliente y no de técnicas en frío.

La falta de adherencia entre las capas asfálticas que integran el firme de una carretera es una de las causas más habituales del deterioro prematuro de éste. Un riego de adherencia mal aplicado o realizado con una emulsión inadecuada puede dar lugar a roturas del pavimento en los primeros años de su vida, acortándose espectacularmente el período de proyecto como consecuencia de la falta de unión entre las capas.

Las emulsiones tipo ECR1, fabricadas con betunes 80/100 o 150/200 y con contenidos bajos de fluidificantes que se utilizan habitualmente para riegos de adherencia, presentan el inconveniente de que se pegan a las ruedas del tráfico de obra, lo que, si no se tiene cuidado, puede provocar que se vaya eliminando el ligante de la emulsión (Foto 3), con lo que la adherencia de las capas subsiguientes queda, si no completamente eliminada, si al menos bastante afectada.

Las emulsiones termoadherentes, por el contrario, muestra una gran adherencia al pavimento sobre el que se aplica y poca tendencia a dejarse arrastrar por las ruedas de los vehículos de obra, quedando una capa uniforme de ligante sobre el pavimento y evitando el repintado de las marcas, tan frecuente en todas las obras.

En la Tabla 3 se recogen las características típicas de los distintos tipos de emulsiones termoadherentes (de betún de penetración convencional y de betún modificado con polímeros), que se comercializan habitualmente.

El comportamiento de estas emulsiones se ha ensayado en varios laboratorios (*Intecasa, Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, y el CEDEX*) utilizando métodos distintos: ensayos de corte que permiten medir la resistencia a los esfuerzos tangenciales que se producen en la unión de dos capas asfálticas como consecuencia de la aplicación de una fuerza cortante (*UPC y CEDEX*) y de tracción directa (*Intecasa*), obteniéndose resultados favorables en todos los casos (Figura 1).



Foto 3. Detalle de riego con emulsión convencional (izquierda) y con emulsión termoadherente (derecha).

EMULSIONES DE ALTO PODER DE PENETRACIÓN

A pesar de que en nuestro país existen emulsiones de imprimación normalizadas (las denominadas EAI y ECI), la práctica nos dice que en algunos momentos su comportamiento está limitado. Esto se debe a que en las capas granulares se puede producir una rotura prematura de la emulsión prácticamente en la superficie de las mismas, lo que hace que ésta se impermeabilice e impida que la emulsión siga penetrando y cumpla su función.

En los últimos tiempos, están apareciendo en el mercado emulsiones de imprimación que obvian este problema y que técnicamente se han denominado *emulsiones de imprimación de alta capacidad de penetración*.

Este tipo de emulsiones constituye un importante avance dentro de la tecnología de emulsiones, que además va en la línea de minimizar los efectos nocivos hacia el medio ambiente pues son emulsiones que pueden llegar a ir formuladas sin fluidificantes.

Para poner de manifiesto la capacidad de penetración de las diferentes emulsiones se utiliza un procedimiento de ensayo basado en la normativa *UNE EN-12849* y que valora tanto la profundidad de penetración de la emulsión en tiempos definidos como el tiempo de penetración. El ensayo consiste en colocar un árido de referencia en un soporte y medir la profundidad alcanzada por la emulsión a un tiempo dado, además del tiempo que tarda en penetrar y desaparecer de la superficie toda la emulsión añadida. En la Figura 2 se presenta un esquema de la secuencia de ensayo que se realiza tanto sobre árido seco como humedecido.

ENSAYO	NORMA	UNIDAD	TERMOADHERENTE	
			CONVENCIONAL	MODIFICADA
Emulsión original				
Viscosidad Saybolt Furol @ 50°C	NLT-138	s	< 50	< 60
Carga de las partículas	NLT-195		positiva	
Contenido en agua (en vol)	NLT-137	%	< 41	< 40
Betún Asfáltico residual	NLT-139	%	> 59	> 60
Fluidificante por destilación (en vol)	NLT-139	%	< 0	< 0
Sedimentación (7 días)	NLT-140	%	< 5	< 5
Tamizado	NLT-142	%	< 0,10	< 0,10
Residuo por evaporación NLT-147				
Penetración (25°C; 100g; 5 s)	NLT-124	0,1 mm	13-50	20-60
Punto de Reblandecimiento (AyB)	NLT-125	°C	> 55	> 55
Rec.elástica a 40° C	NLT-329			>12

Tabla 3. Propiedades características de Emulsiones Termoadherentes.



CON NUESTRAS NUEVAS GAMAS, LE OFRECEMOS SOLUCIONES DE FUTURO.

Somos especialistas en conocer sus necesidades y en desarrollar los productos específicos para cualquier actividad. Descubra las soluciones que le proponemos.

Gamas para carretera: **CEPSASFALT, STYRELF, FLEXODUR, EMASFALT, STYEMUL Y NOVACEP.**

Gamas para la industria: **INDUSFALT Y OXICEP.**

Gamas para la construcción: **CONSTRUCEP.**

Porque ofreciendo soluciones, seguimos ampliando horizontes.



Más información sobre nuestras nuevas gamas en: www.proas.es

PROAS
Betunes **CEPSA**

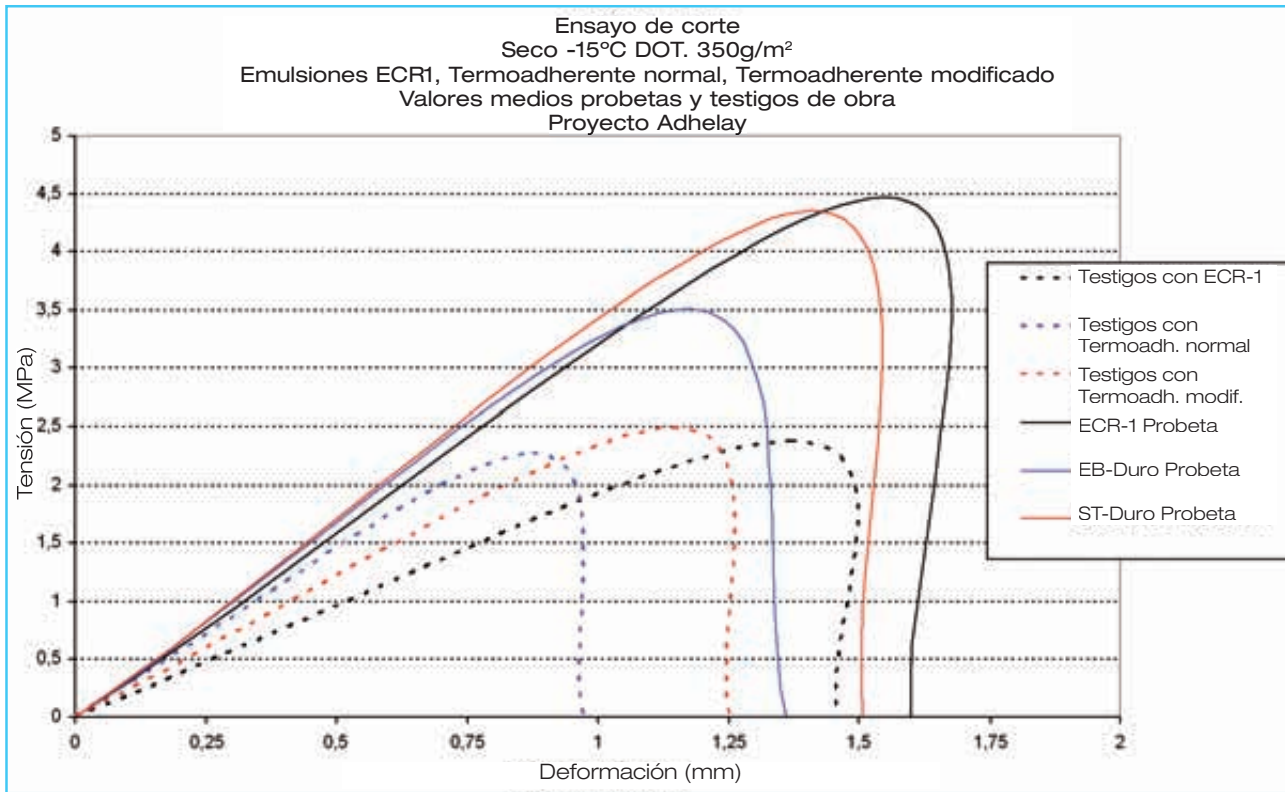


Figura 1. Ensayo de corte LCB a baja temperatura, sobre probetas de laboratorio y testigos de obra.

El método de ensayo aplicado permite comparar la capacidad de imprimación de cualquier riego. En la Foto 4 se puede observar el comportamiento de un betún fluidificado convencional (FM-100), frente a las emulsiones convencionales de imprimación (ECI y EAI) y las de alta capacidad de penetración (EPPC y EPPA), observándose que la emulsión de alta capacidad de penetración presenta un comportamiento claramente mejor que la ECI convencional e incluso que el betún fluidificado tomado como referencia.

Por otro lado, dada la naturaleza físico-química de las emulsiones bituminosas, presentan un comportamiento mejor en árido húmedo que en seco lo que supone una ventaja adicional sobre los betunes fluidificados, en lo que se refiere a la eficacia de la imprimación.

BETUNES DE BAJA VISCOSIDAD

La reducción de las temperaturas de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas tiene varios efectos beneficiosos. Por un lado, hay un ahorro económico considerable pues el consumo de combustible es uno de los factores de mayor peso en el coste de producción de las mezclas. Por otro, el menor consumo

de combustibles supone una disminución lineal de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO₂) y, por tanto, una sensible contribución a los objetivos del *acuerdo de Kyoto*. Finalmente, la reducción de la temperatura supone unas condiciones de trabajo, especialmente para los operarios del extendido, mucho mejores que las habituales. Sin embargo, esta reducción de temperatura debe realizarse sin afectar de forma apreciable la calidad y las características mecánicas de las mezclas, lo que no es sencillo.

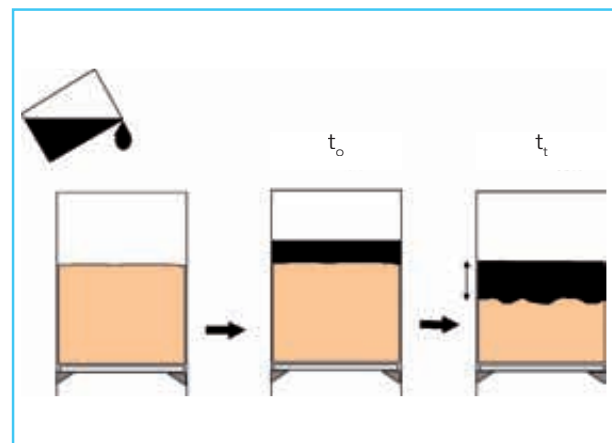


Figura 2. Ensayo del poder de penetración de las emulsiones bituminosas.

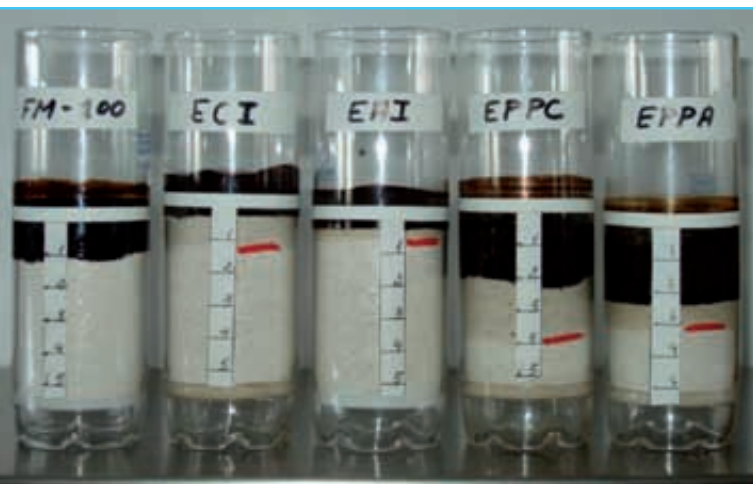


Foto 4. Comparativa del poder de penetración de un Betún Fluidificado (FM 100) Emulsiones de Imprimación Convencionales (ECI y EAI) y Emulsiones de Alto Poder De Penetración (EPPC y EPPA).

Para intentar dar solución a este objetivo se han iniciado varias líneas de investigación entre las que podemos destacar, por su incidencia en nuestro país, dos muy significativas:

- Los betunes de baja viscosidad a temperatura elevada que permiten fabricar mezclas en caliente a temperaturas inferiores a las habituales (120-140 °C), y
- Las mezclas con emulsión fabricadas a temperatura superior a la habituales de las mezclas en frío (60-90°C) de las que hablaremos en el siguiente punto.

Habitualmente a las primeras se le conoce como *templadas* y a las segundas como *semi-calientes* (ver Figura 3).

Los betunes de baja viscosidad o de *baja temperatura de fabricación y extendido (BBTE)* son betunes que a temperaturas superiores a 100 °C muestran una reducción de viscosidad respecto a un betún convencional, mientras que a temperatura de servicio muestran unas propiedades similares a las de los betunes convencionales, incluso con puntos de reblandecimiento superiores (Figura 4).

El uso de este tipo de betunes permite la obtención de *mezclas templadas* con temperaturas de fabricación y puesta en obra entre 120 y 140 °C, lo que se traduce en un ahorro de consumo energético y una reducción significativa de las emisiones.

Se han realizado ya algunas experiencias de puesta en obra de estas mezclas como, por ejemplo, en la

M-607 en Madrid donde se puso en obra una S-20 con un 4,8% de betún BBTE con las siguientes características:

- Pen 25°C: 51 dmm.
- Pt° Rebl.: 74 °C.
- Frass: -13 °C.
- Viscosidad Brookfield: 801 a 120°C, y 210 a 140°C

Se ha podido comprobar que el comportamiento de la mezcla durante la puesta en obra no presenta problemas, pudiendo llevarse el límite inferior de compactación hasta valores inferiores a 100°C y también que las condiciones de trabajo de los operarios mejoran de manera ostensible.

MEZCLAS SEMICALIENTES CON EMULSIÓN BITUMINOSA

Otra aproximación al problema de las emisiones consiste en la utilización de *mezclas semicalientes*, en las que se utiliza como ligante una emulsión para fabricar mezclas en una planta en caliente, trabajándose a temperaturas en torno a 80 °C.

Aunque existen experiencias puntuales anteriores, no es hasta el año 2000 en las *VII Jornadas sobre Conservación de Carreteras de A Coruña* cuando se empieza a hablar de conservación de rodaduras drenantes con mezclas semicalientes fabricadas con emulsiones catiónicas de rotura media. Posteriormente se han realizado obras de este tipo de mezclas (14 km en Ávila) y de otras como reciclados de mezclas bituminosas con la misma técnica, tanto en plantas continuas como discontinuas en donde utilizando emulsiones catiónicas de rotura lenta como ligante. Con esta técnica se consiguen mezclas con las características mecánicas próximas a las de las mezclas en caliente pero con un menor consumo energético y la ventaja de que se pueden almacenar hasta 24 h.

La mezcla se fabrica como una mezcla en caliente, la temperatura de los áridos estará comprendida entre 85°C y 95°C, realizándose la envuelta en el tambor de la planta continua o bien en el mezclador de las discontinuas. La emulsión se introducirá mediante una bomba convencional a entre 20°C y 70°C dependiendo de la viscosidad de la emulsión. En estas condiciones se consigue una envuelta del 100 %, una muy

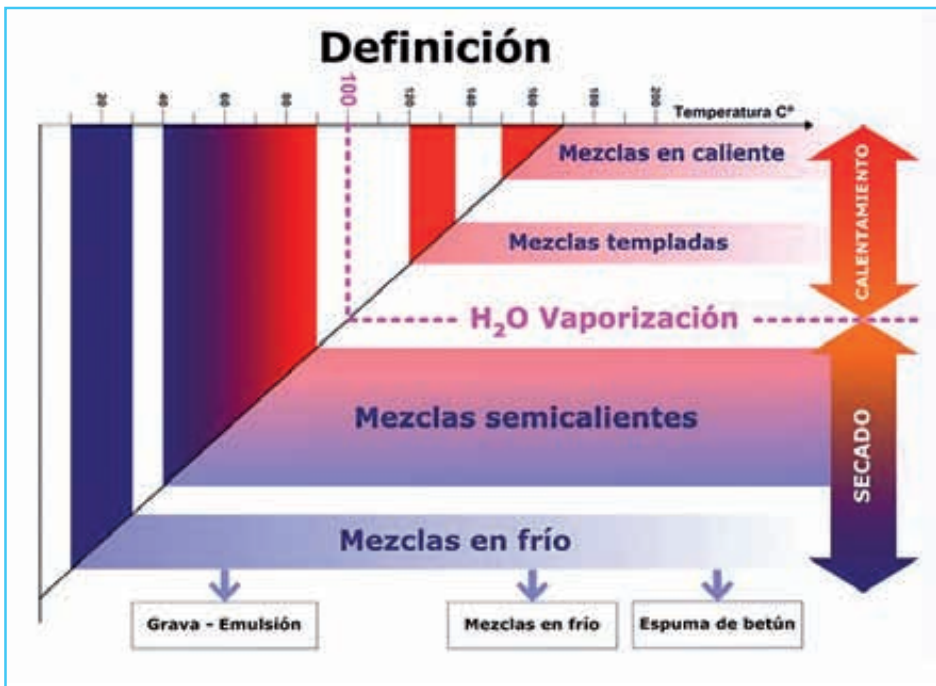


Figura 3. Esquema de tipos de mezclas por temperatura de fabricación.

- No requiere periodo de maduración.
- Mayor interacción betún viejo/betún nuevo.

Hasta el momento se han realizado tramos de ensayo en Huelva (planta de RUS) y Viseu (Portugal), y también una prueba en la autopista Oporto-Lisboa, que tras un año en servicio muestra un comportamiento impecable.

BETUNES MODIFICADOS CON POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)

buena manejabilidad y una cohesión inicial alta después de compactación. Todo ello con un consumo de ligante reducido.

Con una filosofía de trabajo similar, encontramos los *Reciclados Semicalientes* que son reciclados en planta, continúa o discontinua, en caliente con emulsión bituminosa, es decir, una variante de reciclados de firmes que aprovecha algunas de las ventajas de los reciclados en caliente y otras de los reciclados en frío.

De los reciclados en frío:

- Aprovechamiento del 100 % de fresado.
- Temperatura de aplicación próxima a la ambiente.

De los reciclados en caliente:

- Dosificación y análisis previo.
- Alta cohesión inicial.

El uso de polvo de caucho procedente de *Neumáticos Fuera de Uso (NFU)* en la tecnología de carreteras es un tema de gran interés en el sector que busca la solución a un problema medioambiental grave como es el de los residuos de neumáticos valorizándolos y consiguiendo productos con un valor técnico añadido.

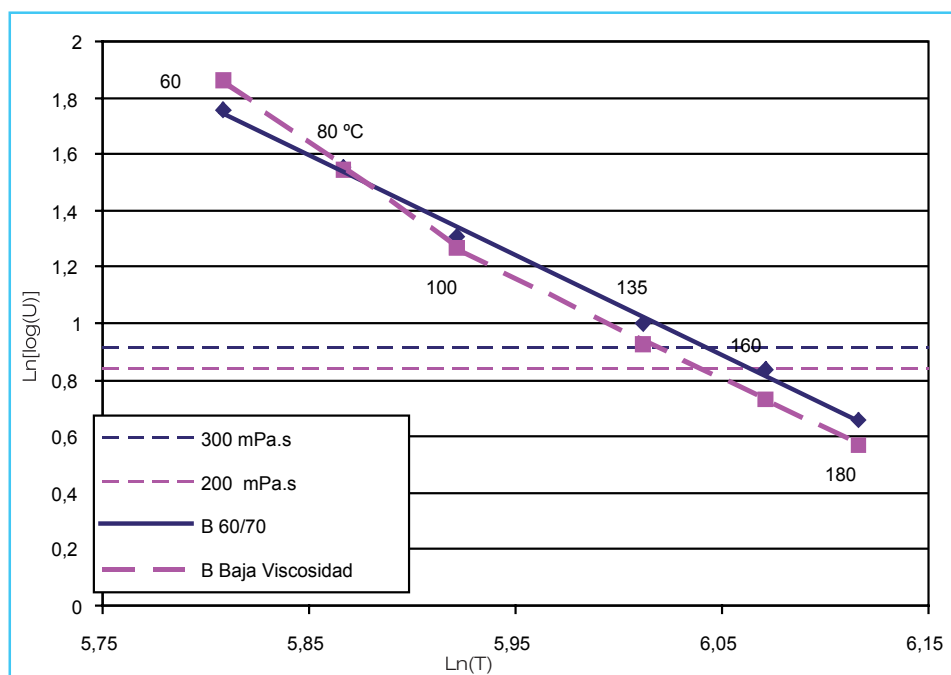


Figura 4. Viscosidad de un Betún de Baja Viscosidad frente a un B 60/70 convencional.

El *Plan Nacional de Neumáticos fuera de uso* de octubre de 2001 aboga por el uso de materiales procedentes de neumáticos fuera de uso (NFU) en las obras públicas en que su utilización sea técnica y económicamente viable. El *Ministerio de Fomento* primero con la *Orden Circular 5 bis/02* y después con la *Orden Ministerial 891/2004* ha modificado los tres artículos (540, 542 y 543) de mezclas del PG 3 dando prioridad a su uso siempre que sea técnica y económicamente viable.

Cuando se incorporan partículas de caucho al betún se produce una absorción de fracciones ligeras del betún lo que, a corto plazo, se traduce en un hinchamiento, y a muy largo plazo en una degradación del caucho. Este hinchamiento afecta a la parte superficial de cada gránulo y progresa con el tiempo. Puede acelerarse el hinchamiento mediante un aumento de la temperatura de la mezcla y/o cizallando las partículas para disminuir su tamaño y aumentar la superficie de contacto.

Como consecuencia del hinchamiento el caucho va aumentando la viscosidad de la mezcla betún-caucho y modificando las propiedades iniciales del betún dotándolo de algunas características elastoméricas, si bien no al nivel que puede conseguirse con un caucho virgen tipo SBS o SBR. Salvo condiciones extremas de tiempo, temperatura o cizalla, las partículas de caucho reciclado mantienen parte de sus propiedades elásticas, lo que confiere unas características particulares a la mezcla compactada que dependen, lógicamente, de la cantidad de caucho reciclado y del tamaño de las partículas.

En la bibliografía americana, especialmente la procedente de California, se puede leer que experimentalmente se ha comprobado que las mezclas con caucho presentan muy buenas características antifisuras, resultan menos sonoras y pueden ofrecer mejores características anti-deslizantes que mezclas similares con betún convencional.

La incorporación del caucho de NFU a las mezclas asfálticas se puede hacer por *vía húmeda*, modificando betunes mediante la adición de distintas cantidades de polvo de neumáticos o por *vía seca*, empleando el polvo de neumáticos como polvo de aportación, esto es, como una fracción más de árido de la mezcla asfáltica.

Dentro de la *vía húmeda* se pueden conseguir distintos productos más o menos estables en función de la clase de polvo de neumático, su proporción y su forma de incorporación.

1. Betunes modificados con caucho

Son betunes que, en principio, cumplen las especificaciones de betunes modificados con polímero recogidas en el artículo 215 del PG-3. En la práctica, es difícil que únicamente empleando caucho reciclado se puedan cumplir todas las condiciones de la especificación. En particular, la incorporación de caucho suele afectar mucho a la ductilidad y es muy difícil alcanzar los niveles requeridos por algunos tipos de BM. Tampoco es sencillo alcanzar los niveles de recuperación elástica que pide el 215 para el BM-3b, BM-3c, BM-4 y BM-5.

Por ello, si se desea fabricar betunes modificados con caucho reciclado parece necesario en muchos casos el recurrir a formulaciones mixtas que contemplen, además, el uso de aditivos o polímeros. Además, si se desea alcanzar los niveles de estabilidad que pide el pliego para que el producto no tenga que ser fabricado a pie de planta, será necesario recurrir a aditivos o reactivos que eviten la sedimentación de las partículas de caucho que se produce por la diferencia de densidades con el betún.

Su uso sería similar al de los betunes modificados del Pliego y ya se han realizado bastantes experiencias con éxito. Se han fabricado mezclas convencionales, caso siempre de tipo S, y mezclas discontinuas de tipo F y M con betunes modificados de tipo BM-3a, BM-3b y también BM-2. A nivel de diseño pueden presentar algunos problemas por el efecto caucho en la compactación de probetas y también debe vigilarse la adhesividad. En obra hay que poner especial atención a la compactación, manteniendo los equipos más tiempo y hasta una menor temperatura que en las mezclas con betunes modificados convencionales. El comportamiento se ha mostrado satisfactorio, salvo cuando no se ha alcanzado un buen grado de compactación.

2. Betunes mejorados con caucho (BC)

Este tipo de productos se proponen como una opción muy interesante a futuro desde el punto de vista tanto del aprovechamiento de los neumáticos fuera de uso como de la mejora de la durabilidad de los firmes. La idea sería emplearlos en sustitución de los betunes convencionales y, por tanto, su rango de empleo sería el de cualquier capa de firme excepto las que emplean betunes modificados y ello supone un enorme potencial de empleo.

Desde el punto de vista técnico se dispondría de un ligante intermedio entre uno convencional y uno modificado que permitiría la fabricación y puesta en obra de mezclas para capas bajo la rodadura con mayor durabilidad que



Foto 5. Fabricación a pie de planta y aplicación de una mezcla con un betún de alta viscosidad con caucho.



las ejecutadas con betunes convencionales ya que estos nuevos ligantes dispondrían de una mayor cohesión y una cierta reserva de recuperación elástica, lo que conduciría a mezclas con un mejor comportamiento a fatiga.

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

Son betunes modificados con un alto contenido de polvo de NFU (18-22%), generalmente fabricados *in situ* porque no son estables al almacenamiento y porque su alta viscosidad hace que su transporte y bombeo sea complicado. En su diseño y empleo siguen la experiencia existente en algunos estados del sudoeste de EE.UU., principalmente Arizona y California.

Aunque históricamente en EE.UU. su empleo estuvo muy asociado a los tratamientos tipo *SAMI* ("Stress Absorption Membrane Interlayer") sobre pavimentos de hormigón, en España la mayor experiencia se ha acumulado en torno a su empleo en mezclas abiertas con una fuerte dotación de ligante (alrededor del 8-9%) que se utilizan como tratamiento anti-reflexión de grietas sobre pavimentos fisurados de hormigón o de mezcla (Foto 5). Su empleo también está bastante extendido en Portugal donde, además, se emplea en operaciones de refuerzo y rehabilitación de firmes bituminosos aprovechando el buen comportamiento a fatiga de estas mezclas.


CONCLUSIONES

En el artículo se ha querido mostrar un panorama de las principales innovaciones realizadas en el campo de los ligantes bituminosos durante los últimos años y que han ido encaminadas a conseguir productos de altas prestaciones que colaboren en la mejora del comportamiento de los firmes y a desarrollar técnicas que tengan cada vez un menor impacto sobre el medioambiente y permi-

tan mejorar las condiciones de trabajo en las operaciones de pavimentación.

Se ha pasado revista a:

- Betunes modificados de altas prestaciones,
- Betunes multigrado,
- Emulsiones termoadherentes,
- Emulsiones de alto poder de penetración,
- Betunes de baja viscosidad,
- Mezclas semicalientes, y
- Betunes modificados con polvo de caucho procedente de neumáticos fuera de uso.

Cada una de ellas presenta características interesantes en distintos ámbitos que deberán ir siendo testadas en los próximos años hasta que ocupen un lugar definitivo entre las soluciones disponibles. En todo caso, es preciso insistir en que ninguna de ellas es la *poción mágica* que todo lo arregla y que su éxito está condicionado a que se empleen en el sitio y la forma adecuados. 



El mercado CE de las mezclas bituminosas en España

The EC marking for asphalt mixes in Spain



Juan José Potti

Gerente de ASEFMA
 (Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas)

RESUMEN

Desde la aprobación de la norma europea de mezclas bituminosas y como consecuencia del mandato para productos de la construcción se ha iniciado la cuenta atrás para la aplicación del marcado CE a las mezclas bituminosas. El marcado CE es obligatorio y el plazo límite para la obtención de este requisito finaliza el 1 de marzo de 2008. Desde el 1 de marzo de 2007 cualquier fabricante de mezclas bituminosas español podrá solicitar al organismo notificado el inicio del proceso para la obtención del marcado CE de cada una de sus mezclas.

La norma europea define el marco normativo para el diseño y control de las mezclas, cuarenta y tres normas componen el listado actual, así como el marco para el establecimiento de los tipos de mezclas y el plan de aseguramiento de calidad (PAC). ASEFMA, en colaboración con distintas administraciones de carácter nacional y autonómico, está realizando un trabajo para la adaptación de la norma europea a las mezclas bituminosas españolas. En esta texto se pretende informar de la marcha actual de los trabajos.

Palabras clave: Mezcla bituminosa, Mercado CE, Norma UNE EN, Organismo notificado, Especificaciones, Ensayos.

ABSTRACT

From the time the European Asphalt Standard was passed and as a result of the mandate for construction products, the countdown has begun for applying EC marking for asphalt mixes.

This EC marking is compulsory and the deadline for obtaining this requisite expires on March 1, 2008. As from March 1, 2007, all Spanish asphalt makers have been eligible to request that the notified organism start the process for obtaining the EC marking for each of their mixes.

The European standard defines the regulatory framework for the design and control of asphalt mixes, the list currently comprising forty-three standards, as also the framework for establishing asphalt types and the Quality Assurance Plan (QAP). ASEFMA, in collaboration with different national and regional authorities in Spain, is carrying out work on the adaptation of the European standard to the Spanish asphalt mixes. This article is designed to report on the stage the work has currently reached.

Keywords: Bituminous mixture, CE marquage, UNE EN Normative, Notified Body, Specifications, Tests.

El *mercado CE* es un *pasaporte* para la libre circulación de productos en el mercado interior de la UE, representa el respaldo de la *aptitud* del producto para el uso previsto y significa que el producto es conforme con una *norma armonizada* o un *DITE*. Hasta el momento no se disponía de unos criterios normalizados que agrupasen de manera común los diferentes tipos de mezclas asfálticas que se desarrollaban en cada uno de los estados miembros y que disponían de características y normalización individuales.

En el *Real Decreto 1630/1992* y en el *Real Decreto 1382/1995* se dictan disposiciones para la libre circulación de productos de construcción, en aplicación de la *Directiva 89/106/CEE*, modificada por la *Directiva 93/068/CEE*, incluyendo la documentación que han de aportar los fabricantes de productos de cons-

trucción para demostrar el correcto cumplimiento del *mercado CE*.

El *mercado CE* es obligatorio, tras los periodos reglamentarios de implantación, para cualquier familia de productos que disponga de una especificación técnica armonizada publicada oficialmente (Figura 1).

En diciembre del año 2006 las normas de productos armonizados para mezclas bituminosas (*hEN 13108-1 a 13108-7*) fueron publicadas en el *Diario Oficial de la Union Europea (DOUE)*. La fecha de aplicación de estas normas se inició el 1 de marzo de 2007, iniciándose así el periodo transitorio, que deberá finalizar el 1 de marzo de 2008. Todas las legislaciones nacionales deberán adaptarse a estas normas armonizadas dentro de este periodo.

El mercado CE de las mezclas bituminosas será por lo tanto obligatorio a partir del 1 de marzo de 2008.

Sin embargo, el mercado CE no es una *marca de calidad* puesto que únicamente respalda los aspectos relativos a los requerimientos esenciales de seguridad, salubridad y protección al medio ambiente, con una fiabilidad basada en la evaluación de los riesgos relacionados con estos aspectos. Naturalmente, el mercado CE tampoco respalda el buen empleo y manipulación del producto ni, por supuesto, el diseño correcto de la edificación u obra civil en la que deba ser empleado.

Las *marcas de calidad de producto* que son de tipo voluntario, como por ejemplo la *marca N de AENOR*, pueden seguir siendo empleadas pero no sustituyen al mercado CE sino que, en todo caso, lo complementan. La Comisión impone que estas marcas voluntarias no contengan elementos ya cubiertos por el mercado CE y que se empleen acompañando al mercado CE de forma inequívoca y, al menos, en igualdad de condiciones.

DESCRIPCIÓN DE LA SERIE DE NORMAS 13108

La normativa de referencia para las mezclas bituminosas se concentra en dos normas armonizadas que han sido desarrolladas en el seno del *CEN/TC-227* relativo a *Productos para la construcción de carreteras y otras*

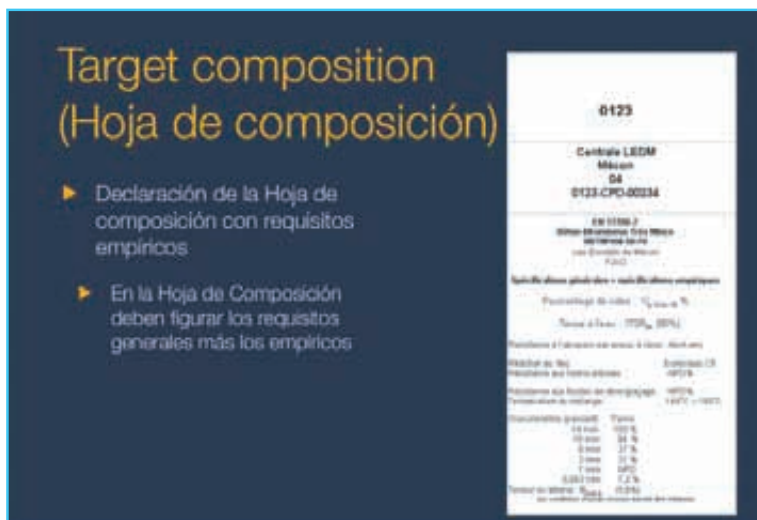


Figura 1. Modelo de marcado CE.

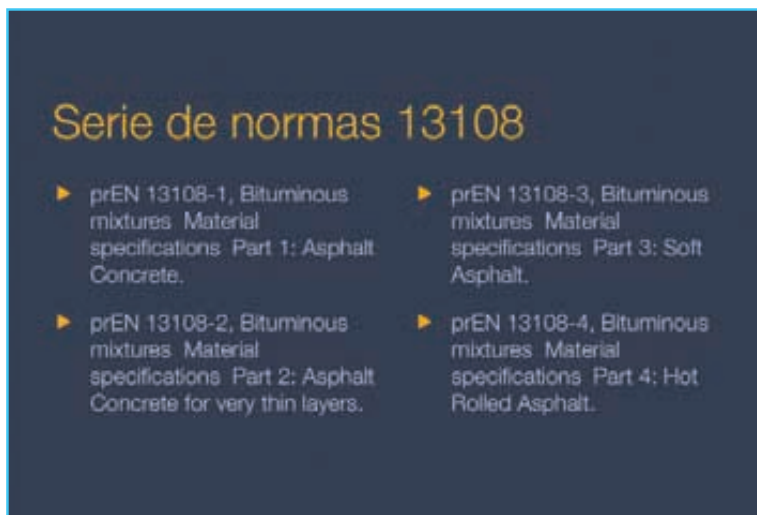


Figura 2. Descripción de las normas 13108-1 a 13108-4.



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Asefma es la referencia nacional del sector



Asefma, más de 100 empresas
más de 100 razones

13108-1	Asphalt concrete.
13108-2	Asphalt concrete for very thin layers
13108-3	Soft asphalt
13108-4	Hot rolled asphalt
13108-5	Stone mastic asphalt
13108-6	Mastic asphalt
13108-7	Porous asphalt
13108-8	Reclaimed asphalt
13108-20	Type testing
13108-21	Factory production control

Tabla 1. Serie de Normas 13108.

áreas pavimentadas dentro del Working Group WG-1 dedicado específicamente a Mezclas Bituminosas en caliente.

En concreto se trata de dos normas amplias, la EN-13108 y la EN-12697. La primera recoge las normas correspondientes a especificaciones de materiales y de calidad: *Ensayo Inicial de Tipo* ("Initial Type Testing") y *Control de Producción en Fábrica* ("Factory Production Control"), mientras que la segunda recoge los ensayos específicos, cuarenta y tres normas de ensayo, de mezclas bituminosas. Todas estas normas están finalizadas y aprobadas.

La lista de la serie de Normas 13108 son las recogidas en la Tabla 1.

Las siete primeras normas de la serie 13108, de la EN-13108-1 a la 7, son las especificaciones correspondientes a siete diferentes tipos de mezclas aceptados para su uso en carreteras (Figuras 2 y 3). De ellas, únicamente las 1, 2 y 7 son las empleadas habitualmente en España. Se corresponden respectivamente, con las *mezclas bituminosas de tipo hormigón bituminoso* (mezclas D, S, G y MAM en la denominación actual), las *mezclas bituminosas discontinuas para capa delgada* (mezclas F y M) y las *mezclas drenantes* (mezclas PA). El resto son tipos de mezclas bituminosas empleadas en otros países o con escaso empleo en España.

Merece la pena destacar la oportunidad que representan nuevas mezclas, en particular las SMA o las HRA, muy extendido su empleo en otros países, para su posible desarrollo en España.

La octava norma (EN-13108-8), no armonizada, se refiere a las especificaciones para las Mezclas Bituminosas recuperadas para ser empleadas en reciclados (Figura 3).

En general, estas especificaciones se recogen una serie de propiedades con distintos niveles de exigencia (*categorías*). Una de las tareas que debe ser realizada, de manera inmediata en cada país, es adaptar las especificaciones vigentes de acuerdo con estos nuevos criterios de especificación, de forma que se definan las mezclas más adecuadas a cada tipo de sección, posición en el firme, de tráfico y de clima, como ocurre en la actualidad.

El Mercado CE afecta únicamente a la fabricación de las mezclas bituminosas y no a la forma de ponerla en obra. Esto supone que estas normas no sustituirían completamente a los artículos correspondientes, 542 y 543, del PG-3, que seguirán siendo necesarios fijar los criterios de puesta en obra y de aceptación del producto en obra: espesores, densidades, características superficiales, etc..

Las EN-13108-20 y 21 recogen los criterios para asegurar que con los componentes empleados y el sistema de producción cumplen las exigencias elegidas para la mezcla, y para el sistema de control de producción en planta.

La acción de los organismos notificados a nivel de vigilancia, supervisión y evaluación de las plantas será el medio para garantizar a los clientes que las mezclas bituminosas satisfacen las especificaciones técnicas exigidas.

Para dar una idea de cómo se configuran estas especificaciones, a continuación se recogen de forma resumida las correspondientes al *Asphalt Concrete* que sería el grupo en el que se situarían nuestras mezclas D, S, G y MAM.

Existen unos requerimientos generales, independientemente de que se elijan después requerimientos empíri-

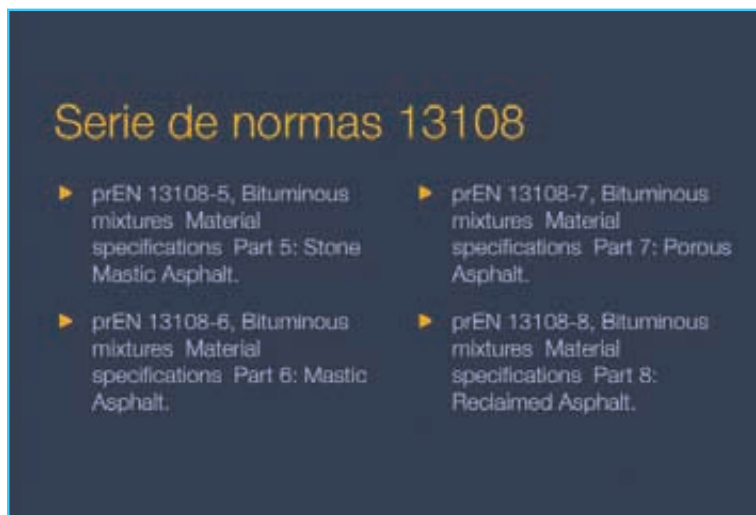


Figura 3. Descripción de las normas 13108-5 a 13108-8.

Requisitos generales

- ▶ Composición y granulometría
- ▶ Contenido en huecos
- ▶ Envuelta y homogeneidad
- ▶ Sensibilidad al agua
- ▶ Resistencia a la abrasión con ruedas de clavos
- ▶ Resistencia a la deformación permanente
- ▶ Reacción al fuego
- ▶ Resistencia al fuel^a
- ▶ Resistencia a los fundentes^a
- ▶ Temperatura de la mezcla
- ▶ Durabilidad

Figura 4. Requisitos generales.

Limites de la hoja de composición para la serie básica más set 1

D	4	5,6	8	11,2	16	22,4	31,5	45
1,4D	100	100	100	100	100	100	100	100
D	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100
2	50-85	15-72	10-72	10-60	10-55	10-50	10-50	10-50
0,063	5,0-17,0	2,0-15,0	2,0-13,0	2,0-12,0	2,0-12,0	0-12,0	0-12,0	0-11,0

Figura 5. Serie básica de tamices +1.

Limites de la hoja de composición para la serie básica más set 2

D	4	6,3	8	10	12,5	14	16	20	31,5
1,4D	100	100	100	100	100	100	100	100	100
D	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100	90-100
2	50-85	15-72	10-72	10-60	10-55	10-50	10-50	10-50	10-50
0,063	5,0-17,0	2,0-15,0	2,0-13,0	2,0-12,0	2,0-12,0	0-12,0	0-12,0	0-11,0	0-11,0

Figura 6. Serie básica de tamices +2.

cos o prestacionales, con propiedades genéricas que se pueden seleccionar en función de la aplicación y condiciones externas. A continuación se optaría entre requerimientos *empíricos* (lo habitual ahora en España y en la mayoría de los países) o *prestacionales* (método que siguen Francia y Holanda). La lista de requerimientos generales es la siguiente (ver Figura 4):

- Composición y granulometría,
- Contenido en huecos,
- Envuelta y homogeneidad,
- Sensibilidad al agua,
- Resistencia a la abrasión con ruedas de clavos,
- Resistencia a la deformación permanente,
- Reacción al fuego,
- Resistencia al fuel^(a),
- Resistencia a los fundentes^(a),
- Temperatura de la mezcla, y
- Durabilidad.

Un aspecto importante de la norma, es la utilización de un esquema mínimo de cuatro tamices para la definición de los husos granulométricos, definida por los siguientes puntos:

- 1,4 x D
- D
- 2 mm
- 0,063 mm

Siendo D la abertura del tamiz elegido, no correspondiendo estrictamente con el tamaño máximo nominal del árido, definido en el PG-3, pero muy próximo a ese concepto.

(a) En el caso de aeropuertos.

Además de los tamices mínimos descritos en la Figura 5 o Figura 6, se pueden incluir los porcentajes que pasan por un tamiz opcional entre el tamiz D y 2 mm, siendo éste un tamiz que caracterice el tamaño grueso, y otro tamiz opcional que caracterice el tamaño fino entre los tamices de 2 mm y 0,063 mm. Si se opta por las especificaciones empíricas, como han hecho la mayor parte de los países europeos, se pueden añadir otros dos tamices adicionales, uno para el árido grueso u otro para el árido fino, quedando por tanto:

- 1,4 x D
- D
- 1º Opcional para gruesos
- 2º Opcional para gruesos
- 2 mm
- 1º Opcional para finos
- 2º Opcional para finos
- 0,063 mm

Los valores que puede adoptar D son los correspondientes a las series básicas según *UNE 13043*, pudiéndose utilizar la correspondiente a la *serie básica +1* o la *serie básica +2* (contenidos en las Figuras 5 y 6).

Una de las tareas más importantes que se han venido desarrollando en los últimos meses es la selección para la adaptación de los husos actuales a nuestras mezclas bituminosas en base a estos criterios. La serie de *tamices +2* quizás sea más habitual en España pero definitivamente y dada la imposibilidad de poder ajustar adecuadamente las mezclas S20, D20 y G20 dentro de la serie 2 se ha optado por la adopción de la serie básica de *tamices +1*, empleada en Alemania, y en la que el desarrollo de los tamices es constante y siempre múltiplo de la raíz cuadrada de 2.

EL TRABAJO DE ADAPTACIÓN DE LAS NORMAS EN 13108 EN ESPAÑA

ASEFMA, dentro del Grupo de Trabajo 3 Mercado CE, en el que colaboran técnicos del CEDEX y de más de 35 organizaciones asociadas a ASEFMA ha realizado una primera



Figura 7. Adaptación de las mezclas S, D y G según la EN 13108.

revisión de la normas *UNE EN 13108* analizando aspectos tales como (Figura 7):

- la existencia o no de una norma actual de uso en España;
- las diferencias operativas;
- el nuevo equipamiento que, en su caso, requeriría;
- la existencia de ambigüedades en la norma; o
- la existencia o posibilidad de correlaciones con normas españolas similares.

El diseño de las mezclas bituminosas según la nueva normativa europea está marcado por una serie de requerimientos generales y empíricos que en algunos casos no se corresponde con lo que hasta ahora se ha venido haciendo en España.

El Mercado CE va a suponer *la industrialización del proceso de fabricación de las mezclas bituminosas*. Cada fabricante podrá ofrecer a sus clientes únicamente los productos que tenga marcados. Esto va a suponer que dentro de la gama de productos disponibles que tenga cada fabricante, este deberá seleccionar aquel o aquellos que mejor se adapten a los requerimientos solicitados.

La dinámica habitual mediante la cual ante una obra concreta se estudian los materiales de la zona y en base a unos estudios de dosificación Marshall se propone a la administración la fórmula de proyecto va a cambiar de forma radical. El cliente deberá establecer, como es preceptivo, las exigencias y requerimientos que debe satisfacer la mezcla bituminosa y el cliente seleccionar dentro de sus productos *Marcados CE* el que mejor se



Figura 8. Criterios adoptados para el desarrollo de la EN 13108-1.

	D12	D20	G20	G25	S12	S20	S25
45				100			100
31,5		100	100	90-100		100	90-100
22,4	100	90-100	90-100		100	90-100	
16	90-100	73-88	65-86	58-76	90-100	70-82	68-82
8	64-74	55-70	40-60	35-54	60-75	50-66	50-66
4	44-59				35-50		
2	31-46	31-46	18-32	18-32	24-38	24-38	24-38
0,5	16-27	16-27	7-18	7-18	11-21	11-21	11-21
0,25	11-20	11-20	4-12	4-12	7-15	7-15	7-15
0,063	4-8	4-8	2-5	2-5	3-7	3-7	3-7
	AC12	AC22	AC22	AC31	AC16	AC22	AC31

Propuesta de husos AC
Adaptación de los husos actuales del PLS 1 a la norma EN 13108-1

Figura 9. Propuesta de husos para las mezclas 13108-1 o mezclas convencionales.

adapte. Si ninguno de ellos se adaptase se deberá realizar previamente el Marcado de otro nuevo producto (Figura 8).

El proceso para la obtención del Marcado CE se detalla en la Norma 13108-20.

La dinámica de trabajo cambia de manera radical. Cada fabricante sólo puede ofrecer a sus clientes los productos que previamente haya marcado. El Marcado CE es un documento donde se precisa la fórmula precisa (granulometría, contenido exacto de ligante y adiciones si las hubiere, ubicación de la planta de fabricación, etc.) y sobre todo se presenta en la hoja de Marcado CE las características de esa fórmula. Evidentemente, si el cliente solicita unos requerimientos mínimos en esa hoja del Marcado CE se puede comprobar si los

valores descritos en la hoja del Marcado CE satisfacen esos requerimientos.

A partir de ahí, con cada producto Marcado CE se debe desarrollar un *plan de control de producción específico (FPC)* que asegura que las características que se detallan en la hoja de Marcado CE son las que el producto ofrece. La sistemática del FPC, está recogida en la Norma 13108-21.

1. Mezclas convencionales

Anteriormente se ha explicado que era preciso seleccionar cuatro tamices adicionales a los de la serie básica, dos para el árido grueso y dos para el árido fino. En el grupo de trabajo para la adaptación de los husos actuales del PG-3 a la Norma 13108-1, se han seleccionado como tamices adicionales el 16 y el 8 para el árido grueso y el 0,5 y el 0,25 mm para el árido fino. En base a la serie +1 se ha desarrollado la propuesta de husos granulométricos presentada en la Figura 9.

Un aspecto que merece ser explicado es la nueva denominación de las mezclas bituminosas convencionales. La nueva nomenclatura para los diferentes tipos de mezclas presenta la estructura presentada en la Tabla 2.

Por ejemplo: una mezcla convencional con un tamaño máximo de árido de 16 mm para ser utilizado en capa de superficie y con un betún de penetración 35/50 se denominará como:

AC 16 surf 35/50

Se ha decidido añadir a esta denominación obligatoria europea, la letra final S, D o G correspondiente al tipo

Nomenclatura → AC/BBTM/PA D Surf/base/bin Tipo de betún	
Designación tipo de mezcla	
AC	Nomenclatura designadas para las mezclas convencionales
BBTM	Nomenclatura designada para las mezclas de capa de fina
PA	Nomenclatura designada para las mezclas drenantes
Tamaño D del tamiz para una mezcla	
Designación de la posición de la capa donde se va a emplear	
SURF	Nomenclatura para la aplicación de la mezcla en capa de rodadura
BASE	Nomenclatura para la aplicación de la mezcla en capa de base
BIN	Nomenclatura para su aplicación de la mezcla como capa intermedia
Designación, según la penetración, del ligante empleado	

Tabla 2. Nomenclatura para las nuevas mezclas.

de mezcla, según la denominación actual en España, para facilitar una mayor comprensión entre ambas denominaciones. De modo que sería finalmente:

AC 16 surf 35/50 S

En la Figura 10 se presenta la curva granulométrica de la antigua mezcla S12, ahora AC16 surf 35/50 S, de acuerdo con la serie de *tamices +1* y los tamices adicionales seleccionados, que ya han sido descritos. Puede observarse que la curva es casi idéntica y sólo se puede destacar que los nuevos husos granulométricos acaban en forma de *pico de pato*, en lugar de *punta de flecha*.

Otros ejemplos de mezclas convencionales, ver Figuras 11 y 12, ponen de manifiesto que el cambio, más allá de las nuevas denominaciones y los nuevos tamices, deja los husos casi idénticos a los actuales.

Un aspecto que es preciso aclarar es la correcta interpretación de los *productos* a marcar por cada fabricante. Si, en la actualidad, se pregunta a un fabricante cuántos tipos de mezcla fabrica en su planta asfáltica, la respuesta puede ser "... seis o siete tipos", pero si formulamos la pregunta de otra manera al plantista, y le pedimos cuántas fórmulas tiene el ordenador de su planta asfáltica, la respuesta puede ser "... más o menos 20 fórmulas de trabajo". El número puede ser muy superior si se trata de una planta asfáltica fija próxima a un centro urbano.

Para un mismo huso de mezcla y según los criterios establecidos en la normativa, podemos llegar a fabricar varias mezclas con diferente designación. Por ejemplo, para una mezcla S-12: tipos de mezclas posibles, serían los incluidos en la Figura 13, con un total de 9 denominaciones posibles.

De acuerdo con esta explicación, cada fabricante debería analizar en el momento actual cuántos productos distintos fabrica en cada planta, y analizando las producciones de cada uno de estos productos establecer su estrategia inmediata para el Mercado CE. De manera inmediata debería marcar, sin lugar a dudas, aquellos productos que representan la mayor parte de su producción. Posteriormente, ante la enorme cantidad

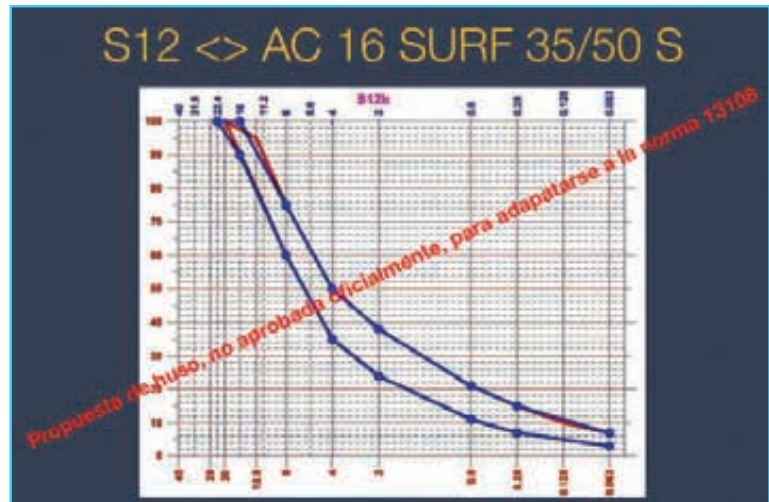


Figura 10. Ejemplo de adaptación de la mezcla S12 según 13108-1.

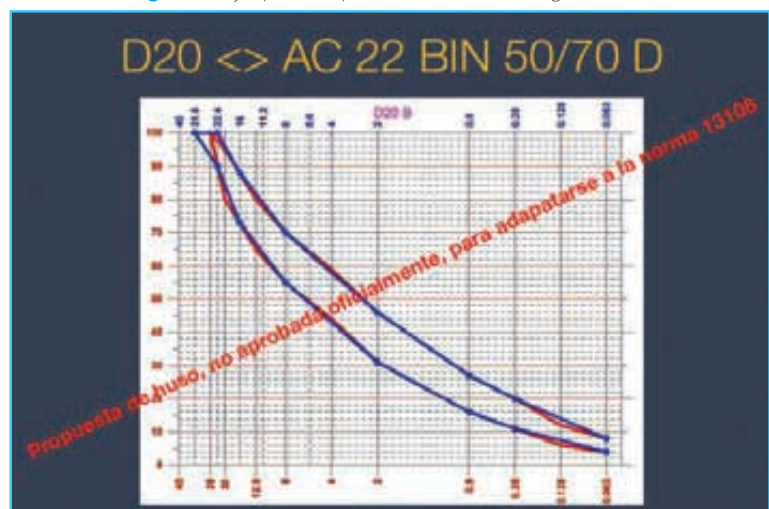


Figura 11. Ejemplo de adaptación de la mezcla D20 según 13108-1.

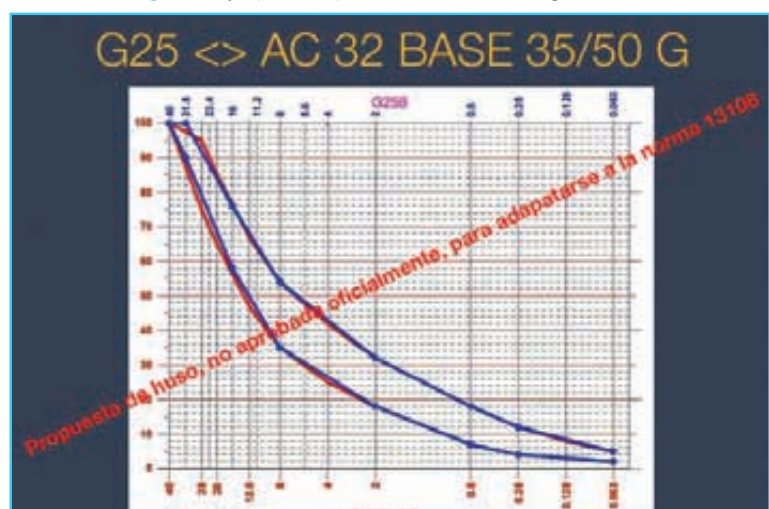


Figura 12. Ejemplo de adaptación de la mezcla G25 según 13108-1.

de productos fabricados aunque en menor cantidad, analizar si estos productos es preciso o no marcarlos (Figura 14).

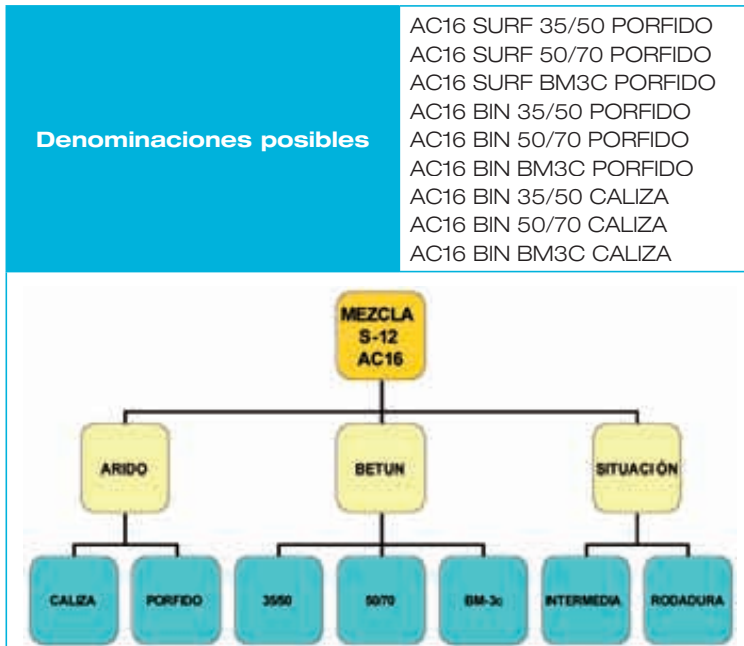


Figura 13. Tipos de mezclas posibles con las nuevas designaciones a partir de la mezcla S-12.

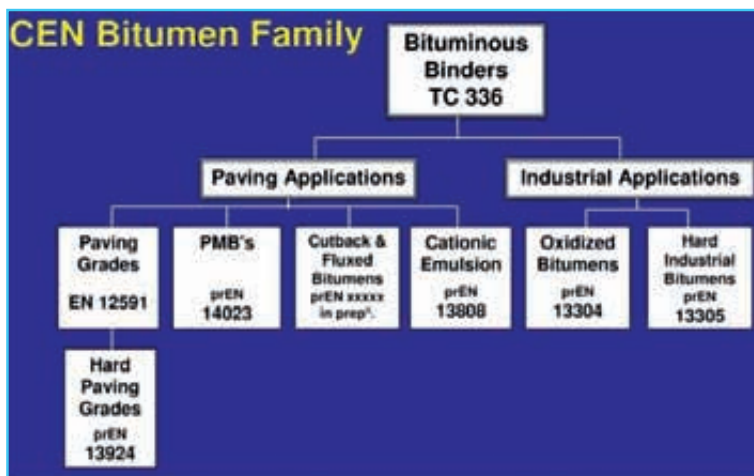


Figura 14. Grupos de trabajo del Comité de ligantes 336 y especificaciones generadas.

La consideración de producto radica en la composición de los áridos, en su naturaleza, granulometría, en la adición de determinados productos, tipo de ligante, cantidad de ligante, etc... Independientemente de que todas estas fórmulas queden dentro del mismo huso.

Si una mezcla S12, en la denominación actual, se formula con un betún más duro es un producto *distinto*, si el contenido de ligante es distinto es un producto *distinto*, si se formula con un árido grueso más duro para responder a determinadas exigencias es un producto *distinto*, si se formula con fibras o con adición de polvo de neumáticos

también es un producto *distinto* aunque todas estas mezclas tengan exactamente la misma granulometría. Se debe, por tanto, entender como producto las diferentes fórmulas de que dispone cada ordenador de planta (Figura 16).

2. Microaglomerados en caliente y mezclas drenantes

Analizadas las mezclas tipo S, D y G, dentro de la *norma 13108-1*. Las mezclas tipo F y M quedan dentro de la *norma 13108-2* y las mezclas drenantes dentro de la *norma 13108-7* (ver Figura 17).

La *norma 13108-2* establece dos tipos de curvas granulométricas denominadas A y B según el contenido de árido fino: las mezclas A del 25-35% de pasa por el tamiz 2 mm y las mezclas B del 15-25% de pasa por el tamiz 2 mm. Nuestras mezclas actuales tipo F encajan mejor dentro de las tipo A y las M dentro del tipo B. En la Figura 18 se observa la propuesta de husos que se está proponiendo, basada en la serie 1 de tamices.

La nueva nomenclatura para los tipos de mezclas F y M, según la denominación actual, sería, por ejemplo: una mezcla tipo F10 con un tamaño máximo de árido de 16 mm para ser utilizado en capa de superficie y con un betún de penetración 55/70 se denominará:

BBTM 11A 55/70 F

Posible Especificación final en España

Tabla1.- Betunes de penetración entre 20 y 220 dmm

Grupo	CARACTERÍSTICAS	Un.	35/50	50/70	70/100	150/200	160/220	
1	Penetración	dmm	35-50	50-70	70-100	150-200	160-220	
1	Pt° Reblandecimiento	°C	50-58	46-54	43-51	39-47	35-43	
1	RTFO	Pen. Retenida	%	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
		Incr. AyB Sev.2	°C	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12	≤ 12
2	Pt° Inflamación	°C	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220	
2	Solubilidad	%	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	
1	Cambio masa RTFOT	%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0	
3	Índice de Penetración		-1,5 / +0,7					
3	Pt° Fragilidad Fraass	°C	< -5	< -8	< -10	< -12	< -15	

Grupo 1: Origen en el mandado. Deben aparecer en el mercado CE
Grupo 2: No mandadas. Obligatorias por salud, seguridad y/o medio ambiente. No van en el mercado CE
Grupo 3: Obligatorias en los países que lo decidas. No van en mercado CE

Figura 15. Posible cuadro de especificaciones de betunes en España.

Trabajo nacional de la norma EN 13108-1

- ▶ Se debe especificar en la denominación el tipo de ligante empleado
- ▶ Los tipos de mezcla serían distintos y deberían ser marcados cada uno de ellos:
- ▶ 35/50 y 50/70 en lugar del 40/50 y 60/70
- ▶ AC16 SURF 35/50 S
- ▶ Si es de ligante duro o con betún modificado igualmente
- ▶ AC16 SURF 50/70 S
- ▶ Además será distinto si hay componentes distintos
- ▶ AC16 SURF 35/50 S TO

Figura 16. Aspectos relativos a los tipos de productos según 13108-1.

Trabajo nacional de la norma EN 13108-1

- ▶ España va a optar por los requisitos empíricos
- ▶ A partir de ahí se seguirá con el resto de las mezclas:
- ▶ Da la posibilidad de 2 tamices adicionales en el huso
- ▶ Las F y M dentro del 13108-2
- ▶ Se van a emplear el 16 y el 8 y el 0,5 y 0,25 mm
- ▶ Las FA dentro del 13108-7
- ▶ En este mes marzo con la DGC se han acordado los husos que compondrán el anexo nacional para las mezclas tipo S, D y G

Figura 17. Adaptación de las mezclas F, M y PA según 13108-2 y 13108-7.

Para una mezcla tipo M8 con un betún de penetración 55/70, sería:

BBTM 8B 55/70 M

La representación granulométrica de estos husos comparada con la actual existente se detalla en las Figuras 19 y 20.

Se puede observar que estas nuevas granulometrías, en azul, son más estrictas que los actuales husos F y M, especialmente dentro de los tamices 2 y 4 mm. Los nuevos husos asegurarán con mucha más garantía la discontinuidad de la mezcla.

No obstante, es preciso advertir en base a la experiencia de ASEFMA que como consecuencia de este huso tan estricto será muy difícil obtener un nivel de cumplimiento tipo A

de la tabla OCL, en cuanto el árido suministrado presente variaciones, *cabezas* o *colas* en las fracciones 0/2 y 4/8 o 4/12.

En la Figura 21 se presenta un ejemplo de etiqueta de Marcado CE para una mezcla tipo F12.

La dificultad que en este momento se está abordando por parte del sector es la determinación de los valores que será preciso establecer en los nuevos criterios de especificación, especialmente en los nuevos ensayos 12697-12, relativo a la *sensibilidad al agua*, y al ensayo 12697-22, relativo al *ensayo en pista*, que difieren notablemente de los ensayos NLT de inmersión-compresión y del ensayo en pista, respectivamente. El CEDEX y ocho empresas de ASEFMA están realizando trabajos comparativos entre el ensayo 12697-12 y el ensayo de inmersión-compresión.

En la serie de *normas 12697* se explican en detalle estos aspectos.

EL CONTROL DE PRODUCCIÓN EN PLANTA (FPC)

La *Norma EN 13108-21* (FPC) es un control interno permanente cuyo objeto es establecer los parámetros de control necesarios para la evaluación de la conformidad de las mezclas bituminosas. Este proceso está basado en la realización de ensayos de laboratorio sobre los constituyentes, el control del proceso de fabricación en la planta

	F10	F8	M10	M8
16	100		100	
11,2	90-100	100	90-100	100
8	62-82	90-100	60-80	90-100
5,6		50-70		42-62
4	28-38	28-38	17-27	17-27
2	25-35	25-35	15-25	15-25
0,5	12-22	12-22	8-16	8-16
0,063	7-9	7-9	4-6	4-6
	BBTM 11A	BBTM 8A	BBTM 11B	BBTM 8B

Propuesta de husos BBTM
Adaptación de los husos actuales del PG-3 a la norma 13108-2

Figura 18. Propuesta de husos de las mezclas F y M según 13108-2.

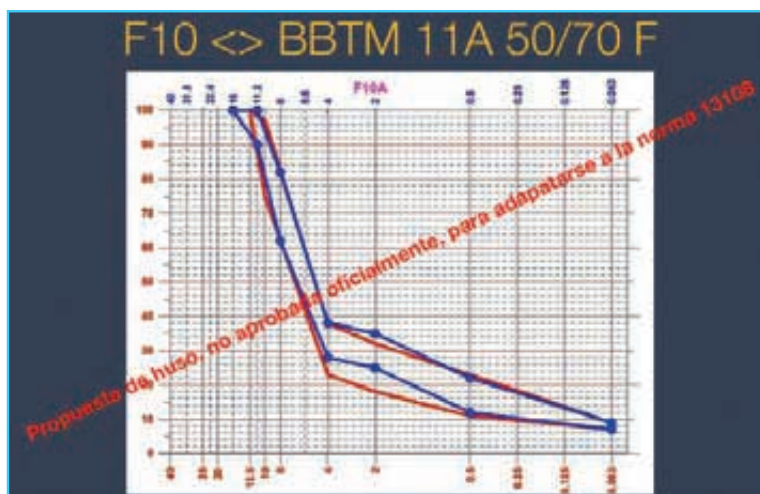


Figura 19. Propuesta de husos de las mezclas F10 según 13108-2.

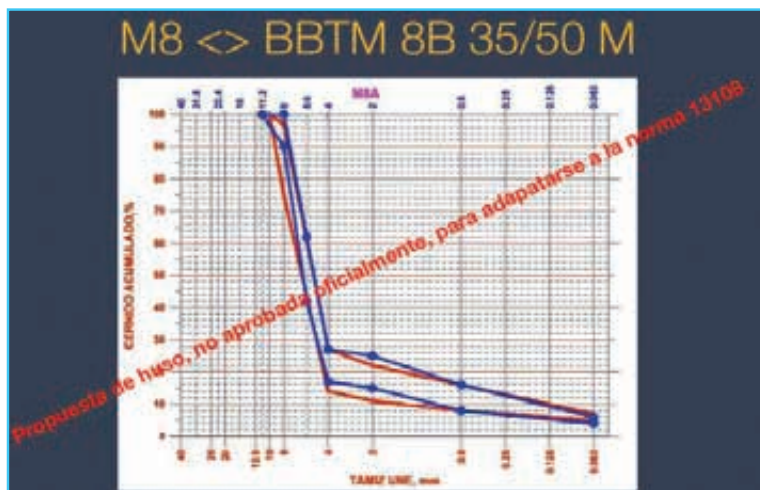


Figura 20. Propuesta de husos de las mezclas M8 según 13108-2.

y el control de calidad de la mezcla fabricada, para así verificar la conformidad con las características previamente declaradas en el ensayo de tipo.

La norma está basada en:

- El sistema de calidad. Es obligatorio disponer de un sistema de gestión de la calidad en cada instalación.
- El control de calidad. Establece la frecuencia de los controles a realizar y evalúa los resultados obtenidos tras efectuar los ensayos de laboratorio definidos en la serie de Normas UNE EN 12697.

La verificación del funcionamiento de la planta con la normativa europea es realizada por Organismos Notificados (Anexo B de la Norma 13108-21) mediante inspecciones de tipo:

- Inicial. Visita a la planta y comprobación del funcionamiento.
- Continua. Periódicas y al menos 1 vez cada año. Evaluación de modificaciones, correcta aplicación del marcado, reclamaciones, sistema de control, etc...

Las frecuencias en los muestreos están definidas en el anexo A de la Norma. Hay dos parámetros que determinan los lotes que se deben emplear:

- Tipo de cliente. Hay 3 niveles de frecuencia que se utilizarán para cada tipo de cliente: X, Y, Z. El primero de ellos, X es el de la frecuencia más exigente (lote de menor tamaño), el siguiente, Y es el de frecuencia media y por último el Z es el nivel más bajo de seguridad (lotes de mayor tamaño). Durante la fabricación es preciso señalar para qué tipo de obra o cliente va destinado y por tanto qué tipo exigencia es aplicable.
- Nivel de funcionamiento. En función del nivel de conformidad (el número de no conformidades) obtenido durante el control de calidad efectuado, se concluye un nivel para el control: A, B o C. Las mezclas A presentan una alta homogeneidad (pocas no conformidades), las mezclas B un nivel intermedio mientras que las mezclas C tienen mayor número de no conformidades. Esta clasificación se realizará para cada tipo de mezcla.

El sistema obliga a efectuar una evaluación continua de los materiales. Quizás es el cambio más significativo de esta nueva norma.

Ejemplo de etiquetado CE mezcla tipo F12

- ▶ El esquema y desarrollo es similar al de las mezclas tipo AC.
- ▶ La dificultad mayor estará en la fijación de los valores mínimos que compondrán las especificaciones solicitadas en el Anexo Nacional de los nuevos ensayos.
- ▶ Esto no impide que un fabricante pueda solicitar el marcado CE desde el 1 de enero de 2007 de sus mezclas actuales. No se van a endurecer las exigencias actuales.

Figura 21. Ejemplo de etiquetado para la mezcla F12.

Tabla A.2. (EN 13108-21)

Número de No Conformidades en los 32 últimos ensayos	Valores medios de 4 ensayos	Nivel de funcionamiento
0 a 2	0	A
3 a 6	1	B
> 6	≥ 2	C

Tabla 3. Criterio de valoración de los resultados.

Tabla A.3. (EN 13108-21)

Nivel	A	B	C
X	600	300	150
Y	1.000	500	250
Z	2.000	1.000	500

Tabla 4. Frecuencias de control según tipo de cliente (x, y, z).

Tabla D.1. (EN 13108-21)

Nivel	Frecuencia de ensayo
A	10.000 t
B	5.000 t
C	3.000 t

Tabla 5. Criterio de frecuencia de ensayo para comprobación de características generales de la mezcla.

La evaluación de la conformidad se realiza analizando los resultados de los ensayos pudiendo utilizarse uno de estos dos criterios: los valores medios de los 4 últimos ensayos realizados (media móvil) o el análisis de resultados en los 32 últimos ensayos (elegido para nuestro país). En la Tabla 3 (tabla A.2. de la norma) se indica el criterio de valoración de los resultados.

Como consecuencia del tipo de cliente y el grado de conformidad alcanzado, en la Tabla 4 (tabla A.3. de la norma) se establecen las frecuencias de control en cada mezcla^(a).

Desde el momento que se solicita el marcado de una mezcla y se dispone del ensayo de tipo, se comienza a efectuar el control de calidad tipo FPC efectuando los ensayos de contenido de ligante (EN 12697-1 o EN 12697-39) y granulometría de los áridos (EN 12697-2).

El nivel de funcionamiento para todas las mezclas en su inicio será el C hasta completar los 32 primeros ensayos a partir de los cuales se obtiene una primera evaluación. En función de estos resultados, las no conformidades obtenidas, el nivel de funcionamiento aplicable será el determinado por el grado de calidad alcanzado.

De igual forma el anexo D de la Norma 13108-21 señala que se deben comprobar las características generales de cada mezcla con el criterio de la Tabla 5 (tabla D.1. de la norma).

Las características generales, para las mezclas convencionales (definidas en la norma EN 13108-1 y correspondientes a las que aparecen en el Artículo 542 del PG-3), son las siguientes:

- Contenido en huecos (EN 12697-8).
- Ensayo de sensibilidad al agua (EN 12697-12).
- Ensayo de deformación (EN 12697-22).

CONCLUSIONES Y PRÓXIMOS PASOS

El sector de los productos industriales europeos en general está inmerso desde hace tiempo en un proceso generalizado de normalización europea y a ello no podía ser ajeno lo relativo a los productos destinados a ser empleados en las carreteras, tanto en su construcción como en su conservación.

La Comisión Europea ha ido emitiendo sucesivos mandatos para la redacción de normas europeas (EN) armonizadas en diferentes campos que afectan directa o indirectamente a las carreteras y, como era de esperar las mezclas bituminosas no podían quedar ajenas a ello.

Para entender el presente y prever el futuro, además de conocer y entender la nueva y, a veces, desconcertante



Figura 22. Portada y galleta del CD donde se recopilan todas las normas EN 12697 y EN 13108.

(a) Nota: Con cada tipo de mezcla todas las plantas comenzarán con un nivel de control C hasta completar los primeros 32 análisis. La frecuencia Z será la mínima aplicable para todos los fines.



Laboratorio de autocontrol o laboratorio FPC

Dotación¹
El objetivo de este laboratorio es disponer del equipamiento imprescindible para realizar los ensayos más frecuentes del control de producción en planta (FPC). Estos ensayos consisten en una torre de tamices para las granulometrías (según la serie 1), un equipo de extracción o una incineradora², más los elementos habituales e imprescindibles para la realización de estos ensayos: estufas, balanza, palas, bandejas, etc...



Este es el equipamiento mínimo para el clásico laboratorio de autocontrol de planta de producción de mezclas bituminosas.

El coste estimado total es de unos 15.000 €.

¹ De acuerdo con los criterios de los miembros del Grupo 3 de Asefma y muy especialmente de los dos fabricantes de equipos para laboratorio, socios de Asefma: Mecánica Científica, S.A. y Controla, S.A.

² En opinión del Grupo 3 de Asefma dada la frecuencia de ensayos es muy recomendable dotarse con una incineradora.

Figura 23. Ejemplo del listado de equipos de laboratorio de la serie de normas EN 12697.

terminología, debemos conocer también el devenir del proceso y los sucesivos *enfoques* de los agentes implicados en el proceso de normalización.

Es imprescindible conocer las nuevas series de normas EN 12697 y EN 13108 (ver Figura 22).

La Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas, ASEFMA, es plenamente consciente del momento que estamos viviendo en nuestro sector. La entrada de España en la Unión Europea ha supuesto cambios muy importantes en nuestras vidas.

El paso al euro, por ejemplo, nos obligó a calcular constantemente desde euros a pesetas y viceversa. Todavía hoy, casi cinco años después, no es raro escuchar precios en las antiguas pesetas.

Desde hace muchos años, nuestras normas de referencia son las NLT, elaboradas inicialmente por el antiguo Laboratorio de Transporte, y más recientemente, las normas UNE. En nuestro sector de actividad, la fabricación de mezclas bituminosas, estamos a punto de experimentar un cambio similar al que produjo el euro: las normas UNE-EN.

Después de casi 15 años de trabajo en el comité de normalización CEN/TC 227WG 1 Materiales para la ejecución de carreteras. Mezclas bituminosas, ha finalizado la serie de normas EN 12697, que definen los métodos de ensayo para la caracterización de las mezclas bituminosas. Son 43 normas en total (Figura 23).

En este momento todas las normas UNE-EN se han traducido al español. Estas normas sustituyen a las normas UNE o a las NLT de contenido similar en virtud de un compromiso establecido entre los organismos de normalización de los países miembros de la Unión Europea.

ASEFMA es, en este momento, experto nacional acreditado en el comité de normalización CEN/TC 227 WG 1 y CEN/TC 227 WG2. Paralelamente, en el grupo de trabajo 3 de ASEFMA, denominado *Marcado CE* (y del que forman parte más de 35 técnicos de empresas asociadas), se coordina y desarrolla la labor de adaptación que está llevando a cabo el sector. A partir de 1 de marzo de 2008, el marcado CE en mezclas bituminosas será obligatorio.

Es mucha la tarea pendiente. Sin lugar a dudas, pasaremos muchos años hablando de los nuevos ensa-

yos UNE-EN y recordando las antiguas NLT, estableciendo correlaciones y valorando el cambio experimentado. ASEFMA es la referencia sectorial y, de manera voluntaria, está adoptando un papel activo ante esta situación. Entendemos que es preciso realizar un gran esfuerzo de adaptación y coordinación para llegar a la fecha prevista en las mejores condiciones.

Para ello es necesario (entre otras acciones) realizar una importante tarea de información y divulgación de los conocimientos. ASEFMA prevé publicar una *Guía para la adaptación al mercado CE de las mezclas bituminosas*, y está organizando jornadas técnicas de carácter nacional y local, similares a esta, para dar a conocer estos importantes cambios.

Gracias a un acuerdo con AENOR se ha realizado un CD que recopila las 43 normas UNE EN 12697 y las 10 normas UNE EN 13108 publicadas en España.

Es el último de una serie de documentos, los tres libros de normas, necesarios para realizar la adaptación al mercado CE.

Desde Asefma ponemos al alcance de todos los técnicos de habla hispana este valioso documento, e invitamos a las empresas fabricantes de mezclas bituminosas españolas a unirse a nosotros y a hacer frente desde Asefma al momento que estamos viviendo.

Asefma ha realizado hasta la fecha nueve jornadas de carácter regional sobre *Mercado CE*. La primera, desarrollada en Cáceres el 25 de octubre del año 2006 (ver Figura 24) y la de Sevilla, que contó con la presencia de más de 500 asistentes, celebrada el 19 de abril del año 2007. A ellas les han seguido, entre mayo y junio de 2007, siete Jornadas más: Pamplona, Fuerteventura, Valladolid, Madrid, Valencia, Barcelona y San Sebastián (Figura 25).

BIBLIOGRAFÍA

1. "Los nuevos tipos de mezclas. La serie de normas EN 13108". Juan José Potti. Jornada Técnica "El mercado CE de las mezclas bituminosas". Cáceres, octubre 2006.



Figura 24. Jornada técnica de Cáceres de 2006.

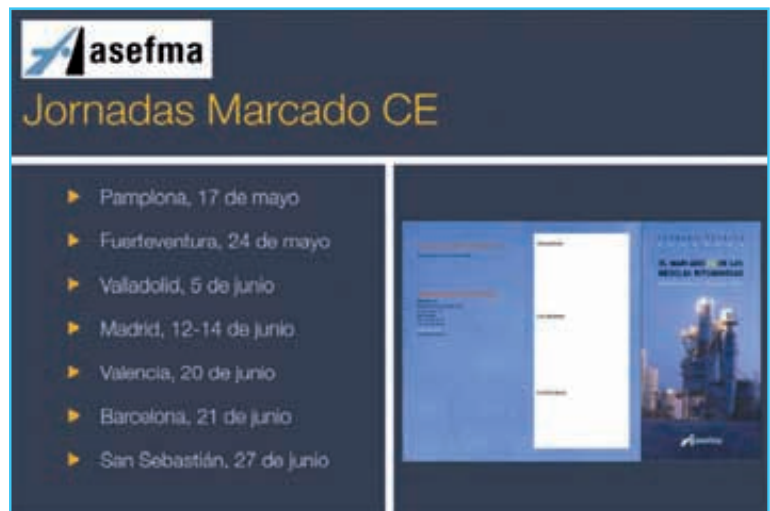


Figura 25. Jornadas sobre Mercado CE de carácter regional organizadas en mayo-junio de este año.

2. "Situación creada por el inminente mercado CE de las mezclas bituminosas". Jose Manuel Blanco Segarra. Jornada Técnica "El mercado CE de las mezclas bituminosas". II Jornada Nacional de Asefma " El sector ante los retos actuales". Madrid, noviembre 2006

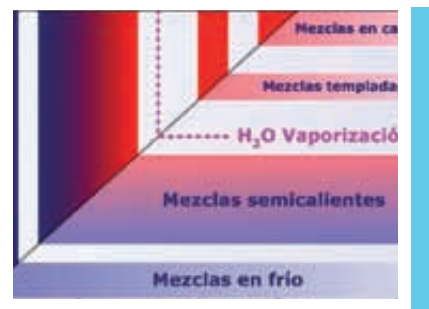
3. "Etapas y requisitos para el mercado CE de las mezclas bituminosas". María Luisa Carmona Carmona. Jornada Técnica "El mercado CE de las mezclas bituminosas". Sevilla, abril 2007.

4. "El control de producción en planta (FPC)". Javier Loma. Jornada Técnica "El mercado CE de las mezclas bituminosas". Sevilla, abril 2007.

5. "Mercado CE de las mezclas bituminosas". Jesus Felipe Sanjuán. Jornada Técnica " El sector ante los retos actuales" II Jornada Nacional de Asefma. Madrid, noviembre 2006.

Sistemas de baja emisión

Low emission systems



José A. Soto Sánchez

Director Técnico de PROAS

Ramón Tomás Raz

Director Centro de Investigación
 Elpidio Sánchez Marcos (C.I.E.S.M.)

RESUMEN

El reto más importante con el que nos enfrentamos en el siglo XXI es mantener, y si es posible mejorar, la salud del planeta y la de sus habitantes.

Corresponde a todas las organizaciones de fabricantes o consumidores, de cualquier índole, intentar en sus negocios que las tasas de emisiones a la atmósfera se vean reducidas, sino eliminadas, hasta límites tales que la frase “Desarrollo Sostenible” no haya sido una simple “pose”.

En el artículo pasaremos a enumerar las diferentes técnicas en la pavimentación de carreteras que menos emisiones producen, tanto en lo relativo a los materiales utilizados, sistemas de fabricación, aplicación. etc.

Veremos técnicas en donde el ligante utilizado es una emulsión bituminosa, el de más baja emisión, la espuma betún, betunes de baja viscosidad para mezclas templadas o las técnicas semicalientes con emulsión para mezclas drenantes y reciclados al 100 % en planta.

Palabras clave: Betún, Emulsión bituminosa, Mezcla bituminosa, Espuma betún, Mezclas semicalientes, Mezclas templadas, Bajas emisiones.

ABSTRACT

The biggest challenge that we face in the 21st century is keeping, and if necessary, improving the health of our planet and its inhabitants.

All the producers and consumers, in any business, have the responsibility to try and reduce, if not eliminate, the emissions into the atmosphere to such limits, that the slogan “Sustainable Development” is not just a “pose”.

In this article we will enumerate the different techniques in the paving in highways which produce less emission, not only to the materials used, but also the methods of fabrication, applications, etc.

We will see techniques where the binder used is a bituminous emulsion, a foamed bitumen (the one with the lowest emission), a low viscosity bitumen for warm mixes or warm techniques with emulsion for porous mixes and 100% recycled in plant.

Keywords: Bitumen, Bituminous emulsion, Asphalt mix, Foamed bitumen, Warm techniques, Warm techniques with emulsion, Low emissions.

Partiendo de la premisa de que la energía es imprescindible para que el mundo avance, es fácil deducir que los países más desarrollados y los que están en pleno desarrollo, son los mayores consumidores de energía.

Es una primera clasificación podríamos decir que la energía a consumir puede ser *renovable*, ya que nunca se acaba por más que se consuma (sol, viento, etc.) y las *no renovables* ya que proceden del tratamiento de grandes depósitos de materiales que existen en la naturaleza y cuyas reservas van disminuyendo de forma sensible con el desarrollo.

En España el consumo de energía procedente de fuentes renovables representó sólo el 6,8 % del consumo total, siendo el 93,2 % básicamente procedentes del petróleo y el carbón, teniendo que importar el 99 % del primero.

Con estas cifras no sólo no podemos usar con orgullo la frase de *desarrollo sostenible*, sino que hemos de ser conscientes también que estamos haciendo un daño irreparable a la salud del planeta y la de sus habitantes, porque no olvidemos que el consumo de energías no renovables lleva implícito siempre la emisión a la atmósfera de gases como los óxidos de carbono CO₂, y otros como los de nitrógeno No_x y de azufre So_x, hidrocarburos aromáticos, etc., que tienen clara influencia negativa en el conocido *efecto invernadero*.

Este es pues el reto al que ninguna organización política, social, nacional, autonómica o municipal, de fabricantes o consumidores, etc., debe sentirse ajena. Deben en todo momento balancear economía a corto, disponibilidad futura, salud ambiental, efectos sociales, etc.

La puesta en servicio de los diferentes sistemas de pavimentación obliga a analizar materiales, procesos de fabricación y puesta en obra, transporte, etc., para optimizar el volumen de productos nocivos que emitimos a la atmósfera.

Muchos factores son ya tenidos en cuenta, así por ejemplo los áridos de cantera implican un mayor impacto energético que los de aluvión, e incluso sabemos que cuanto más duro sea el árido también supondrá un mayor consumo energético, ó cuando la cantera está retirada de la planta el transporte influirá positivamente en un aumento de consumo energético.

En cuanto a los ligantes bituminosos no se aprecia una gran diferencia si utilizamos betunes convencionales o betunes modificados (BMP), teniendo en cuenta todas

las variables del proceso y la calidad y la durabilidad de las mezclas obtenidas con unos u otros, sin embargo, si en vez de utilizar betunes o BMP utilizamos emulsiones bituminosas, el impacto ambiental disminuye considerablemente. Se trabaja también en otras líneas de investigación para tratar de llegar a la obtención de ligantes de origen vegetal que produzcan un menor impacto ambiental.

Otra forma de disminuir el impacto ambiental la proporcionan los ligantes bituminosos capaces de disminuir la viscosidad hasta límites que nos permitan trabajar estas mezclas a temperaturas inferiores a las que estamos acostumbrados con los betunes convencionales.

Nuevas líneas de investigación están siendo ensayadas, sobre todo en las técnicas de reciclado, utilizando diferentes tipos de regenerantes que sean capaces de regenerar el betún envejecido del material a reciclar.

La técnica de reciclado disminuye de forma importante el impacto ambiental, no solo porque se puede realizar en frío sino por el importante ahorro que de materias primas supone al utilizar las viejas, evitando emisiones en la producción de nuevas.

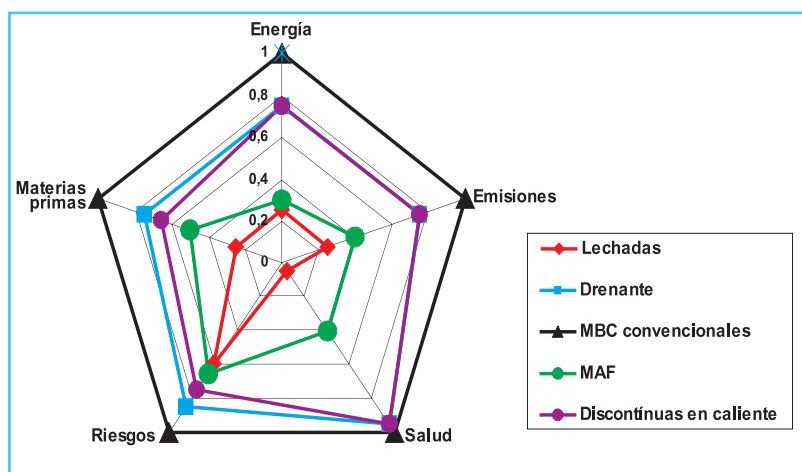
Aunque la emisión de CO₂ en una planta de fabricación de mezclas en caliente (7% de total de gases producidos) no podemos considerarla crítica en cuanto a su volumen, cierto es que la fabricación y puesta en obra de estas mezclas, en las 470 plantas existentes, producen emisiones que pueden y deben ser disminuidas, cambiando los procesos o siendo sustituidas cuando técnicamente sea posible, por sistemas de fabricación mas amigables con el medio ambiente.

A lo largo del artículo analizaremos los diferentes sistemas de fabricación, técnicas en frío y semicalientes, así como los diferentes aditivos capaces de actuar sobre la viscosidad para poder trabajar a bajas temperaturas.

TÉCNICAS EN FRÍO

Según la última encuesta realizada por IBEF (*"International Bitumen Emulsion Federation"*) entre los años 2002-2005, la mayor producción de emulsiones tuvo lugar en los países más industrializados de América y Europa. Destacar por ejemplo que en la actualidad (datos del año 2006), un 30 % del consumo de betún en Francia, se hace en forma de emulsión.

Así pues los argumentos de eficacia, economía y ecología, para la venta de emulsiones no solo son válidos para



MBC: Mezcla bituminosa caliente
MAF: Mezcla abierta en frío

Figura 1. Análisis de la ecoeficacia de varias técnicas viarias mediante la huella medioambiental.

países en desarrollo sino que cada vez son más determinantes en los países desarrollados.

El empleo de estas técnicas en frío en si da la garantía de que estamos trabajando de la forma mas ecológica posible. Es fácil comprender que las emisiones son mínimas al no tener que calentar ni ligante ni áridos para la fabricación y puesta en obra de estos sistemas. Así pues los 6–8 kg de combustible necesario para fabricar una tonelada de mezcla en caliente quedan reducidos a cero.

Los más comunes son:

- Riegos con gravilla,
- Lechadas y microaglomerados en frío,
- Mezclas abiertas en frío,
- Gravas-emulsiones, y
- Reciclados en frío.

Si hablamos de costes, en muy raras ocasiones nos plantearemos ahorros si sustituimos técnicas en frío por aquella otras similares en caliente.

Si analizamos las diferentes técnicas utilizadas en carretera desde el prisma medioambiental, para ver la ecoeficacia de las mismas a través del *Análisis de la ecoeficacia* desarrollado por K. Taka Mura, presentado en el *Congreso ISSA 2001* para ver la ecoeficacia de las lechadas, nos permite ver los pros y contras de las técnicas

utilizadas en carretera en términos de ecología y economía, de tal manera que nos permita tomar decisiones que conduzcan al desarrollo sostenible. Las técnicas en frío siempre resulta favorecida.

Se analizan cinco factores (ver Figura 1):

- Consumo de materias primas,
- Consumo de energía,
- Emisiones a la atmósfera,
- Efectos sobre la salud, y
- Riesgo de accidente o uso indebido.

Cada técnica recibe en el análisis de cada factor medioambiental una puntuación de 0 a 1 (0 valor óptimo y 1 más desfavorable) y se representan en las coordenadas de un pentágono en el que cero (0) es el centro geométrico del pentágono y en cada eje se representa un factor medioambiental siendo 1 el valor máximo que correspondería a los vértices.

Cada técnica queda representada por un pentágono más o menos regular que llamaríamos *Huella medioambiente*. La técnica que genere menor superficie y sea más regular, sería la mejor desde el punto de vista ecológico.

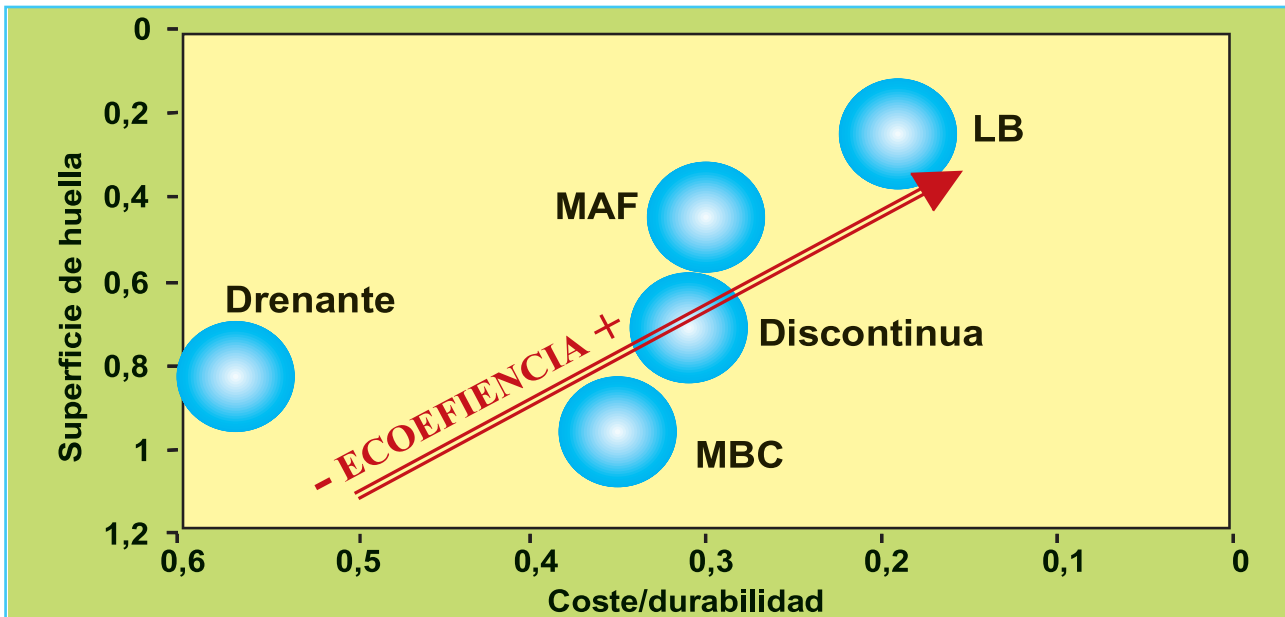
Posteriormente se ordenan las técnicas de menor a mayor impacto medioambiental (de menor a mayor superficie) en un eje llamado de *impacto medioambiental* y se compara con los costes (ver Figura 2).

En este gráfico de impacto medioambiental-costes se aprecia que las técnicas en frío se sitúan en las zonas de mayor ecoeficacia.

Técnicamente no siempre es recomendable el empleo de estas técnicas. Por ejemplo una mezcla abierta en frío no tiene la misma capacidad de soporte que una en caliente, ni tampoco ofrece la misma cohesión inicial, de ahí que se recomiende para tráfico medios y ligeros.

Si embargo muchas veces no nos hacemos preguntas que de ser correctamente contestadas nos conducirían a las muy ecoeficaces técnicas en frío. Estas serian algunas de ellas:

- ¿Qué solución debe elegirse, entre las posibles, como la mejor, más rápida y económica para corre-



MBC: Mezcla bituminosa caliente, MAF: Mezcla abierta frío, LB: Lechada
 Figura 2. Gráfico de impacto medioambiental- coste, de algunas técnicas viarias.

gir un problema de accidentes por deslizamiento de vehículos?.

- ¿Qué técnica es la más económica y eficaz para impermeabilizar y proteger un firme no tratado?.
- ¿Qué técnica es recomendable poner con bajo espesor, sobre un firme flexible no tratado?.
- ¿Qué aglomerados pueden almacenarse sin problemas?.
- ¿Qué mezcla bituminosa en caliente mejora las prestaciones técnicas y económicas que proporcionan una grava-emulsión como capa de base sobre todo en tráfico medios y ligeros?.
- ¿Qué técnicas permiten, con garantía, utilizar con más frecuencia áridos locales, húmedos, etc.?.
- ¿Qué tipo de reciclado de pavimentos nos permite aprovechar una tasa de 100 %, sin emisiones, evitando nuevas explotaciones de canteras?.

Hasta hoy las razones técnicas y económicas han sido las únicas tenidas en cuenta para decidirnos por una u otra técnica viaria, aunque como acabamos de indicar en la batería de preguntas no siempre lo hacemos bien.

A partir de hoy el *medioambiente* será el tercer factor a considerar junto con la *técnica* y *coste* para tomar la decisión más acertada.

MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES CON EMULSIÓN

Como su nombre indica estas mezclas se fabrican a 80°-90°C, es decir, lejos de los aproximadamente 160°C de las mezclas en caliente. Se utilizan plantas de mezclas en caliente o plantas de frío a las que les incorpora un tambor secador para calentar los áridos hasta la temperatura de fabricación.

Las razones fundamentales en las que se basa el interés de esta nueva técnica radican en las ventajas que se obtienen.

Respecto a las mezclas abiertas *en frío* tradicionales las principales ventajas son:

- » Se consiguen envueltas totales con la emulsión ya que los áridos están por un lado más limpios (generalmente) después de su paso por el tambor y por otro, están a una temperatura donde el ligante residual tiene una viscosidad muy baja y sigue envolviendo el árido aunque la emulsión haya roto.
- » Son mezclas que alcanzan más rápidamente la cohesión que las convencionales, sobre todo en los momentos iniciales, no precisando tiempo de maduración.
- » No se pierden, a pesar de la ventaja de obtener una cohesión más rápida, ni flexibilidad de la capa, ni almacenabilidad de la mezcla, ya que

disponemos siempre de la versatilidad que nos proporciona el empleo de uno u otro tipo de emulsión y la temperatura de fabricación.

- » Características mecánicas superiores, con un comportamiento en el ensayo Cántabro similar al de las mezclas drenantes en caliente.

Respecto a las mezclas *en caliente*, por su parte, presentan estas ventajas:

- » Tienen un menor consumo de combustible, y una contaminación ambiental más baja.
- » Mayor flexibilidad.
- » Almacenabilidad.
- » Utilización de los mismos equipos en su fabricación y puesta en obra.

Hasta la fecha son, fundamentalmente, dos los tipos de *mezclas semicalientes* que se están aplicando en nuestras carreteras:

- » Mezclas con material fresado: Reciclado Semicaliente.
- » Mezclas Drenantes.

Lógicamente las mezclas abiertas en frío convencionales pueden ser sustituidas con ventajas por la semicalientes, por el ahorro que supone en ligante, compensando ampliamente el consumo energético necesario para calentar el árido a 90°C, y la mejora sustancial en la calidad de la mezcla.

1. Mezclas con material fresado: reciclado semicaliente

Su fabricación se efectúa calentando el material procedente de fresados de firmes asfálticos, debidamente clasificado, en el tambor secador de una central de fabricación de mezcla en caliente hasta alcanzar una temperatura de aproximadamente 90°C, para luego ser mezclado con emulsión, evitando sobrecalentamientos puntuales.

Este sistema pretende trabajar con 100% de material reciclado. La mezcla puede acopiarse siempre y cuando su puesta en obra y compactación no se haga a una temperatura inferior a los 60°C.



Foto 1. Diversos aspectos en la ejecución de un reciclado semicaliente.

Los estudios de laboratorio preparatorios de la fórmula de trabajo, cambian con respecto a los reciclados en frío tradicionales, ya que en este caso no es necesario determinar el óptimo de fluidos con el que fabricar las probetas, puesto que para su envuelta no es necesario añadirlos. No se precisa calentar la emulsión, sí es sin embargo necesario calentar el material fresado a 90°C y los útiles (mezclador y moldes) a 60°C, para fabricar las probetas a ensayar, por ser ésta la última temperatura mínima que estimamos de compactación de obra.

El análisis previo del material a reciclar, las características y porcentaje del betún que lo componen, los ensayos de envuelta, inmersión-compresión y módulo dinámico, nos definirán el tipo de emulsión a emplear, naturaleza del betún residual y conveniencia o no del empleo de rejuvenecedores.

Las emulsiones utilizadas son del tipo ECL-2 ó ECL-2m.

En algunas experiencias realizadas valores del 3% de emulsión han sido suficientes para obtener módulos dinámicos superiores a 6 MPa y resistencias conservadas superiores al 80%.

En general por los efectos de la temperatura, la presencia del betún envejecido existente en el material a reciclar, la ausencia de agua de aporte para la fabricación, dan como resultado mezclas muy cohesivas, de apertura inmediata al tráfico y con unos tiempos de maduración de la mezcla cortos (Foto 1).

2. Mezclas drenantes semicalientes

Sabemos las mejoras que es posible alcanzar en cuanto a cohesión, flexibilidad y estabilidad inicial de las mezclas abiertas en frío, cuando empleamos emulsiones de betún



Foto 2. Diversos aspectos de una mezcla drenante semicaliente ejecutada en la provincia de Ávila.



Foto 3. Almacenamiento de Mezcla drenante semicaliente.

modificado; incluso hemos manifestado la posibilidad de emplear estas mezclas con granulometrías específicas de mezclas porosas, para reparar y/o sustituir, donde el clima, el tipo de bases o cualquier otra circunstancia lo aconseje, a las mezclas porosas en caliente.

Pues bien, este sistema de fabricación en semicaliente ayuda claramente a la efectividad de la aplicación ya que (ver Fotos 2 y 3):

- Mejoramos claramente la envuelta.
- Aumentamos mucho la cohesión inicial y por tanto la resistencia a los esfuerzos tangenciales.
- Minimizamos riesgos por no utilizar recebo.

El proceso de fabricación de probetas en laboratorio, para el diseño y control de mezclas mediante el método

Cántabro, cambia con respecto al tradicional aplicado a las mezclas en frío, en que los áridos se calientan antes de su envuelta con emulsión a 90°C y se observa si se produce escurrimiento a 90°C.

Las emulsiones que se utilizan son del tipo ECM-m y preferiblemente se deben aplicar a temperatura de 20°C-50°C.

RECICLADOS CON ESPUMA DE BETÚN

La *espuma de betún* es otra forma de aplicar el betún en carretera a una temperatura más baja que con mezclas convencionales en caliente y es básicamente utilizada en el reciclado de firmes y en la estabilización de suelos.

Aunque su origen se remonta a los años 50, en la actualidad no es una técnica muy utilizada si la comparamos por ejemplo con las emulsiones bituminosas.

La espuma de de betún se produce cuando inyectamos a presión una pequeña cantidad de agua, 2% aproximadamente, en el betún caliente. A la salida de la conducción el betún aumenta considerablemente su volumen inicial, de 10 a 20 veces, produciéndose la espumación de éste (Figura 3).

Esta espumación hace que la envuelta de los áridos se produzca fácilmente.

Hay dos parámetros que caracterizan la espuma betún:

- Relación de expansión: la relación existente entre el volumen máximo alcanzado por la espuma y el inicial del betún.
- Vida media: el tiempo en segundos que tarda la espuma en perder el 50% del volumen máximo alcanzado. Se suelen alcanzar valores entre 40 y 80 segundos.

Ambos parámetros se verán influenciados por la naturaleza del betún, por el grado, la temperatura de éste durante la espumación y por el porcentaje de agua que inyectamos.

Ahora nuestra experiencia al servicio del **Mercado CE**



Mercado CE :

- Información
- Ensayos iniciales de tipo
- Certificación
- Control de producto

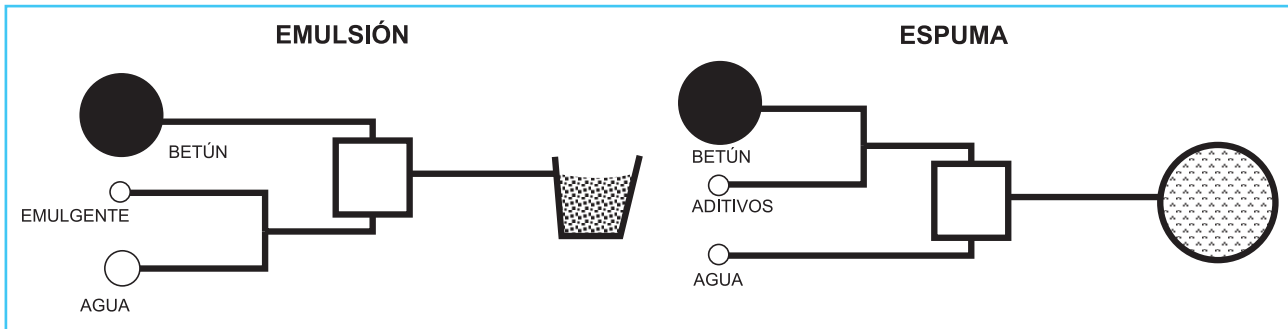


Figura 3. Esquema de fabricación de espuma de betún.

Una mayor expansión hará que la mezcla con los áridos sea más fácil, y si la vida media es alta tendremos una mejor dispersión del betún por disponer de más tiempo para mezclar.

Como ambos parámetros guardan una relación inversa, habrá que optimizarlos mediante ensayos de laboratorio.

Las principales aplicaciones son:

- Reciclado de mezclas bituminosas, capas granulares o combinación de ambas. Puede hacerse *in situ* o en planta,
- Estabilización de suelos *in situ*,
- Fabricación de mezclas bituminosas en planta o *in situ*, y
- Tratamientos superficiales.

Las principales diferencias con las mezclas con emulsión son:

- Mezclas más heterogéneas (peor envuelta) que con emulsiones,
- Mezclas más baratas,
- Poca experiencia en el empleo de este ligante,
- Más cohesión inicial que con las técnicas en frío, y
- Maquinaria específica.

MEZCLAS TEMPLADAS CON BETÚN

Si la tendencia es en las mezclas con la emulsión a forzar la cohesión con un aumento de temperatura, con las mezclas en caliente ocurre la tendencia contraria, es decir, disminuir la temperatura de fabricación y puesta

en obra para, de esa forma, reducir el consumo energético al mínimo y ser respetuoso con las emisiones producidas.

En este sentido están poniéndose a punto mezclas que se extienden a menos de 100°C reduciéndose los consumos de energía y bajando en torno a un 25% las emisiones de gases a la atmósfera causantes del efecto invernadero. Si este ahorro en energía y emisiones lo hacemos extensible a las más de 300 millones de toneladas de mezclas que se fabrican en Europa, resultan cantidades muy apreciables.

Los estudios de estas mezclas van encaminados en muchas direcciones pareciéndonos más interesantes los tres caminos que indicamos a continuación.

1. Incorporación de aditivos en el proceso de mezclado

Uno de los varios procedimientos que existe consiste en añadir silicatos de aluminio en pequeñas proporciones, como la *zeolita* que contiene en su forma cristalina hasta un 20% de agua. La introducción del aditivo permite una temperatura de secado de los áridos más baja, a la vez que se disminuye la viscosidad del betún y favorece la envuelta. El sistema se puede aplicar a todo tipo de mezclas.

2. Mezclado con doble envuelta

La finalidad del procedimiento es poder poner en obra mezclas en caliente por debajo de los 100°C con las mismas prestaciones que los aglomerados tradicionales. La técnica combina la acción de la temperatura del agua y de la energía de mezclado.

El procedimiento consiste en secar por un lado la fracción gruesa del esqueleto mineral a una temperatura entre 120°C y 150°C y proceder a una envuelta con betún activado, que a su vez se encuentra a una temperatura entre 140°C y 180°C, según la dureza del mismo. Una vez realizada esta primera envuelta se incorpora la

parte fina del esqueleto mineral con un cierto porcentaje de humedad; al entrar en contacto con el betún caliente el agua se evapora y espuma el betún, asegurando con la energía de mezclado, la envuelta de la arena y la menajabilidad de la mezcla, aunque a veces es necesario añadir una pequeña cantidad suplementaria de agua.

La temperatura final de la mezcla es inferior a 100°C y su contenido en agua final está por debajo del 0,5 %.

3. Incorporación de ceras

Se trata de hidrocarburos de cadena larga.

Normalmente la incorporación se hace al betún con la finalidad fundamental de modificar las características de un betún convencional hacia las de los betunes modificados, con la peculiaridad de alcanzar la viscosidad de trabajo del mismo entre 20°C y 30°C por debajo de los que se necesita con los betunes sin esta adición.

Es especialmente interesante esta propiedad en los betunes altamente modificados, donde la temperatura de trabajo es muy elevada, consiguiendo así una dismi-

nución importante de la temperatura de mezcla y compactación. Por el contrario, la viscosidad a temperaturas de servicio son superiores en los betunes así modificados, por lo que se obtendría un mejor comportamiento a las deformaciones plásticas.

La experiencia ha demostrado la validez del sistema, ya que se obtiene las similares características de estabilidad, densidad, etc., trabajando entre 20°C-30°C por debajo de lo habitual en las mezclas asfálticas sin adiciones.

Como resumen a todas las técnicas a *Bajas temperaturas* en la Figura 4 se presenta un esquema en donde están posicionadas cada una de ellas según la temperatura de fabricación.

SOBRE BUENAS PRÁCTICAS

1. En los materiales

Hasta ahora hemos visto posibilidades de reducir las emisiones a la atmósfera en base a la utilización de un

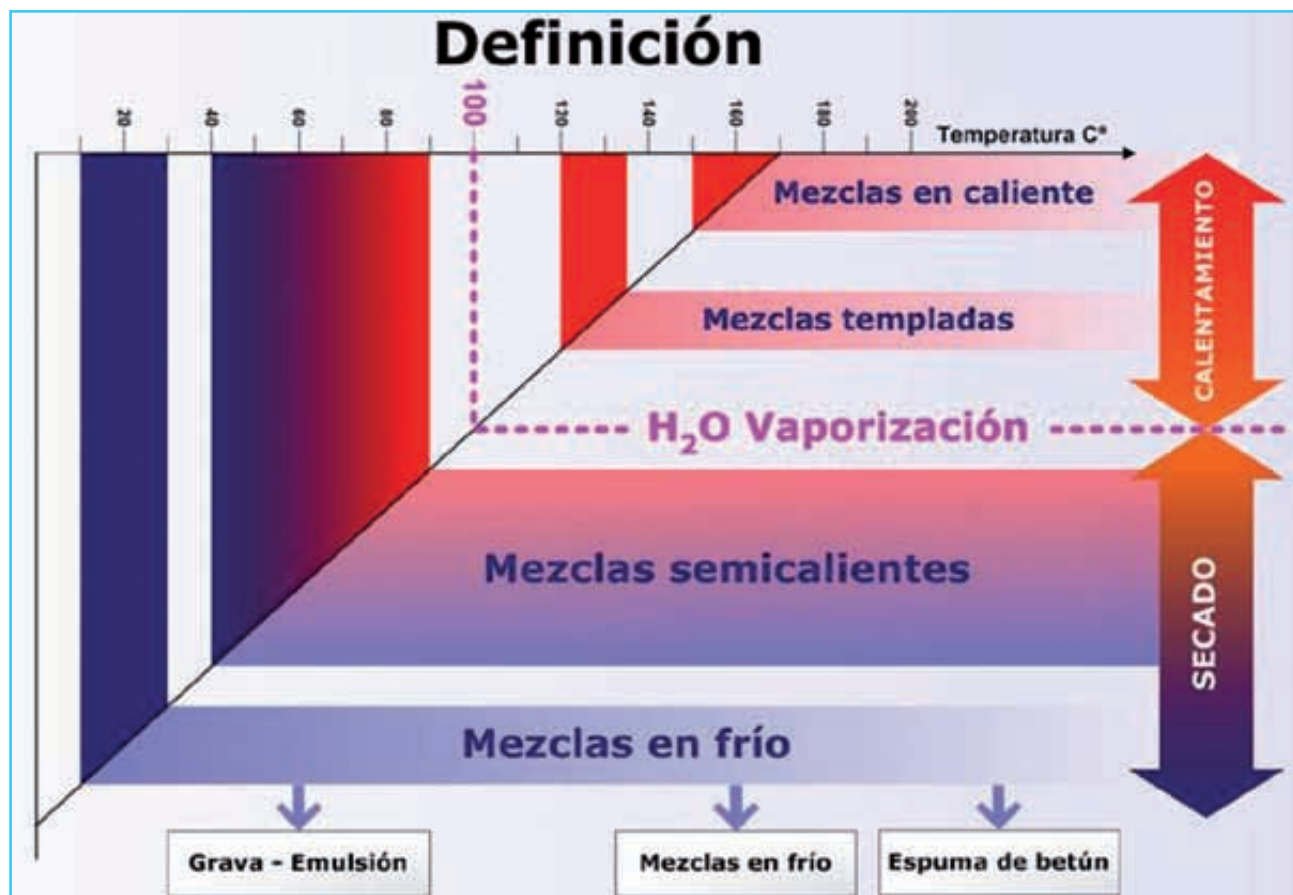


Figura 4. Tipos de mezcla por temperatura de fabricación.

tipo u otro de técnica apoyada en diferentes ligantes bituminosos más o menos convencionales.

Sin embargo, además del tipo de ligante bituminoso, otras materias primas pueden influir poderosamente en una mayor o menor tasa de emisiones, destacando:

- » Aprovechamiento al máximo del filler de recuperación de los áridos siempre que técnicamente sea posible.
- » Evitar la utilización de cemento o cal hidratada con filleres de aportación. Siempre que sea posible el filler deberá proceder del machaqueo de áridos naturales y cuando sea necesario mejorar la adhesividad se acudirá al uso de activantes.
- » Intentar reducir la humedad de los áridos y de los materiales fresados dando tiempo para un secado natural.
- » Disminuir lo más posible el rechazo en planta en ninguna de las fracciones del árido. La energía usada es el calentamiento de este árido es inútilmente consumida.
- » Utilizar árido fino que no contenga filler en exceso, incluso desfillerizar éste antes de su empleo. Es una de las medidas más efectivas a este respecto.
- » Limitar el uso de vehículos de carga y transporte y sustituirlos por cintas y alimentadores fijos. Si es posible deberán instalarse captadores de polvo.

2. En la fabricación

Además de la reducción de temperaturas vistas en base a los ligantes bituminosos utilizados cabe destacar otras prácticas relacionadas exclusivamente con la fabricación:

- » Se deberá tender, en la fabricación, a las temperaturas mínimas recomendadas según el suministrador del betún y en experiencias con el tipo de mezcla. En general las temperaturas recomendadas según laboratorio no dejan de ser *recomendaciones* por lo que en la central deberemos ver la temperatura *real* necesaria para el buen manejo de la mezcla.
- » La elección del combustible es muy importante. Los combustibles más volátiles como gas natural son más eficaces que el fuel-oil y mejoran el rendimiento general de la planta.

» Las interrupciones y los cambios de régimen dan lugar a mayores consumos de combustibles. Las producciones previstas deben estar cercanas a su máxima producción.

» Con una buena regulación del tambor secador, en cuanto a temperatura, y con calibraciones periódicas, al menos una vez al año, nos ayudará a un mejor control de las emisiones.

» La configuración de la central de fabricación, según el tambor-secador opere a contracorriente o no, continuas o discontinuas, de flujo paralelo, consumirán más o menos cantidades de energía y por tanto las emisiones serán diferentes, o si el quemador es abierto o cerrado, de baja, media o alta presión, por lo que la demanda de aire será distinta, son razones que deberán incluir poderosamente a la hora de decidimos por un tipo y otro de central.

» Deberá cuidarse el aislamiento de todos los sistemas, reparando fugas que den lugar a pérdidas de calor y recirculando los gases calientes pobres en oxígeno.

3. En la puesta en obra

Deberemos tener en cuenta aspectos como:

» Utilizar áridos de la zona y centrales próximas a obra. Si la distancia es grande nos obligará a fabricar a más temperatura y a un mayor consumo de combustible en el transporte.

» Optimizar el rendimiento del equipo de extendido y compactación para obtener el mejor rendimiento de la central evitando paradas o cambio de régimen.

» Los silos móviles permiten ajustar mejor las temperaturas de fabricación y puesta en obra, reduciendo las segregaciones térmicas tan perjudiciales para la calidad de la obra.

» No se recomendará el uso de gas-oil como anti adherente en las bañeras de transporte ni como producto de limpieza. Hay detergentes específicos que no producen emisiones de compuestos volátiles.

Se ha comprobado que si se tienen en cuenta estas y otras recomendaciones en fabricación y puesta en obra de la mezcla bituminosa podremos reducir hasta un 33 % las emisiones.

líder en construcción



grupo rafaél morales

Con más de medio siglo de vida, Rafael Morales ha ido ampliando su actividad, posicionándose en todos los sectores de la construcción y afianzándose como una de las empresas con mayor ritmo de crecimiento.



HUELVA
Ctra. Nacional 431, Km. 86.3
Pol. Ind. Peguerillas - 21007 Huelva
Telf. 959 154 747 - Fax 959 151 583
info@rafaelmorales.es

SEVILLA
c/ Graham Bell, 5, Edif. Rubén Darío 1-2ª planta
41010 Sevilla
Telf. 954 237 052 - Fax 954 230 865
d.sevilla@rafaelmorales.es

Por el contrario, si las condiciones de fabricación y puesta en obra son las más desfavorables pasaríamos a incrementar hasta en un 44%, siendo la diferencia de un 77% que en valor absoluto equivaldría a 40 kg de CO₂ por tonelada de mezcla fabricada.

Si esto lo multiplicamos por los 42 millones que se fabricaron el año pasado, estaríamos hablando de 1,7 millones de toneladas de CO₂ eq.

CONCLUSIONES

Muchas son las armas que tenemos para disminuir las emisiones a la atmósfera, hemos visto que podemos actuar eligiendo:


- » Tipo de técnicas, frío, semicaliente, templada, reciclado.
- » Tipo de ligante, emulsiones, betunes de baja viscosidad, espuma betún.
- » Áridos de aluvión o machaqueo, filler de recuperación.

» Tipo de central.

» Optimización de la puesta en obra, etc.

En nuestra mano y en la de las diferentes Administraciones está en utilizarlas o no sabiendo que con ello estamos contribuyendo a un Desarrollo Sostenible con mayúsculas o bien estamos haciendo un daño irreparable a la salud del planeta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Jorge Ortiz Ripoll y Cristina Moncunill Farré "Reducción de Emisiones en la producción de Mezclas Bituminosas en Caliente". Jornada Técnica de ASEFMA 2006.
2. Juan José Potti "Innovaciones en la Tecnología en Frío". Jornada Técnica de ATEB.
3. Ramón Tomás Raz "Reciclado con Espuma Betún".
4. José A. Soto y M^a del Mar Colás "Mezclas Semicalientes con Emulsión". 



Mezclas bituminosas en caliente y análisis de ciclo de vida

Hot mixed asphalt and life cycle assessment



Anna Paris Madrona

Cristina Moncunill Farré

SORIGUÉ, S.A.

RESUMEN

La herramienta de Análisis del Ciclo de Vida se remonta al 1969, cuando la empresa Coca-Cola encargó un estudio que comparase diferentes tipos de envases desde un punto de vista de consumo de recursos naturales y emisiones a la atmósfera.

En la actualidad, existen muchas líneas de investigación que utilizan el Análisis de Ciclo de Vida como herramienta principal en las valoraciones ambientales, la empresa Sorigué, S.A. emplea este análisis desde el año 2005. Durante todo este periodo se ha desarrollado una aplicación informática denominada AVACo que facilita el cálculo de los recursos naturales consumidos y de las emisiones de gases contaminantes en el proceso de fabricación de Mezclas Bituminosas en Caliente y todos sus procesos asociados.

Palabras clave: Análisis del Ciclo de Vida, AVACo, Emisiones, Mezcla bituminosa, Ligante, Betún, Árido, Central fabricación mezcla.

ABSTRACT

The life-cycle assessment tool dates back to 1969 when the Coca-Cola Company commissioned a study comparing different types of glass container from the point of view of consumption of natural resources and atmospheric emissions.

At the present time, many lines of research use life cycle assessment as the principal tool in environmental assessments and the company Sorigué, S.A. has been using this analysis since 2005. In the course of this period it developed a computer application known as AVACo that facilitates calculation of the natural resources consumed and the emissions of pollutant gases in the process of producing hot mixed asphalts and all their associated processes.

Keywords: Life cycle assessment, AVACo, Emissions, Asphalt mix, Binder, Bitumen, Aggregate, Asphalt facility.

La década de los noventa nos ha revelado conceptos tales como agujero de la capa de ozono, cambio climático, agotamiento de recursos naturales, etc. Por todo ello, los temas relacionados con la preservación del medio ambiente empiezan a movilizar numerosos sectores, tanto a nivel gubernamental como social (Figura 1). Esta nueva manera de actuar es la que conocemos como *desarrollo sostenible*. Pero, para que los principios del desarrollo sostenible se puedan integrar dentro del sector privado se necesitan unas herramientas y unas metodologías que permitan a la empresa la satisfacción del cliente, con el menor consumo de materia y energía y con el menor impacto.

Una de estas herramientas es el *Análisis del Ciclo de Vida (ACV)*, que abarca toda la cadena de producción y permite observar si, para reducir el impacto ambiental en un determinado proceso, se aumenta el de los anteriores y/o posteriores en la cadena de producción. Para elaborar un ACV es imprescindible disponer de la información suficiente que nos permita obtener resultados lo más objetivos posibles⁽¹⁾.

La realización de un ACV puede extenderse a toda la vida del producto, hasta su reutilización o extinción como residuo (de la *cuna a la tumba*), o detenerse en alguna etapa anterior (de la *cuna a la puerta*), por lo que, en algunos casos, no requiere una base de datos informatizada, extensa y compleja de todo el ciclo de vida del producto, ya que se puede llegar a un resultado aceptable mediante cálculos manuales⁽²⁾.

PANORAMA ACTUAL DEL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

El primer estudio de análisis del ciclo de vida conocido fue el que en 1969, la compañía *Coca-Cola* encargó al *Midwest Research Institute (MRI)*, en el que se comparaban diferentes tipos de envases para conocer los consumos de recursos y las emisiones ligadas a cada uno de ellos.

En la actualidad, el ACV se ha convertido en una herramienta de uso internacional como demuestra el nivel de participación en la *2ª Conferencia Internacional de Análisis del Ciclo de Vida (LCM2005)* celebrada en Barcelona y la creación de redes y grupos de trabajo como la *Red Temática Española* y la *Red Catalana de ACV*, la *Life Cycle Initiative de UNEP-SETAC* y la *Society for Promotion of Life-cycle Assessment Development (SPOLD)*, entre otros.

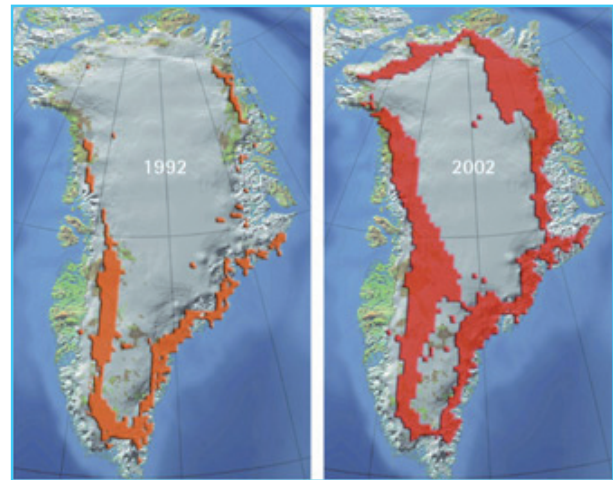


Figura 1. Evolución del deshielo de la isla de Groenlandia.

Si bien es cierto que, en los países industrializados, la inclusión de la metodología del ACV en el campo del medio ambiente ha seguido un crecimiento exponencial, desde sus inicios a finales de los sesenta; en España, se ha dado con un desfase de tres o cuatro años. Probablemente ésta sea una de las razones para explicar la inexistencia de investigaciones realizadas entorno al ciclo de vida de fabricación de *Mezclas Bituminosas en Caliente (MBC)* más allá de la desarrollada por *Sorigué, S.A.* Asimismo, a nivel europeo, existe un ACV sobre la construcción de carreteras realizado por el *IVL Swedish Environmental Research Institute*⁽³⁾.

Desde febrero de 2005, en *Sorigué, S.A.* estamos investigando sobre el *Análisis del Ciclo de Vida en las Mezclas Bituminosas en Caliente* y, para ello, hemos desarrollado una herramienta informática para su cálculo denominada *AVACo*, que ha ido evolucionando hacia la puesta en obra del firme y su vida útil.

EL CASO CONCRETO DE AVACo

La base de datos informática *AVACo (Asistente para una Valoración Ambiental en la Construcción)* es una herramienta que es capaz de distinguir las influencias de la naturaleza de los áridos, de las fórmulas de trabajo, del tipo de combustible de las plantas asfálticas empleado, de las capacidades y regímenes de producción, de las distancias de transporte involucradas, etc. Hasta el día de hoy ha sido objeto de diversos artículos y presentaciones, Figura 2^(4, 5, 6, 7 y 8).

En sus inicios *AVACo* se dirigía, fundamentalmente, a identificar los procesos de producción de mezclas bituminosas en caliente más respetuosas con el medio ambiente y a su implantación en nuestras

construimos una nueva
dimensión



ANDALUCÍA

ARAGÓN

CASTILLA LA MANCHA

CASTILLA Y LEÓN

CATALUÑA

EXTREMADURA

ISLAS BALEARES

LEVANTE

MADRID



grupo sorigué

www.gruposorigue.com



Figura 2. Ventana principal de AVACo.

instalaciones de fabricación. Pero, con el tiempo, se fueron integrando los procesos de transporte y puesta en obra.

Actualmente se diferencian tres subsistemas (ver Figura 3):

- extracción y procesado de áridos,
- planta asfáltica, y
- puesta en obra.

De esta manera, se pueden obtener los resultados referentes a cada uno de ellos por separado o en conjunto para todo el sistema.

El primer objetivo marcado era el de poseer toda la información posible del proceso de fabricación de mezclas bituminosas. Este objetivo ha evolucionado hacia la puesta en obra del firme y su vida útil (Figura 4). En ese momento los resultados eran muy extensos y se dividían en:

- materias primas y auxiliares: árido, betún asfáltico, acero y material de fundición y lubricante,
- consumos de energía: se distinguieron los distintos combustibles, así como la energía eléctrica y combustibles,
- residuos: se consideraron como residuos el filler de recuperación, los lubricantes y el material de fundición, y
- emisiones atmosféricas y acuáticas: en el primer estudio

distinguíamos CO₂, SO₂, NO_x, CO, N₂O, hidrocarburos, CH₄, fenol_(aq), DQO, N-Total y polvo.

Posteriormente, las emisiones se redujeron a atmosféricas y se presentaban como equivalentes de CO₂. Estos equivalentes unifican los valores de los gases de efecto invernadero más significativos y, a la vez, se obtiene un indicador excelente para cada una de las fórmulas de trabajo.

CÁLCULOS E HIPÓTESIS PLANTEADAS ACTUALMENTE

Tal y como señala la serie de normas internacionales ISO 14040, el análisis de ciclo de vida es un estudio iterativo y, por eso, no se puede hablar de hipótesis y coeficientes definitivos.

La gran mayoría de cálculos y coeficientes para las emisiones y los consumos de máquinas y vehículos y de materiales han sido extraídos del *Libro de Trabajo para el inventario de Gases de Efecto Invernadero-Vol.2* editado por el *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático* en 1997⁽⁹⁾.

Las hipótesis más relevantes que nosotros hemos planteado en nuestro trabajo son:

- los valores de consumos energéticos y emisiones asociados a ellos se han conseguido del *informe de Stripple*⁽³⁾,
- las cuantificaciones de cemento y cal se han obtenido de la *tesis de De Carvalho*⁽¹⁰⁾ y del *informe de Stripple*⁽³⁾, respectivamente,



Figura 3. Ventana del programa de enlace a los tres subsistemas que configuran todo el proceso de fabricación de mezclas bituminosas.

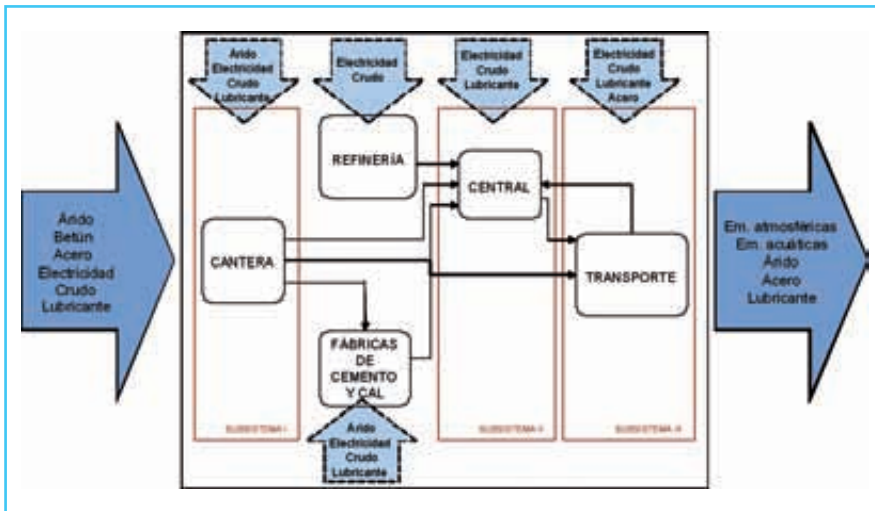


Figura 4. Sistema productivo de mezclas bituminosas en caliente, desde la extracción de los áridos hasta la puesta en obra.

- en referencia al transporte, se estima un viaje de ida lleno y otro de vuelta vacío, a excepción del reciclado, donde se aprovecha la vuelta del camión para transportar el material fresado,
- se ha estimado una reducción del 50% del consumo de combustible del quemador con el uso de un sistema de cogeneración, y
- se ha supuesto una reducción completa del consumo de combustible en la caldera con el uso de un sistema de cogeneración.

El análisis del ciclo de vida nos ha supuesto conocer mucho mejor los procesos relacionados con la fabricación de mezclas bituminosas y los consumos y emisiones más influyentes en cada uno de ellos. Permittiéndonos ver también, los puntos donde es más rentable aplicar nuevas tecnologías y metodologías para intentar reducirlos (Foto 1).

El profundo conocimiento sobre la tecnología aplicada en nuestras instalaciones y su impacto sobre el medio ambiente permitirá avanzar al sector hacia la utilización de técnicas constructivas tan eficientes como respetuosas con el medio. En definitiva, el

programa AVACo ha representado una herramienta estratégica que ha permitido el desarrollo de distintos estudios.

ESTUDIOS BASADOS EN AVACo

Hasta el momento, el programa nos ha permitido:

- Valorar cuantitativamente la reducción de emisiones y de consumo de energía que ha supuesto consumir GNL en lugar de fuel-oil en nuestras plantas y el aprovechamiento de la energía térmica proporcionada por los gases de escape de una instalación de cogeneración de 4Mw (Figura 5),
- Dar una base científica y objetiva a alguna de las prácticas asumidas desde la intuición y aportar nuevas opciones de operabilidad (Tabla 1)⁽⁶⁾, y
- Clasificar medioambientalmente las secciones de firme catalogadas en la Norma 6.1-I.C. a partir de unos indicadores creados con esta finalidad⁽⁶⁾ y obtener para cada uno de ellos su cuantificación relativa a un óptimo.



Foto 1. Planta de cogeneración y planta asfáltica en las instalaciones que SORIGUÉ, S.A. tiene en Balaguer (LLeida).

MEZCLA	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq	Δ / REF
	kg/t de MBC				%
REFERENCIA	5,12E+1	9,00E-2	4,07E+0	5,60E+1	0,00
MEJORES PRÁCTICAS	3,20E+1	1,63E-1	3,24E+0	3,77E+1	-32,71
CONDICIONES DESFAVORABLES	7,54E+1	1,07E-1	4,09E+0	8,06E+1	43,98

Tabla 1. Emisiones de gases de efecto invernadero para la mezcla de referencia y efecto de algunas mejores prácticas o de condiciones desfavorables.

Figura 5. Definición de la planta asfáltica en el programa.

CONCLUSIONES

Principalmente, en este artículo se pretende subrayar la amplia aplicabilidad de la metodología de *Análisis del Ciclo de Vida* dentro del proceso de fabricación de mezclas bituminosas en caliente, más que defender la corrección de los resultados obtenidos de nuestros análisis, cuya discusión admitimos sin ningún reparo.

Nos gustaría remarcar también que esta herramienta debería resultar imprescindible a la hora de reducir los impactos ambientales derivados de la construcción de firmes y demostrar, con una base objetiva y sólida, las ventajas e inconvenientes de los diferentes tipos de producción y puesta en obra.

La clasificación se hizo en base a cuatro categorías con igual importancia en el proceso:

- » consumo de recursos no renovables: kg de árido y betún,
- » eficiencias/ineficiencias del sistema: MJ de energía eléctrica o de combustibles,
- » calentamiento global: kg de CO₂ equivalente, y
- » deterioros del entorno: kg de residuos de acero y lubricantes.

Y se obtenían unas conclusiones medioambientales para cada una de las secciones de firmes catalogadas en la Instrucción 6.1-I.C.


Las conclusiones obtenidas en esta clasificación eran que los firmes flexibles y semi-flexibles producen, en todos los casos, menores impactos medioambientales que los rígidos o semi-rígidos.

Concretamente, en nuestro trabajo presentado en el VII Congreso Nacional de Firmes, celebrado en Ávila los días 23, 24 y 25 de mayo de 2006⁽⁸⁾, se concluyó: «Bajo ciertas hipótesis, hemos comprobado que los impactos ambientales producidos por algunos de los firmes propuestos por la Norma 6.1-I.C pueden llegar a multiplicar por más de seis los ocasionados por otras alternativas estructuralmente equivalentes».

Finalmente, alentamos al sector a utilizar el análisis del ciclo de vida como una herramienta de mejora, ya que, si bien los resultados no llegan a ser exactos, el objetivo final del estudio (permitir comparar diferentes procesos de producción para obtener unas bases sólidas de actuación) se consigue con éxito.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FULLANA, P. y PUIG, R. (1997): "Análisis del Ciclo de Vida". Cuadernos de Medio Ambiente. Rubes Editorial, S.L. Barcelona

2. ORTIZ RIPOLL, J. (2004): "Criterios para una valoración medioambiental de la sustitución del filler de recuperación de los áridos en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente". Revista RUTAS, Núm. 107. Marzo-Abril 2005.
3. STRIPPLE, H. (2001): "Life Cycle Assessment of Road. A pilot study for inventory analysis. Second revised edition". Report from IVL Swedish Environmental Research Institute. Gothenburg, Sweden.
4. PARÍS, A.; ORTIZ, J. y MONCUNILL, C.: "Análisis del Ciclo de Vida y Sostenibilidad en la Fabricación de Mezclas Bituminosas en Caliente". Jornada Técnica: Panorámica Actual de las Mezclas Bituminosas. ASEFMA, un nuevo enfoque. Madrid, 21 de junio de 2005.
5. PARÍS, A.; MONCUNILL, C. y ORTIZ, J.: "Valoración medioambiental de la producción de mezclas bituminosas en caliente a partir de un Análisis del Ciclo de Vida". I Congreso de Medio Ambiente en Carreteras. Asociación Española de la Carretera. Santander, del 25 al 28 de abril de 2006.
6. ORTIZ, J.; MONCUNILL, C. y PARÍS, A.: "Clasificación medioambiental de materiales y procedimientos para la construcción de firmes. Aplicación a las secciones de firmes de la Norma 6.1-IC". VII Congreso Nacional de Firmes. Ávila, del 23 al 25 de mayo de 2006.
7. PARÍS, A.; MONCUNILL, C. y ORTIZ, J.: "El Análisis del Ciclo de Vida como herramienta para la valoración ambiental de la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente". Especial Revista Carreteras sobre Integración Ambiental, núm. 150 de 2006.
8. ORTIZ, J. y MONCUNILL, C.: "Reducción de emisiones en la producción de mezclas bituminosas en caliente". El sector ante los retos actuales. La respuesta de ASEFMA. Madrid, 30 de Noviembre de 2006.
9. VV.AA. IPCC (1997): "Libro de Trabajo para el inventario de Gases de Efecto Invernadero-Vol.2".
10. DE CARVALHO, A. (2001): "Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento. Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, Julio de 2001. 



EQUIPOS PARA ENSAYOS DE MEZCLAS

NORMAS EN / UNE-EN 12697



EQUIPOS DE ENSAYOS



Wheel-tracking



Urna termostática



Amasadora en caliente



Compactador de segmento (Rodillo)



Compactador de impacto compactabilidad

- **ENSAYO EN PISTA DE LABORATORIO "WHEEL TRACKING -TEST"**
Ensayo totalmente automatizado incluida la carga y descarga de las pesas. Control por ordenador.
- **COMPACTADOR DE SEGMENTO (RODILLO)**
Con control de carga / deformación y temperatura
- **COMPACTADOR DE IMPACTO**
- **COMPACTABILIDAD ¡Automático! ¡Con microprocesador!**
- **AMASADORA EN CALIENTE**

**EN 12697-22
NLT-173**

**UNE-EN 12697-33
UNE-EN 12697-30
UNE-EN 12697-10
UNE-EN 12697-35**

**Fabricante de equipos para ensayos de: ARIDOS · SUELOS · CEMENTOS · AUSCULTACIÓN DE FIRMES
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS · ROCAS · HORMIGONES · LIGANTES · MEZCLAS BITUMINOSAS**

**FUNDIDORES, 14 POL. IND. LOS ÁNGELES · 28906 GETAFE (MADRID)
TEL. +34916962115 FAX +34916826898 · e-mail:comercial@mecacisa.com · web: http://www.mecacisa.com**

Caracterización de fibras en mezclas durables mediante el nuevo ensayo europeo de escurrimiento de ligante



Characterization of fibres in durable mixes using the new European binder sliding test

Santiago Lanchas

Campi y Jové, S.A.

Oscar Herrero

Campi y Jové, S.A.

RESUMEN

En los últimos años la durabilidad de los pavimentos es una necesidad creciente en nuestro país y en el conjunto de la UE.

Es bien sabido que el uso de mezclas en caliente (discontinuas y drenantes) con elevados contenidos en betún, confieren mas vida a estos pavimentos debido al mayor espesor de película de ligante que recubre los áridos aunque son susceptibles de deformaciones y escurrimientos del propio ligante.

Este trabajo muestra en su primera parte el mejor comportamiento mecánico, en todos los casos, de una mezcla discontinua SMA (alta en betún y con fibras) frente a una mezcla F10 (de menor contenido en ligante), mediante ensayo en pista, fatiga a flexo tracción y tracción indirecta (métodos convencional y de envejecimiento acelerado SHRP).

En la segunda parte hemos caracterizado las mezclas F10, M10 y PA12 mediante el nuevo ensayo europeo de escurrimiento de ligante UNE-EN 12697:18 "Método Schellenberg", realizando ensayos con diferentes composiciones granulares, con ligantes convencionales y modificados, en diferentes dosis y con la incorporación de fibras estabilizantes.

Se concluye que estas mezclas no cumplen el nuevo ensayo salvo con la adición de fibras de celulosa.

Palabras clave: Fibra, Celulosa, Durabilidad, Schellenberg, Migración de ligante, Mezcla discontinua, Ligante, Betún.

ABSTRACT

In the last years the paving lifetime is an increasing need in our country and the EU.

It is well known that the use of thin layer in hot mixes (gap graded and porous) with a high bitumen content, confers better performing life to the pavements, due to the higher film thickness which covers the aggregates though they can suffer deformation and drainage of the binder.

This work shows in its first part the best mechanical performance, in all cases, for a SMA thin layer mix (high in bitumen and with fibers) against a F10 mix (less binder content), with Wheel Tracking test, Fatigue and ITSR (conventional methods and also accelerate aging SHRP)

In the second part we have identified the F10, M10 and PA12 mixes by the new European test of binder drainage UNE-EN 12697:18 "Schellenberg Method", performing tests with different granular compositions, conventional and modified binders, with different dosage and adding stabilizing fibers.

In conclusion these mixes don't meet the new test unless addition of cellulose fibers.

Keywords: Fiber, Cellulose, Lifetime, Schellenberg, Binder drainage, Discontinuous mix, Binder, Bitumen.

Como estamos viendo la reciente normativa europea trae consigo el uso de nuevos métodos de control para las mezclas en España.

Para medir la *resistencia al escurrimiento*, o *migración* según dice el texto traducido al español de la norma europea, de ligante en las mezclas bituminosas disponemos según la normativa europea del nuevo ensayo normalizado *UNE EN 12697-1 B*.

Este ensayo de migración del ligante tiene 2 métodos: *método de la cesta* para mezclas convencionales y *método Schellenberg* recomendado especialmente para mezclas discontinuas y porosas; este método fue desarrollado en Alemania por el *Laboratorio Oficial del Dr. Schellenberg*. Se viene utilizando en Alemania desde hace bastantes años en todo tipo de mezclas asfálticas en caliente por su facilidad de uso, rapidez y eficacia.

AENOR ha publicado este ensayo como *UNE-EN 12697-18 Ensayo de migración del ligante para mezclas bituminosas en caliente* y próximamente estará también disponible en los libros de ensayos editados por ASEFMA.

Este método es aplicable a todos los materiales asfálticos, excepto a los porosos que no contengan fibras. Se puede utilizar tanto para determinar el escurrimiento de ligante en la fase de diseño variando el contenido de ligante en mezcla o durante el control de la mezcla en la fase de suministro. Este método también permite cuantificar los efectos de diversos tipos de áridos finos o la inclusión de cualquier aditivo.

Este ensayo viene a cumplir una importante función al poder medir de manera sencilla la estabilidad al escurrimiento de ligante.

El presente trabajo se ha realizado en cooperación de la Universidad *Rovira i Virgili (URV)* de Tarragona y el estudio se centra en el comportamiento de las 2 tipologías de mezclas: las mezclas discontinuas y las mezclas porosas, y utilizando como variables de comparación el porcentaje de ligante, tipo de ligante, tipo de fibra y temperatura de ensayo.

PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL

El uso de mezclas discontinuas *tipo SMA* son muy empleadas en Alemania y relativamente desconocidas en España. Son similares funcionalmente a nuestras mezclas *tipo F*. Tienen la misma base teórica, formar mezclas impermeables, con un 2-5 % de huecos, y conseguir un buen comportamiento mecánico por su esqueleto mineral de alta calidad que nos aporta elevada estabilidad y alta macrorugosidad superficial (Figura 1). Además se produce una reducción en la emisión sonora, una mayor seguridad al evitar el hidroplaneo, debido a la rápida evacuación superficial del agua, un incremento de la visibilidad de las marcas viales y una reducción de los reflejos luminosos.

Sin embargo, las mezclas SMA se distinguen de los micros *F* o *M* por ser concebidas con un mayor contenido de ligante y el empleo de fibras, normalmente fibras de celulosa (Tabla 1). Se pretende con estas medidas obtener un espesor de película mayor y por tanto mayor durabilidad (Foto 1).

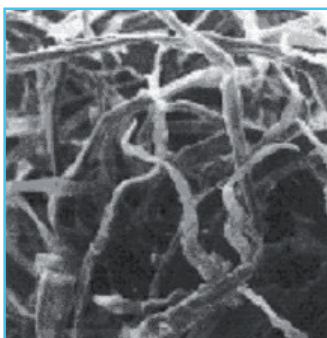


Foto 1. Fibras de celulosa empleadas en los micros tipo SMA.

	DOSIFICACIÓN S/MEZCLA (%)	
	F10	SMA10
Arido 6/12	70,9	71,6
Arido 0/3	15,1	12,2
Filler APO	8,6	9,4
Fibra VIATOP	---	0,4
Betún	5,4	6,4

Tabla 1. Comparación de las fórmulas de trabajo de las mezclas tipo F y tipo SMA.

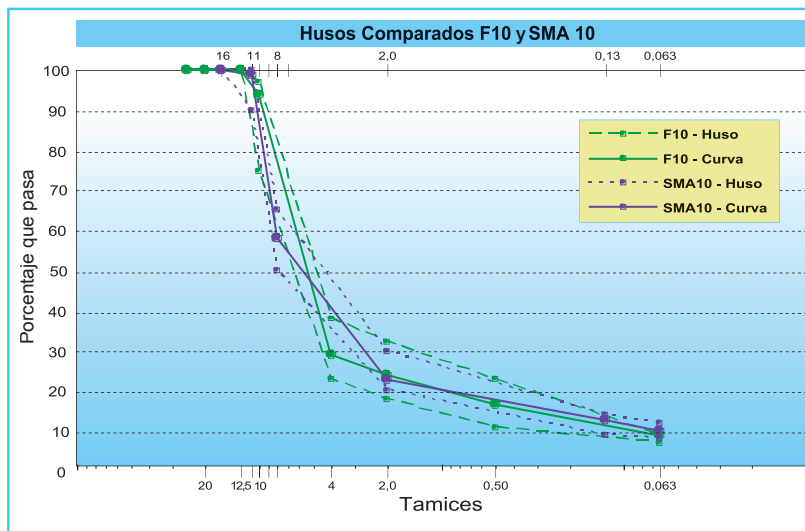


Figura 1. Comparación de los husos granulométricos y granulometrías de las mezclas tipo F y tipo SMA.

SMA - Carga equivalente 13 toneladas		
Tiempo [minutos]	Deformación [mm]	Velocidad de deformación [mm/min x 10 ⁻³]
30	0,495	5,0
45	0,570	
75	0,658	2,1
90	0,690	
105	0,720	1,8
120	0,748	

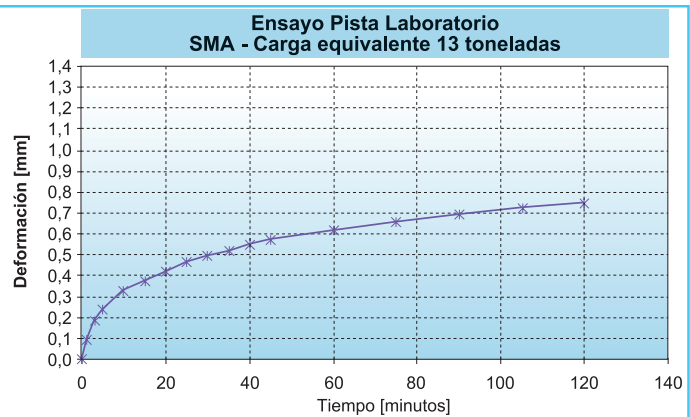


Figura 2. Resultados del ensayo de pista de laboratorio en el micro tipo SMA, para evaluar su deformación permanente.

Microaglomerado F - Carga equiv 13 t.		
Tiempo [minutos]	Deformación [mm]	Velocidad de deformación [mm/min x 10 ⁻³]
30	0,968	3,4
45	1,020	
75	1,115	3,2
90	1,163	
105	1,203	2,4
120	1,240	

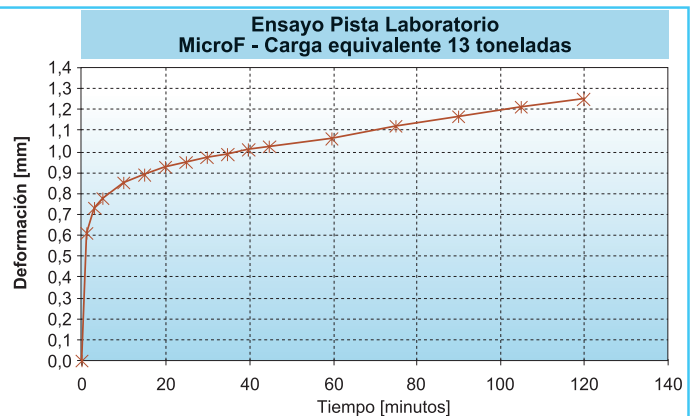


Figura 3. Resultados del ensayo de pista de laboratorio en el micro tipo F, para evaluar su deformación permanente.

De la mezclas SMA se posee una contrastada experiencia de uso y aplicación a nivel mundial por sus excelentes características de comportamiento mecánico y durabilidad, superiores incluso al de las mezclas francesas tipo *BBTM* en las que están inspiradas nuestras mezclas *M* y *F*. Esta es una de las conclusiones del trabajo reflejado en la referencia (6).

1. Durabilidad de las mezclas

En este estudio se ha comprobado mediante ensayos mecánicos la resistencia a la deformación permanente, estabilidad y fatiga de las mezclas SMA y F10 (Figuras 2 a 8) y según las composiciones mostradas en la Figura 1 y Tabla 1.

En las Figuras 2 y 3 observamos que la resistencia a las deformaciones permanentes de ambas mezclas es muy buena para tráfico pesados, y que las SMA presentan aún un mejor comportamiento, máxime teniendo en cuenta que su contenido de betún es del 6,4% s/m mientras que el contenido de la F10 es de sólo el 5,4%

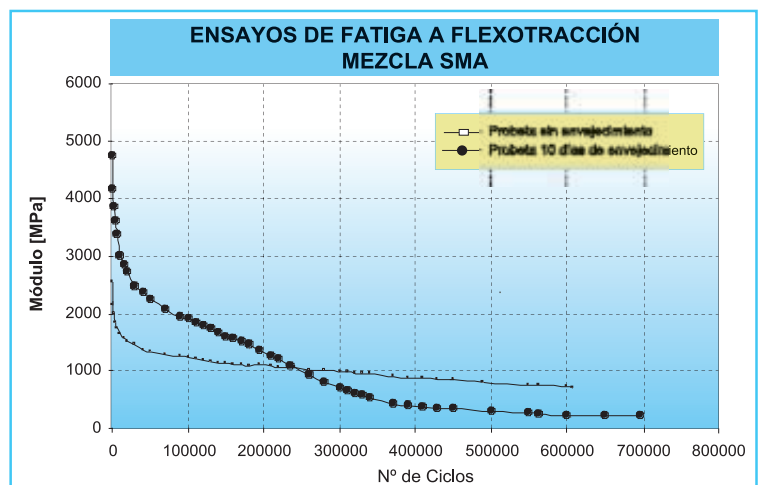


Figura 4. Resultados del ensayo de resistencia a la fatiga a flexotracción en el micro tipo SMA.

s/m. La mezcla SMA contiene un 0,4% de fibra de celulosa *VIA TOP®*.

Relativo al mismo estudio comparativo SMA10 y F10 se muestran, en las Figuras 4 y 5, los resultados de los ensayos de fatiga a flexotracción, que nuevamente ponen de manifiesto la mejor capacidad contra el envejecimiento y durabilidad de las mezclas SMA.

VIATOP®

La solución a la durabilidad



www.sma-viatop.com

J. RETTENMAIER & SÖHNE
GmbH & Co. KG



Fibers designed
by Nature

Business Unit Road Construction
D-73494 Rosenberg (Germany)
Internet: www.jrs.de • www.sma-viatop.com



Campi y Jové, S.A.

Venezuela, 103 i 10019 Barcelona SPAIN,
tel: 93-476 66 66

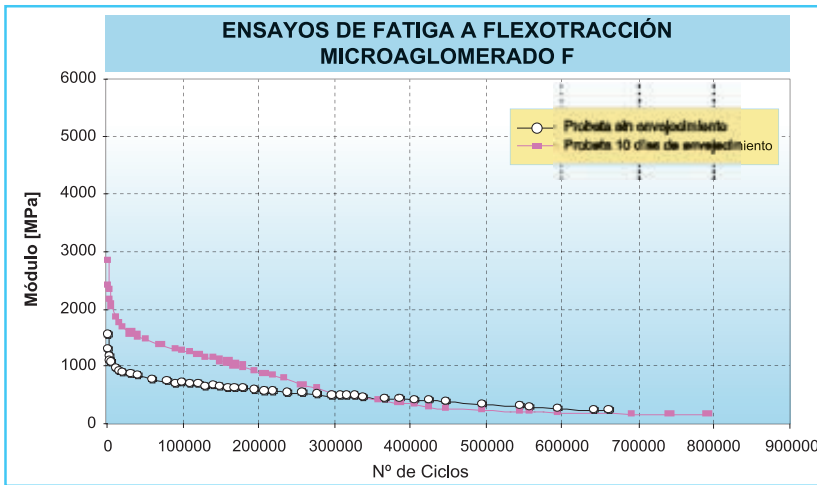


Figura 5. Resultados del ensayo de resistencia a la fatiga a flexotracción en el micro tipo F.

trolados en estufa a 80°C durante 5 y 10 días, y unas últimas con envejecimiento severo manteniendo en estufa a 160°C durante 4 h y posteriormente a 110°C durante 10 días, todo ello con el objetivo de poder valorar la resistencia al envejecimiento entre las 2 mezclas.

Con el objeto de analizar el comportamiento que produce la presencia de agua en estas mezclas asfálticas, se evaluó la adhesividad árido-ligante ensayando probetas en seco y después de 24 horas sumergidas a 60 °C de temperatura, con los resultados mostrados en las Figuras 7 y 8.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento comparado de las mezclas SMA y F10 en el ensayo brasileño de tracción indirecta a 5°C con muestras sin envejecer, y otras siguiendo metodología SHRP con envejecimientos con-

Como conclusión del estudio se ha verificado que tanto las mezclas SMA 10 como las F10 presentan unos muy buenos valores, aunque las primeras son ligeramente menos deformables y presentan un mejor comportamiento a la fatiga y envejecimiento. Las mezclas SMA son mezclas más duraderas que las F, según los ensayos analizados.

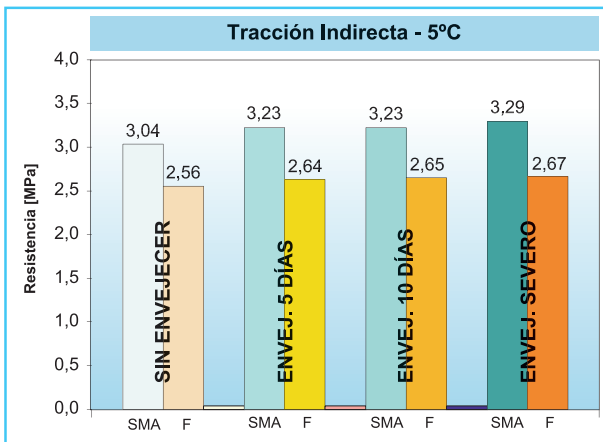


Figura 6. Resultados de tracción indirecta (brasileño) a 5°C, en micros tipo SMA y tipo F, para evaluar la resistencia al envejecimiento.

Según una reciente estadística europea las mezclas SMA son las mezclas para capa de rodadura con una vida media más alta. Aproximadamente el doble que las mezclas convencionales con betún.

Estos resultados confirman plenamente la experiencia de las administraciones públicas de muchos países, las concesionarias, los clientes privados y en general de los propietarios de las carreteras ya que desde siempre han requerido pavimentos con mayor vida útil, menores intervenciones de mantenimiento y un menor costo económico por año de vida útil.

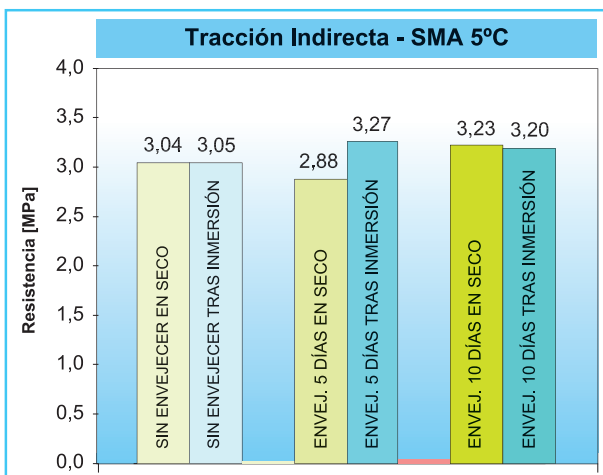


Figura 7. Resultados de tracción indirecta en micros tipo SMA para evaluar la adhesividad árido-ligante en presencia de agua.

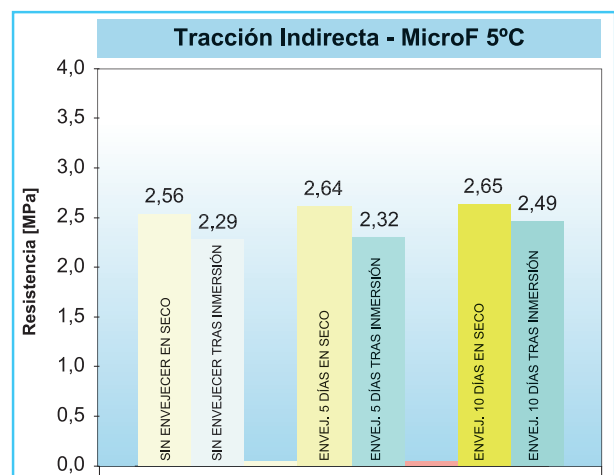


Figura 8. Resultados de tracción indirecta en micros tipo F para evaluar la adhesividad árido-ligante en presencia de agua.

2. Tendencia al escurrimiento de ligante. Parte descriptiva del ensayo

Una vez vistas estás excelentes propiedades mecánicas y duración de estas mezclas ricas en betún, en este apartado se va a comprobar la estabilidad de las mismas al escurrimiento ó *migración* mediante el nuevo ensayo *UNE-EN 12697 :18*.

Para poder comentar los ensayos del estudio y los resultados obtenidos, vamos a presentar brevemente y de manera gráfica como se lleva a cabo el método Schellenberg paso a paso:

- Paso 1. En un vaso de precipitados (850 ml de capacidad, 98 mm diámetro y 136 mm de altura) previamente tarado [Pi] y mantenido a temperatura de mezclado se vierten aproximadamente 1000 g de mezcla asfáltica discontinua (pesada con una precisión de decigramos), inmediatamente después de haberla mezclado a 155°C ± 5°C [Pm] (Foto 2).
- Paso 2. Se deposita el vaso de precipitados conteniendo la mezcla, tapado con un vidrio o un film, en un horno y se mantiene a 170°C ±1°C durante 1 hora ±1 minuto (Foto 3).
- Paso 3. Al final de ese tiempo, se extrae de la estufa el vaso de precipitados conteniendo la mezcla y se vierte sin usar ninguna agitación o vibración (Foto 4). Se vuelve a pesar [Pr] con precisión de decigramo el vaso que contendrá el residuo adherido y se determina el porcentaje de pérdida de peso atendiendo a la formula siguiente:

$$\text{Porcentaje Z (escurrimiento)} = \frac{Pr - Pi}{Pm - Pi} \times 100$$

La normativa alemana acepta valores inferiores al 0,3% (ver Tabla 2). Otras especificaciones más restrictivas consideran el valor 0,2% como el umbral máximo tolerable y obliga a obtener mezclas con resultados inferiores a este valor.

RESULTADO Z	EVALUACIÓN	TRAMA
Z < 0,2 %	VALIDO	
0,2 % < Z < 0,3%	Acceptable	
Z > 0,3%	NO CONFORME	

Tabla 2. Prescripciones alemanas para el resultado del escurrimiento.Z



Foto 2. Método de Schellenberg, de escurrimiento del ligante, paso 1.



Foto 3. Método de Schellenberg, de escurrimiento del ligante, paso 2.



Foto 4. Método de Schellenberg, de escurrimiento del ligante, paso 3.

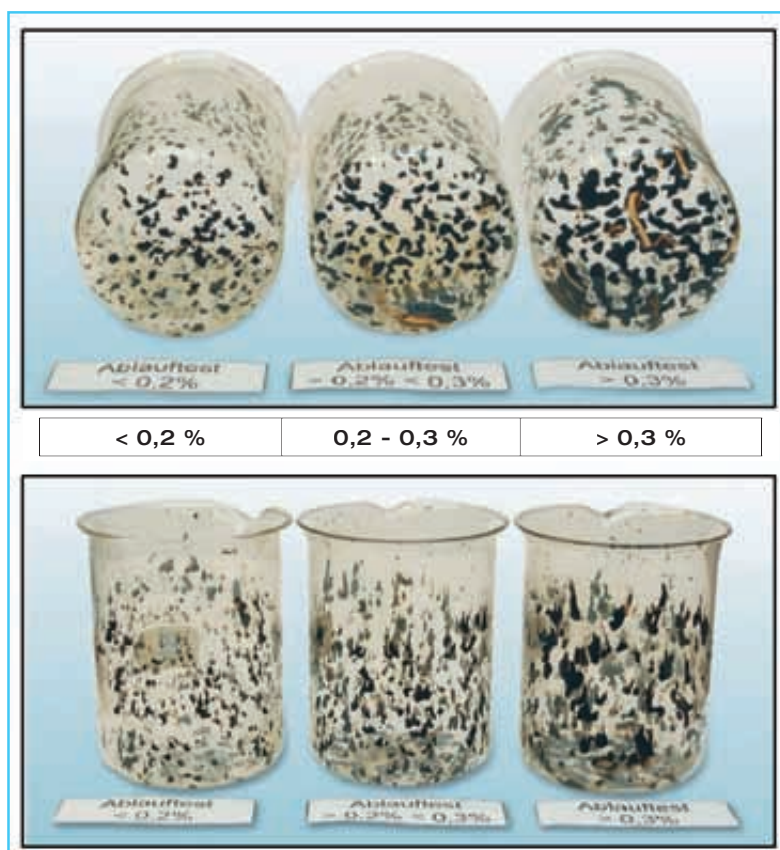


Foto 5. Distintos resultados obtenidos en el ensayo de Schellenberg (escurrimiento de ligante).

Se recomienda especial atención cuando los resultados del ensayo estén habitualmente comprendidos entre el 0,2% y el 0,3% en peso (*acceptable-critico*).

La Foto 5 contienen ilustraciones del test Schellenberg con los valores de control de la Tabla 2.

3. Tendencia al escurrimiento de ligante. Parte experimental

Para poder validar el test Schellenberg con las mezclas discontinuas (*Fy M*) y porosas (*PA*) que se vienen aplicando actualmente en España se ha llevado a cabo el estudio determinando su comportamiento al utilizar indistintamente ligantes convencionales (*B 60/70*) y ligantes modificados con polímeros (*BM3c*), para diferentes dosificaciones granulométricas y diferentes contenidos de ligante, de acuerdo a los valores que la experiencia internacional considera como valores mínimos para realizar mezclas estables de alta duración; con el objetivo de determinar si

Denominación	Descripción
HS	fórmula con curva igual a huso superior
CD	fórmula con curva centrada discontinua (fracciones 0/3 + 5/12)
CC	fórmula con curva centrada continua (fracciones 0/5 + 5/12)
HI	fórmula con curva igual huso inferior

Tabla 3. Composiciones granulométricas estudiadas.

esos elevados contenidos de betún hacen mezclas estables al escurrimiento.

El tipo de fibra más adecuada para este fin: consultada la bibliografía y la amplia experiencia actual en la mayoría de países de la UE vimos que en la práctica totalidad de los casos, se aconsejaba el uso de fibras orgánicas poliméricas de celulosa granuladas de elevada pureza y calidad.

Las mezclas asfálticas se confeccionaron siguiendo las especificaciones detalladas en el los Art. 542 y 543 correspondientes a la Orden Circular 05/2001 del Ministerio de Fomento para las mezclas de microaglomerados F10, M10 y porosa PA12 utilizando áridos de procedencia granítica (cantera Can Ro - Barcelona; fracción 12/18 mm) y porfídica (cantera Cumesa- Tarragona; fracciones 5/12 mm, 0/5 mm y 0/3 mm); y con 4 composiciones granulométricas diferentes por mezcla según se describe en la Tabla 3 y se muestra en las Figuras 9 a 11.

Con el objetivo de cubrir el ancho completo del huso de la mezcla y abordar las posibilidades extremas que se pueden presentar, se van a evaluar dos alternativas a las curvas centradas obteniendo continuidad/discontinuidad mediante la dosificación con diferentes granulometrías en fracciones finas.

En todos los casos se ha realizado el muestreo utilizando un ligante convencional *B 60/70* y un ligante modificado con polímeros tipo *BM 3c*, para poder contrastar el comportamiento al escurrimiento con ambos tipos de ligantes a diferentes dotaciones.

Además se ha elevado la temperatura normal de ensayo del test Schellenberg de 170°C a 180°C para adaptarla a las condiciones prácticas de trabajo al utilizar ligantes modificados de mayor viscosidad (*BM 3c*).

Y como último punto de la parte experimental del estudio, se ha realizado también el muestreo con todas las mismas variables y las mismas dosificaciones utilizando

fibras de celulosa *granulares* con el objetivo de conseguir retener y dotar de mayor ligante las mezclas en todo su huso granulométrico y mantenerlas estables.

Los resultados obtenidos en los ensayos de escurrimiento se muestran en las Tablas 4 (con B60/70), Tabla 5 (con BM3c), Tabla 6 (con BM3c a 180°C) y Tabla 7 (con B 60/70 y fibras de celulosa).

Para identificar las diferentes composiciones y alternativas realizadas seguiremos el criterio de nomenclaturas de la Tabla 8, donde la composición *HS-(6,5B)-VIA* equivaldrá a una dosificación igual al *Huso Superior* de la mezcla con un *6,5% de betún B60/70 sobre mezcla* y con incorporación de *fibras estabilizantes*.

Para poder visualizar las diferentes muestras se ha utilizado el criterio indicado en la Tabla 2 para señalar, mediante distintos fondos, si un valor es *válido*, *aceptable* o *no conforme*.

En la Tabla 4, las mezclas con B 60/70 y sin fibras, vemos que en el huso inferior (HI) tenemos problemas de escurrimiento a valores relativamente bajos de betún como son el 4,5% en PA12, 5% en M10 y 5,5% en F10.

En el huso superior (HS) el comportamiento mejora ligeramente pero el escurrimiento es problemático para contenidos de betún a partir del 5% en PA12 y del 5,5% en M10 y F10 (valores ligeramente superiores a las dosificaciones habituales).

En los husos centrados discontinuo (CD) y continuo (CC), volvemos a obtener valores fuera de norma a los mismos porcentajes de betún del huso inferior (HI) y con mayores escurrimientos en la curva continua CC.

En la Tabla 5 se observa la misma tónica, aunque ligeramente menor por las propiedades adherentes-cohesivas del polímero utilizado en el betún modificado BM3c.

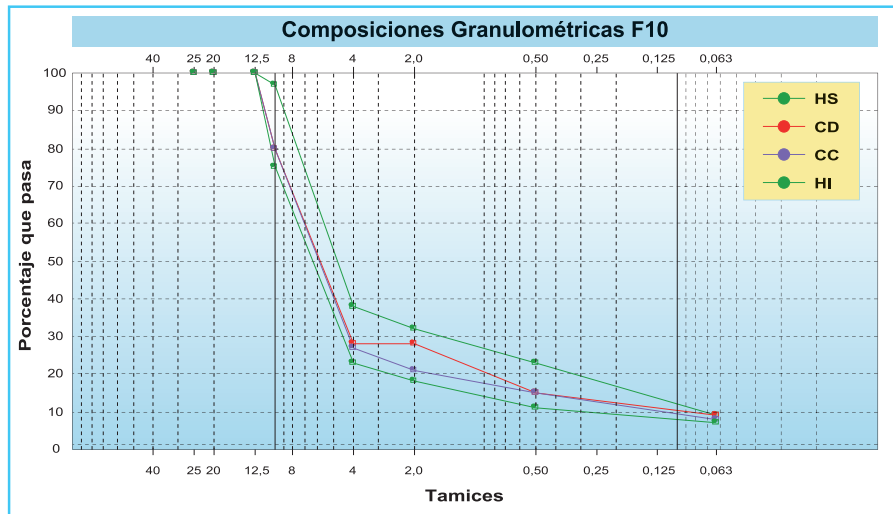


Figura 9. Curvas granulométricas del micro tipo F10.

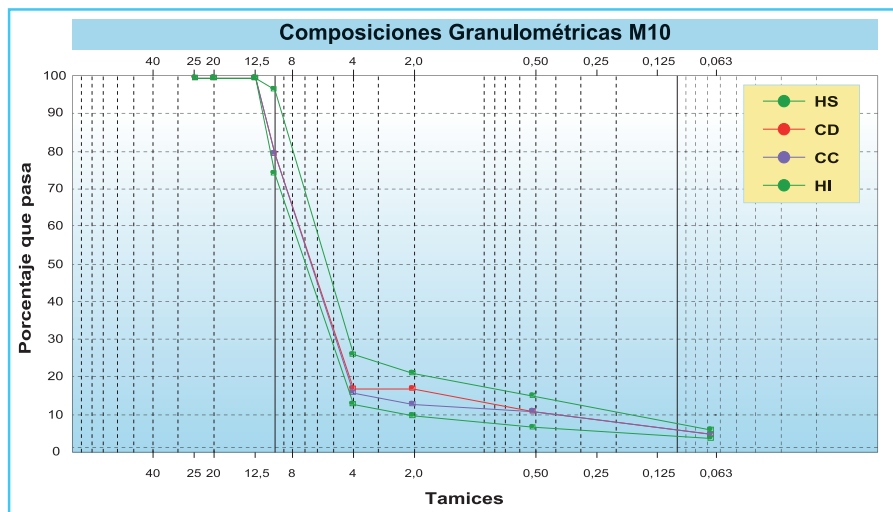


Figura 10. Curvas granulométricas del micro tipo M10.

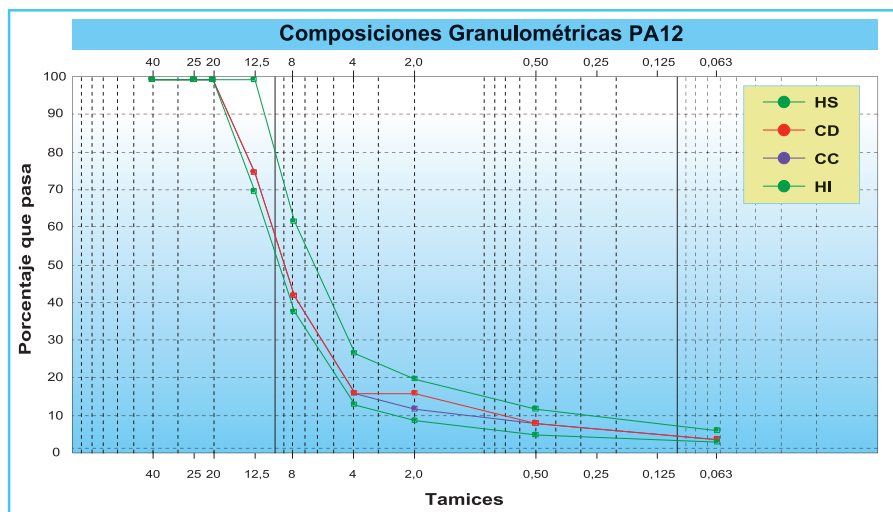


Figura 11. Curvas de la mezcla porosa PA12.

TEST SCHELLENBERG UNE-EN 12697:18 (B60/70)							
Muestra	Porcentaje de masa perdida respecto a la masa inicial			Muestra	Porcentaje de masa perdida respecto a la masa inicial		
	F10	M10	PA12		F10	M10	PA12
HS-(4,5 B)			0,15	CD-(4,5 B)			0,30
HS-(5,0 B)		0,23	0,30	CD-(5,0 B)		0,30	0,45
HS-(5,5 B)	0,30	0,32	0,35	CD-(5,5 B)	0,48	0,44	
HS-(6,0 B)	0,44	0,58		CD-(6,0 B)	0,77		
HS-(6,5 B)				CD-(6,5 B)			
HI-(4,5 B)			0,32	CC-(4,5 B)			0,30
HI-(5,0 B)		0,47	0,42	CC-(5,0 B)		0,83	0,50
HI-(5,5 B)	0,88	1,35	0,95	CC-(5,5 B)	0,96	1,28	0,77
HI-(6,0 B)	0,93			CC-(6,0 B)	1,28		
HI-(6,5 B)				CC-(6,5 B)			

Tabla 4. Resultados del test Schellenberg con el betún B60/70.

TEST SCHELLENBERG UNE-EN 12697:18 (BM3c)							
Muestra	Porcentaje de masa perdida respecto a la masa inicial			Muestra	Porcentaje de masa perdida respecto a la masa inicial		
	F10	M10	PA12		F10	M10	PA12
HS-(4,5 BM)			0,06	CD-(4,5 BM)			0,15
HS-(5,0 BM)		0,09	0,11	CD-(5,0 BM)		0,18	0,31
HS-(5,5 BM)	0,00	0,21	0,20	CD-(5,5 BM)	0,31	0,30	
HS-(6,0 BM)	0,07	0,26		CD-(6,0 BM)	0,33	0,35	
HS-(6,5 BM)	0,08			CD-(6,5 BM)	0,64		
HI-(4,5 BM)			0,19	CC-(4,5 BM)			0,17
HI-(5,0 BM)		0,21	0,25	CC-(5,0 BM)		0,20	0,22
HI-(5,5 BM)	0,22	0,55	0,39	CC-(5,5 BM)	0,33	0,36	0,34
HI-(6,0 BM)	0,41	1,08		CC-(6,0 BM)	0,45	0,45	
HI-(6,5 BM)				CC-(6,5 BM)	0,75		

Tabla 5. Resultados del test Schellenberg con el betún modificado BM3c.

TEST SCHELLENBERG UNE-EN 12697:18 (BM3c a 180°)							
Muestra	Porcentaje de masa perdida respecto a la masa inicial			Muestra	Porcentaje de masa perdida respecto a la masa inicial		
	F10	M10	PA12		F10	M10	PA12
HS-(4,5 BM)			0,12	CD-(4,5 BM)			0,22
HS-(5,0 BM)		0,10	0,24	CD-(5,0 BM)		0,22	0,40
HS-(5,5 BM)	0,00	0,24	0,30	CD-(5,5 BM)	0,35	0,35	
HS-(6,0 BM)	0,07	0,26		CD-(6,0 BM)	0,41	0,35	
HS-(6,5 BM)	0,08			CD-(6,5 BM)	0,64		
HI-(4,5 BM)			0,30	CC-(4,5 BM)			0,21
HI-(5,0 BM)		0,40	0,41	CC-(5,0 BM)		0,30	0,37
HI-(5,5 BM)	0,33	0,55	0,39	CC-(5,5 BM)	0,39	0,36	0,67
HI-(6,0 BM)	0,41	1,08		CC-(6,0 BM)	0,52	0,50	
HI-(6,5 BM)				CC-(6,5 BM)	0,77		

Tabla 6. Resultados del test Schellenberg con el betún modificado BM3c a 180° C de temperatura.

TEST SCHELLENBERG UNE-EN 12697:18 (B60/70 + VIATOP)							
Muestra	Porcentaje de masa perdida respecto a la masa inicial			Muestra	Porcentaje de masa perdida respecto a la masa inicial		
	F10	M10	PA12		F10	M10	PA12
HS-(4,5 B)-VIA			0,01	CD-(4,5 B)-VIA			0,02
HS-(5,0 B)-VIA		0,01	0,01	CD-(5,0 B)-VIA		0,01	0,02
HS-(5,5 B)-VIA	0,01	0,03	0,02	CD-(5,5 B)-VIA	0,03	0,01	0,03
HS-(6,0 B)-VIA	0,05	0,05		CD-(6,0 B)-VIA	0,07	0,01	
HS-(6,5 B)-VIA				CD-(6,5 B)-VIA			
HI-(4,5 B)-VIA			0,02	CC-(4,5 B)-VIA			0,02
HI-(5,0 B)-VIA		0,03	0,02	CC-(5,0 B)-VIA		0,01	0,03
HI-(5,5 B)-VIA	0,05	0,11	0,05	CC-(5,5 B)-VIA	0,01	0,01	0,04
HI-(6,0 B)-VIA	0,10	0,15		CC-(6,0 B)-VIA	0,10	0,04	
HI-(6,5 B)-VIA	0,13			CC-(6,5 B)-VIA			

Tabla 7. Resultados del test Schellenberg con el betún B60/70 y fibras de celulosa.

Producto	Nomenclatura	Tipología
Mezcla	HS	Huso Superior
	CD	Curva Discontinua
	CC	Curva Continua
	HI	Huso Inferior
BETUN	(4,5 -- 6,5)	% Betun s/mezcla
	B	B60/70
	BM	Bm3c
Fibra Estabilizante	VIA	VIATOP

Tabla 8. Criterio de nomenclaturas de las Tablas 4 a 7.

En la Tabla 6 observamos un incremento significativo de escurrimientos al ensayar las mezclas conteniendo BM 3c a la temperatura de 180°C, más propia de uso real en fabricación industrial debido a la mayor viscosidad de estos ligantes.

En la Tabla 7 se observa que con el uso de fibras y a cualquier dosificación, incluso las más elevadas (F10 a 6,5%, M10 a 6,0% y PA 10 a 5,5% de ligante B60/70 s/m), no se producen escurrimientos y en todos los casos se obtienen resultados *validos*.

CONCLUSIONES

1. Al primer bloque

Podemos observar al verificar el comportamiento mecánico de la mezcla SMA (con 6,40 % de ligante s/m y fibras de celulosa) respecto a F10 (con 5,40 % s/m y sin fibras) que:

- La mezcla SMA ofrece menor deformación permanente según ensayo en Pista NLT 173/00.
- El ensayo de fatiga mediante aparato dinámico (flexotracción) NLT 350/90 muestra la mejor capacidad contra el envejecimiento y durabilidad de la mezcla SMA en frente a la mezcla F10.
- Los ensayos de tracción indirecta NLT 346/90 denotan, en todos los casos para la mezcla SMA, unos mejores resultados de compresión seca y compresión húmeda, tanto en condiciones normales como bajo criterios de envejecimiento controlados (método SHRP) y severos.

Podemos concluir que las mezclas SMA ofrecen comportamiento mecánico y durabilidad superiores a las mezclas F.

2. Al segundo bloque

De los resultados obtenidos anteriormente se pueden deducir una serie de conclusiones particulares y generales sobre el uso de fibras de celulosa granulares en las mezclas bituminosas.

2.1. De modo particular

Comparando las mezclas M10 con la F10 a igual contenido de betún, generalmente, las mezclas tipo M10 escurren algo más que las mezclas F10, este hecho estaría de acuerdo con la mayor porosidad de las mezclas M10 que implican menor área superficial donde fijar el betún.

Si no se sobrepasan los contenidos mínimos de betún modificado según normativa PG3, 4,5%, 5,5% y 5% para PA12, F10 y M10 respectivamente, no parece que haya serios problemas de escurrimiento para las pruebas realizadas a 170°C. Sin embargo cuando se realiza el test a 180°C se empiezan a agudizar los problemas de escurrimiento. Las topologías y diferentes absorciones de los áridos jugaran un papel muy importante en este aspecto.

Las mezclas PA12 presentan escurrimientos superiores a las mezclas tipo M10, a igual contenido de betún, como cabía esperar debido a la menor superficie específica y mayor índice de huecos de estas últimas.

2.2. De modo general

Con la adición de fibras de celulosa granulares no ha habido riesgo de escurrimiento, incluso en los valores extremos de la dosificación de betún utilizada.

Es posible estabilizar las mezclas asfálticas con la adición de fibras de celulosa independientemente del tipo de betún utilizado: convencional o modificado con polímeros. La adición de estas fibras permite la utilización segura de mayores dotaciones de betún en mezcla, lo que favorece extraordinariamente la durabilidad de la mezcla.

Cuando se utiliza betún modificado, dada su mayor viscosidad, hay menor riesgo de escurrimiento respecto al uso de betún convencional. No obstante el uso de betún modificado, a concentraciones elevadas de ligante, no garantiza que no exista riesgo de escurrimiento.

El riesgo de escurrimiento dependerá de la composición y dotación del betún empleado, la curva utilizada, la situación dentro del huso granulométrico adoptado y de la naturaleza química de los materiales utilizados: áridos, betún y resto de aditivos incluidos, y muy especialmente de las fibras empleadas.

RECOMENDACIÓN ESPECIAL: DOSIFICADORES AUTOMÁTICOS

En la actualidad se están utilizando industrialmente fibras pre-envueltas y granulares de celulosa de muy fácil dispersión e incorporación en las mezclas. Es interesante a efectos prácticos conocer que existen sistemas de dosificación automáticos integrados en la línea de producción de las plantas asfálticas (continuas y discontinuas) para incorporar de modo automático, cómodo y seguro las fibras a la mezcla. Estos dosificadores disponen de

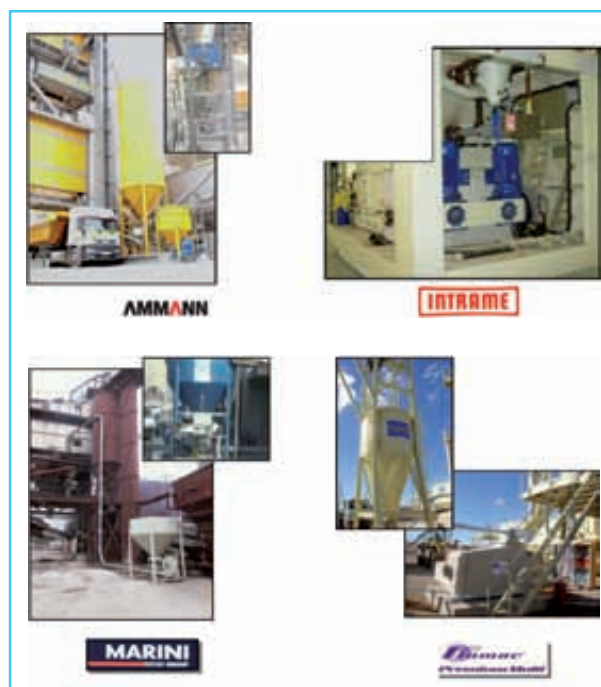


Foto 6. Distintos tipos de dosificadores automáticos de fibras.

los propios sistemas de seguridad y registros de pesaje en cada amasada que permiten obtener trazabilidad, consumos instantáneos y acumulados de las fibras.

En la Foto 6 se muestran diferentes unidades dosificadoras activas de fabricantes de primer nivel e instaladas en plantas nacionales.


NORMATIVA Y BIBLIOGRAFÍA

1. Método Schellenberg EN 12697-18 "Mezclas Bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 18: Ensayo de migración del ligante".
2. Norma NLT173/84. "Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas mediante la pista de ensayo de laboratorio".
3. Salagre P., Cesteros, Y., Vicente I. y Serra M.: "Estudio para evaluar la capacidad de Estabilización de betunes mediante el empleo de fibras ARBOCEL / VIATOP en mezclas bituminosas discontinuas y porosas". UVR de Tarragona Septiembre 2005.
4. Norma NLT 350/90: "Ensayo de fatiga en flexotración dinámica de mezclas bituminosas".
5. Bolzán P.: "Mezcla Stone-Matrix Asphalt en la reparación de la AU Ricchieri", XXXI Reunión del

Asfalto, Comisión Permanente del Asfalto, Argentina, 2000.

6. "Estudios comparativos de Microaglomerados discontinuos y Stone Mastic Asphalt (SMA). Resistencia al ahuellamiento y Estudios Dinámicos" realizado por J.Rettenmaier & Sohne (JRS), R.Adrián Nosetti , Hugo D. Bianchetto de Universidad Nacional de La Plata (Argentina) y en colaboración con Laboratorio de Caminos, ETSECCP, Universidad Politécnica de Cataluña UPC.
7. Pérez Jiménez F., Miró Recasens R. y Cepeda Aldape, J.: "Estudio del comportamiento a fatiga de mezclas bituminosas mediante el ensayo de Tracción Indirecta". 2º Euroasphalt Congress, Barcelona, 2000.
8. Pérez Jiménez F., Miró Recasens R. y Cepeda Aldape, J. "Analysis of fatigue performance of asphalt mixtures, relationship between toughness and fatigue resistance". 6th RILEM Symposium PTEBM'03, Suiza, 2003.
9. Cepeda Aldape, J.: "Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas a fisuración por fatiga mediante

la aplicación de un nuevo ensayo dinámico a tracción indirecta". Tesis Doctoral, Univ. Politécnica de Cataluña, España, 2002.

10. Read, J.; Whiteoak, D.: "The Shell Bitumen Handbook". Shell UK Oil Products Limited. Fifth Edition, 2003
11. Khandal, P.; Chakraborty, S.: "Effects of asphalt film thickness on short- and long-term aging of asphalt paving mixtures". Transportation Research Record, Vol. 1535, 1996.
12. Hachiya, Y.; Nomura, K.; Shen, J.: "Accelerated aging tests for asphalt concrete". 6th RILEM Symposium PTEBM'03, Suiza, 2003.
13. Mas Lorente, E.: "Estudio del efecto del envejecimiento de las mezclas bituminosas mediante el empleo del ensayo de tracción indirecta". Tesina de Especialidad. Univ. Politécnica de Cataluña, España, 2000.
14. Bianchetto, Hugo: "Criterios de diseño de mezclas bituminosas para pavimentos tendentes a optimizar su resistencia al envejecimiento. Influencia del tipo de ligante y del relleno mineral". Tesis doctoral. Univ. Politécnica de Cataluña, España, 2005. 

EQUIPOS DE LA FIRMA "COOPER" PARA MEZCLAS BITUMINOSAS

NORMAS EN / UNE-EN 12697

MÁQUINAS UNIVERSALES



Servo-neumática 81.5000 & 81.5070 Servo hidráulica 81.5010



Ensayo de fatiga 4 puntos de flexión 81.5060



Compactador de rodillo



Módulo Deformación Triaxial permanente

Ensayo de fatiga trapezoidal



Compactador de gran escala



Wheel tracking de gran escala (más de 13 toneladas)



- Compactador Giratorio GYR03
- Medida del módulo de rigidez
- Ensayos de fatiga
- Medida de fluencia dinámica (Compresión cíclica)
- Compactador de rodillo
- Wheel Tracking gran escala

- UNE-EN 12697-10
- UNE-EN 12697-26 (Anexo D)
- UNE-EN 12697-24 (Anexo D)
- UNE-EN 12697-25 Método B
- UNE-EN 12697-33
- EN 12697-22

Mezclas bituminosas fabricadas con betunes sintéticos coloreables

Asphalt mixes produced with colourable synthetic bitumens



Antonio Páez Dueñas

Dirección General de Tecnología
Repsol

RESUMEN

En algunas ocasiones además de su función resistente es necesario que las mezclas de carreteras cumplan con una función estética o de seguridad que requiera el uso de pavimentos coloreados.

Por ejemplo, túneles en los que el uso de pavimentos claros supone un ahorro considerable de energía, pavimentos de grandes acontecimientos como Exposiciones Universales, pavimentos de parques y jardines.

La utilización de técnicas de pavimentación similares a las de las carreteras suponen un ahorro considerable de tiempo y dinero si se compara con la colocación de losetas de cerámica. Sin embargo, el betún presenta la limitación de que no se puede colorear.

En este trabajo se presentan las propiedades de los betunes sintéticos de Repsol. Basados en componentes de refinería con ellos se pueden fabricar mezclas bituminosas convencionales como si se tratara de un betún normal.

Como ventaja adicional, presentan la propiedad de que son transparentes en película fina. Debido a esta propiedad se pueden fabricar mezclas de carreteras coloreadas desde el blanco al negro pasando por el amarillo, rojo, verde, azul etc. En cuanto a las propiedades mecánicas de estas mezclas, los ensayos de laboratorio demuestran que son muy similares a las de carreteras.

Después de siete años de servicio el betún sintético de Repsol se ha convertido en una solución para la fabricación de pavimentos coloreados.

Palabras clave: *Betún, Ligante, Betún sintético, Betún pigmentable, Mezcla bituminosa pigmentable.*

ABSTRACT

On occasions, on top of their strengthening function, asphalts for roadwork also need to fulfil an aesthetic or safety function that requires the use of coloured pavements.

Examples of this are tunnels where the use of light-coloured pavements represents significant energy saving, pavements at major events such as universal exhibitions and pavements in parks and gardens.

The use of paving techniques similar to those on roads represents considerable saving in time and money compared to the laying of ceramic tiles. Notwithstanding, bitumen suffers from the limitation of not being colourable.

This work presents the properties of the synthetic bitumens produced by Repsol. Based on the use of refinery components, they mean it is possible to produce conventional asphalt mixes as if regular bitumens were involved.

By way of additional advantage, these synthetic bitumens possess the property of being transparent in a fine film. This property means it possible to produce coloured mixes for roadwork ranging from white through to black and including yellow, red, green and blue, etc. Laboratory tests have proven that the mechanical properties of these coloured mixes are very similar to those of the mixes applied for roadwork.

After seven years of service, the Repsol synthetic bitumen has become a solution for producing coloured pavements.

Keywords: Bitumen, Binder, Synthetic bitumen, Pigmentable bitumen, Pigmentable asphalt.

Existen algunas circunstancias en las que es aconsejable que el color negro de los pavimentos bituminosos sea sustituido por alguna clase de coloración. Entre los motivos por los que puede ser necesaria la *coloración* del pavimento se encuentran:

- Alertar al tráfico de situaciones especiales aumentando la seguridad vial en cruces, carriles de bicicletas y autobús, situaciones especiales del tráfico, etc. (Foto 1).
- Indicar diferentes zonas de uso de los pavimentos como zonas de aparcamientos, vías de servicio, etc.
- Aumentar el efecto de iluminación en zonas donde se necesitan precauciones especiales como túneles.
- Aumentar el atractivo de zonas deportivas como pistas de atletismo y tenis.
- Disminuir el impacto ambiental en zonas de paseo de parques y jardines.

Los responsables principales de la dificultad de coloración de los betunes tradicionales son los asfaltenos, ya que estos sólidos de color negro impiden u ocultan el



Figura 1. Vía ciclista en zona urbana.



Foto 2. Ejecución de una lechada coloreada en la plaza de Colón de Barcelona.

- Incorporación de pigmentos al betún. En general, la incorporación de pigmentos al betún necesita grandes proporciones de éstos, y no se consigue toda la gama de colores. Se consiguen coloraciones rojas, más bien pardas, y grises por adición de óxidos metálicos fundamentalmente.
- Utilización en la mezcla de áridos minerales coloreados, sulfatos, carbonatos y tierras metálicas.
- Utilización de tratamientos de riego con betunes muy fluxados y áridos coloreados. Con el tiempo estos tratamientos terminan oscureciéndose y los colores pierden gran parte de su brillo.

Las dificultades de obtener mezclas con un color aceptable a partir de betunes han dado lugar a la producción de *betunes sintéticos* fácilmente pigmentables y con propiedades reológicas muy cercanas a las de los betunes convencionales.

BETUNES SINTÉTICOS

Los *betunes sintéticos* están fabricados a partir de componentes de refinería y presentan la particularidad de que son transparentes en película fina. Esta particularidad los hace especialmente idóneos para la fabricación de mezclas coloreables, ya que se forma un mástico coloreado entre el pigmento y el betún.

Dependiendo del color de los áridos con los que se fabrica el aglomerado y del pigmento utilizado, se puede conseguir toda la gama de colores desde el blanco al negro pasando por el amarillo, rojo, verde o azul (Foto 2).

desarrollo de color del pigmento. Los procesos de eliminación de asfaltenos, además de encarecer el betún, pueden tener una influencia negativa en las propiedades reológicas del mismo por lo que en la práctica no se utilizan. Se han desarrollado diversas formas de coloración de betunes entre las que destacan:

ANÁLISIS	BETÚN CONVENCIONAL	BETÚN SINTÉTICO	BETÚN SINTÉTICO
Penetración, 25° C 100 g, 5 s (1/10 mm)	68	69	50
Temperatura Anillo y Bola (°C)	49	55,2	63
Índice de Penetración	- 0,69	0,89	1,63
Ductilidad @ 25°C, cm	> 100	> 100	>100
Viscosidad, cst			
100° C	---	865	950
120° C	955	600	800
135° C	432	125	310
150° C	207	-----	

Tabla 1. Propiedades de ligantes sintéticos comparadas con las de los ligantes convencionales.

En cuanto a sus propiedades físicas, son muy parecidas a las de los ligantes tradicionales. En la Tabla 1 se recogen los resultados de los ensayos realizados a dos de estos betunes comparados con los obtenidos con un betún convencional tipo 60/70.

Como puede observarse, tanto el betún sintético como el convencional presentan propiedades muy cercanas. Una característica que presenta el betún sintético frente al 60/70 convencional es su menor viscosidad a todas las

Viscosidad Saybol Furol a 25 °C	42 seg
Contenido de agua en volumen	38 %
Betún pigmentable	62 %
RESIDUO POR DESTILACIÓN	
Penetración	50 (0,1 mm)
Punto de reblandecimiento anillo y bola	47 °C

Tabla 2. Características típicas de una emulsión ECL2 de betún pigmentable.

temperaturas lo que hace que las temperaturas de mezcla y compactación sean menores.

Dependiendo de las propiedades finales buscadas, los betunes sintéticos pueden fabricarse casi a la medida. Así pueden obtenerse en toda la gama de penetraciones deseada, desde 40/50 a 150/200. Asimismo pueden fabricarse betunes sintéticos con características de betunes modificados con polímeros. En la Tabla I se presenta un ejemplo de un betún con alto Índice de penetración.

EMULSIONES A BASE DE BETÚN SINTÉTICO

Los betunes sintéticos pueden emulsionarse y con ellos fabricarse emulsiones tanto de rotura *rápida* como de rotura *lenta*. Así estas emulsiones pueden emplearse

tanto en tratamientos superficiales de riego con engrillado como en lechadas bituminosas. En la Tabla 2 se recogen algunas características típicas de una emulsión ECL2 fabricada con betún sintético. Esta emulsión tiene aplicación en lechadas coloreadas, que vienen a sustituir con ventaja a las fabricadas con emulsiones de resinas acrílicas (Foto 3).

Las propiedades conseguidas en este tipo de emulsiones son idénticas a las fabricadas con betunes asfálticos convencionales, lo que significa que pueden tratarse tanto con maquinaria como con prácticas constructivas de las utilizadas habitualmente.

MEZCLAS EN CALIENTE PIGMENTADAS

El comportamiento en servicio de los betunes sintéticos es muy cercano, aunque ligeramente inferior al que se observa con los betunes convencionales. En la Figura 1 se recoge la estabilidad Marshall de una mezcla S12 fabricada con un betún pigmentable. Los áridos gruesos utilizados proceden de la zona del Jarama en la provincia de Madrid y tanto la arena como el filler son de naturaleza caliza.

Los resultados obtenidos presentan unas características muy similares a las de las mezclas fabricadas con betunes asfálticos convencionales. Utilizando este tipo de ligantes es posible conseguir estabilidades Marshall de 12 KN utilizando granulometrías y polvos minerales convencionales.



Foto 3. Aspecto de una lechada extendida en el Parque Natural de las Médulas.

En cuanto a su resistencia a deformaciones plásticas, en la Figura 2 se recogen los resultados obtenidos en un ensayo en pista de laboratorio según las especificaciones españolas. El betún sintético cumple con las especificaciones españolas aunque su resistencia es ligeramente menor a la obtenida con el betún 60/70 asfáltico.

Estos valores solamente son significativos a efecto de demostración de que las mezclas fabricadas con ligantes pigmentables se comportan adecuadamente comparados con unas

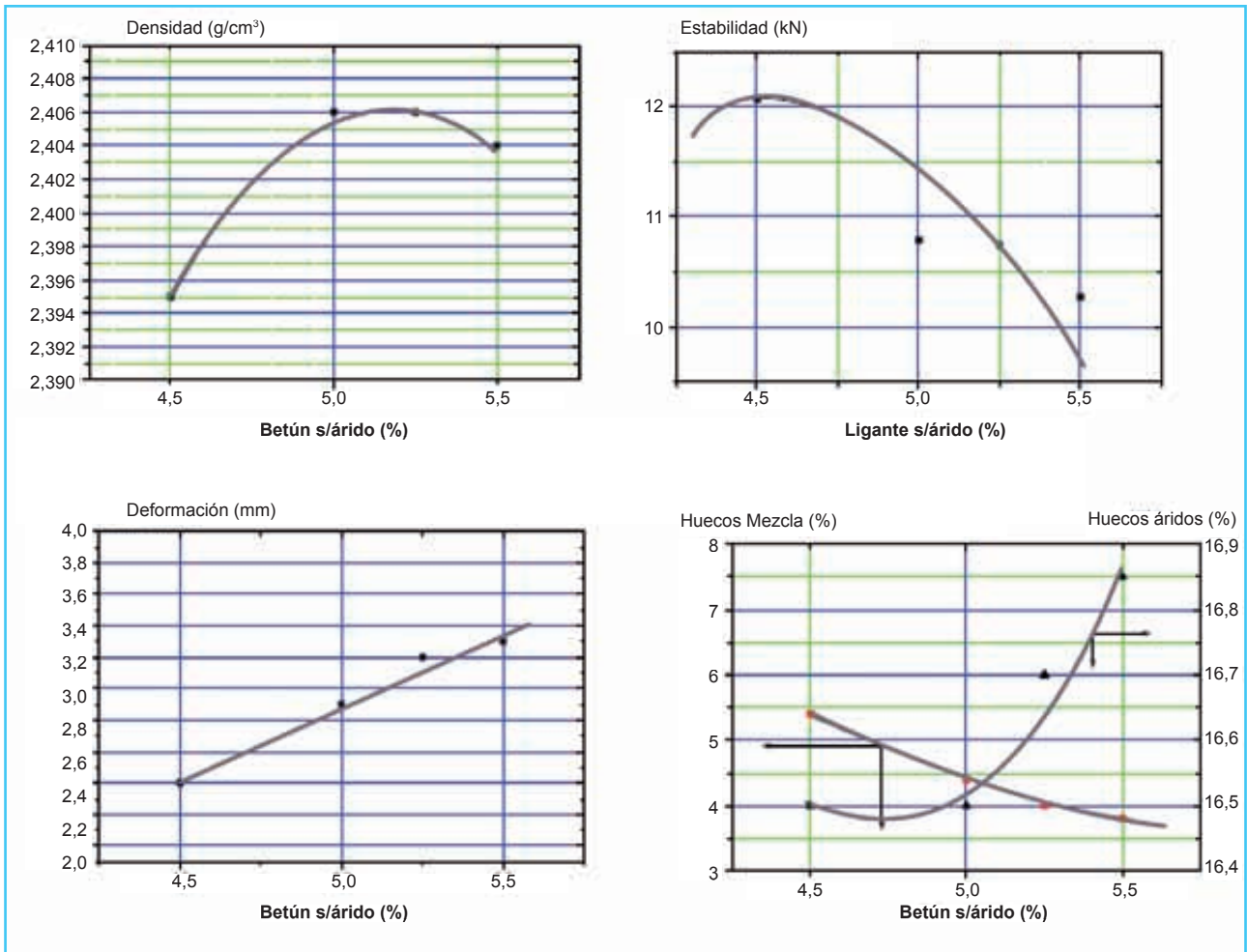


Figura 1. Ensayo Marshall de los ligantes sintéticos.

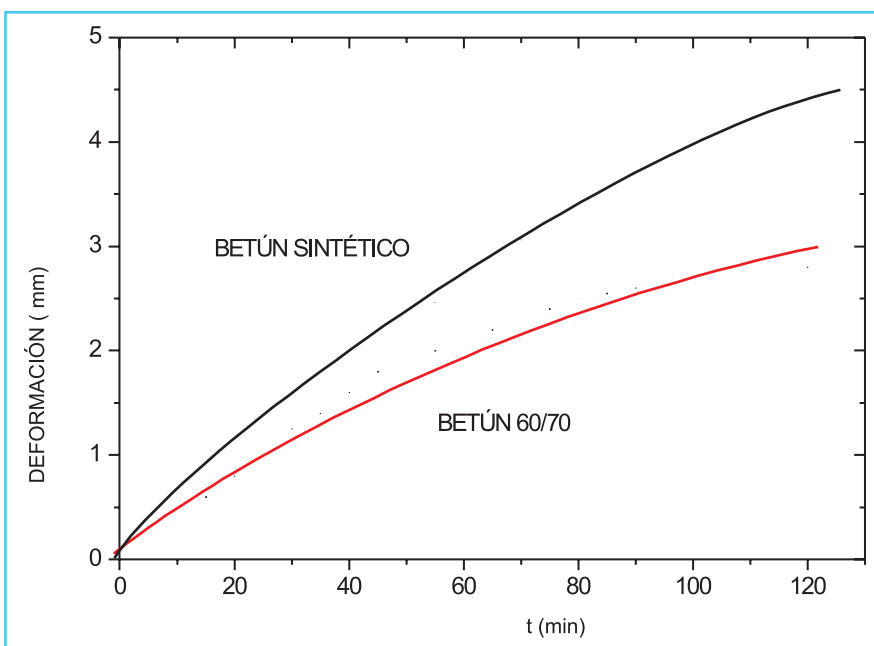


Figura 2. Resultado del ensayo en pista de laboratorio

mezclas convencionales ya que, por su elevado precio, su uso está restringido a capas de rodadura de espesor relativamente pequeño.

Este también es el propósito de la medida del módulo resiliente. En la Tabla 3, se recogen las medidas del módulo resiliente. Los resultados son similares a los obtenidos con betunes asfálticos convencionales.

Como resumen de todos los resultados presentados, podemos decir que las mezclas fabricadas con ligantes sintéticos pigmentables presentan características de mezclas asfálticas convencionales.

Mezcla	S-12
Temperatura de mezcla	150°C
Temperatura de compactación	140°C
Golpes por cara	75
Temperatura de medida	20°C

PORCENTAJE LIGANTE SINTÉTICO CLARO	DENSIDAD	MÓDULO, MPa
4,50	2,395	5952
5,00	2,406	5577
5,25	2,406	5794
5,50	2,404	5110

Tabla 3. Módulo resiliente.

TRATAMIENTOS EN FRÍO

Una de las aplicaciones de los betunes sintéticos es la fabricación de emulsiones de rotura lenta para la fabricación de lechadas bituminosas y de rotura rápida para tratamientos de riego con engravillado.

Hasta el momento, ha existido una profusión de aplicaciones de lechadas ("slurry seal") basadas en ligantes de naturaleza acrílica. Estos ligantes presentan al gran inconveniente de que se reblandecen en presencia de agua y al pasar por encima el tráfico rodado se disgregan arruinándose el tratamiento. Sin embargo la utilización de emulsiones de ligantes sintéticos vienen a resolver este problema (Foto 4).

En la Figura 3 se presentan los resultados obtenidos en un ensayo de abrasión de una lechada fabricada con emulsión de betún sintético. Los resultados son muy bajos, lo que demuestra el buen comportamiento en la aplicación de los ligantes sintéticos.

Consecuentemente las emulsiones de betún sintético suponen una alternativa tecnológicamente más avanzada que las emulsiones acrílicas y su utilización para la fabricación de lechadas evita los problemas de disgregación en presencia de agua (Foto 4).



Foto 4. Vía ciclista en carretera.

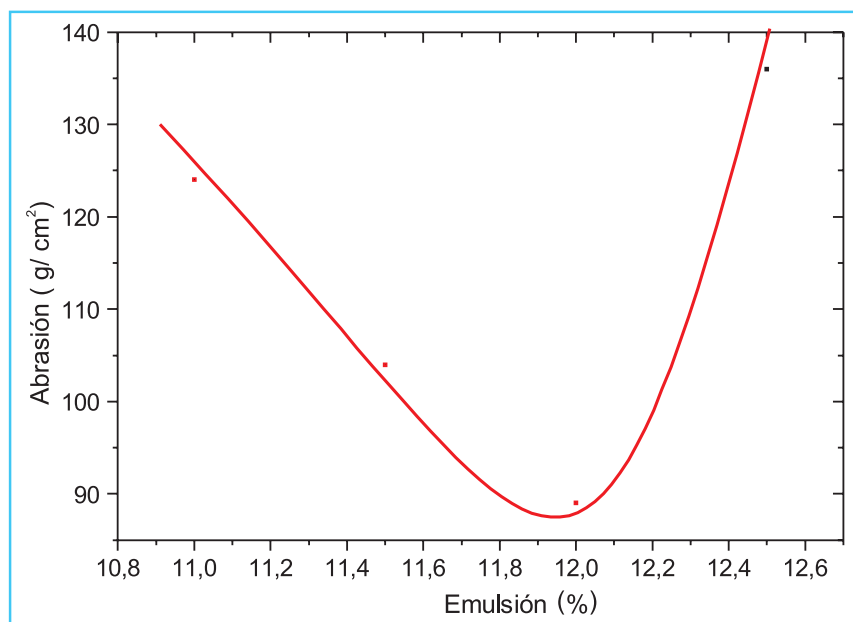


Figura 3. Resultados del ensayo de abrasión de una lechada de betún sintético.



Foto 5. La fabricación y ejecución de las lechadas se realiza mediante equipos y técnicas convencionales.

Ligante	SINTÉTICO (RECOFAL)			
Dotación	1,0 kg/m ²	1,1 kg/m ²	1,1 kg/m ²	1,3 kg/m ²
Fracción, mm	4/6,3	6,3/10	6,3/10	10/14
Adhesividad Vialit, %	100	100	100	97
Adhesividad Vialit tras 24 horas inmersión en agua 25°C	100	100	100	100

Tabla 4. Adhesividad Vialit.

En la Tabla 4 se indican algunos resultados de adhesividad Vialit de emulsiones de ligante pigmentable y áridos de la zona del Jarama. Los valores de adhesividad obtenidos son del 100% lo que demuestra la viabilidad de este tipo de ligantes para ser utilizados en riegos con emulsión.

Últimamente la aplicación de riegos con engravillado se ha realizado en zonas de particular interés ecológico como algunos caminos de parques. Estos tratamientos suponen una mejora sustancial de las vías en las que se

aplican respetando el entorno natural, ya que se suelen utilizar áridos de color muy parecido al de los caminos antes de ser pavimentados.

FABRICACIÓN DE LAS MEZCLAS Y PUESTA EN OBRA

Tanto la fabricación de las mezclas con áridos como de la emulsión se llevan a cabo por medio de equipos y técnicas convencionales (Foto 5). Únicamente es necesario



Foto 6. Aspecto final obtenido en una zona urbana en Tenerife.

tener la precaución de limpiar previamente todos los equipos que vayan a estar en contacto con el betún o la mezcla con áridos.

En algunos casos es conveniente proveer de depósitos y línea de alimentación a la planta de aglomerado independientes para asegurarse de evitar cualquier tipo de contaminación.

Operando de esta forma, se obtienen pavimentos con colores claros y brillantes con unas propiedades mecánicas excelentes (Foto 6).

CONCLUSIONES

Los ligantes sintéticos desarrollados presentan unas características muy cercanas a las de los betunes de penetración convencionales. Tanto en su mezcla con áridos como en su aplicación como emulsión su comportamiento es muy cercano al que se obtiene con los betunes convencionales, y los ensayos mecánicos indican que se cumplen adecuadamente las especificaciones.

A las excelentes propiedades mecánicas obtenidas, hay que añadir el excelente aspecto estético que se logra, ya que con el uso de estos ligantes se consiguen mezclas flexibles de cualquier color.

Estas conclusiones se ven confirmadas por la práctica. Las diferentes actuaciones realizadas suelen superar con creces las expectativas más exigentes.

porque lo más importante
no es el precio

Planta de Castraz

Extendedoras de aglomerado

Autovía Salamanca - Portugal

Potencial

- 485 trabajadores
- 23 instalaciones para tratamiento y transformación de áridos
- 430 vehículos entre maquinaria ligera, pesada y medios de transporte
- 30 millones de € de inversión en tecnología

Cantera de áridos y balasto en Guijuelo

Experiencia

- 2.200.000 metros de tubería y canalización
- 7.500 kilómetros de túneles, carreteras, caminos y vías
- 1.500 kilómetros de vías con subestructuras públicas
- 4.500.000 toneladas de aglomerado asfáltico en caliente
- 150.000 personas años en medio urbanizado por vivienda
- 10.000.000 m³ de movimientos de tierras
- 1.100.000 metros de bordillos colocados
- 1.700.000 m² de pavimentos y pavimentos
- 40 años desarrollando el sector de la sociedad

Solidez

Volumen de negocio

2003	11.000.000 €
2004	62.000.000 €
2005	15.000.000 €
2006	18.000.000 €

Producción

Áridos y balasto	1.000 Tm/h
Mezclas asfálticas	1.200 Tm/h
Cemento	2.500 Tm/h
Áridos con marcado CE	
Balasto homologado por ADIF	

Influencia de la mezcla asfáltica en la seguridad de los túneles



Effect of the asphalt on tunnel safety

Jesús Felipe Sanjuán

Director Técnico
Pavasal E.C.

Lucía Miranda Pérez

Directora de I+D+i
Eiffage infraestructuras

Marisol Abellaneda Oliva

Técnico AT+D -Asfaltos
Repsol YPF Lubricantes y Especialidades

Marisol Barral Vázquez

Jefa de I + D + i
Asfaltos Naturales de Campezo, S.A.

J. César Aroca Mondéjar

Jefe adjunto de maquinaria
Zona Castilla-La Mancha
Acciona

Francisco Javier Suárez Marco

Analista de Laboratorio
DITECPESA, S.A.

Juan José Potti

Gerente
ASEFMA

RESUMEN

En el presente artículo se tratan diversos aspectos de las mezclas bituminosas y su influencia en la seguridad en la pavimentación de túneles de carreteras, incorporando las conclusiones de diferentes estudios internacionales en relación con el comportamiento del pavimento bituminoso frente al fuego.

Palabras clave: Túnel, Mezcla asfáltica, Seguridad, Resistencia al fuego.

ABSTRACT

The article reports diverse aspects of the bituminous mixtures and their influence in the security in the paving of tunnels of highways, incorporating the conclusions of different international studies about the reaction to fire to the bituminous pavement.

Keywords: Tunnel, Mix asphalt, Security, Fire resistance.

En los últimos años se está produciendo un incremento muy importante de la longitud total de tramos de carretera en túneles, tanto interurbanos como urbanos, así como también un incremento del tráfico que circula por ellos, tanto transporte de mercancías como de vehículos ligeros.

Es por ello, y tras los accidentes ocurridos en los últimos años en túneles de carreteras, con elevadas pérdidas humanas y materiales, que se ha producido una gran concienciación social, así como una movilización de técnicos y responsables para mejorar la seguridad de los túneles.

Fruto de esta movilización ha sido la aprobación del *Real Decreto 635/2006* de 26 de mayo sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado transpuesto de la *Directiva 2004/54/CE* del Parlamento Europeo.

En este documento se establecen los requisitos mínimos de seguridad para túneles determinando la conveniencia de regular sus condiciones de diseño y explotación, con el fin de mejorar la seguridad de circulación en su interior, a través de acciones de prevención para obtener la reducción de las consecuencias de un accidente.

Fundamentalmente se aborda la seguridad desde los aspectos de la infraestructura propiamente dicha, la explotación de la misma, los vehículos que pueden circular por ella y los usuarios (Figura 1).

Centrándonos en el aspecto de la infraestructura, hay que destacar la importancia que tiene cualquier elemen-

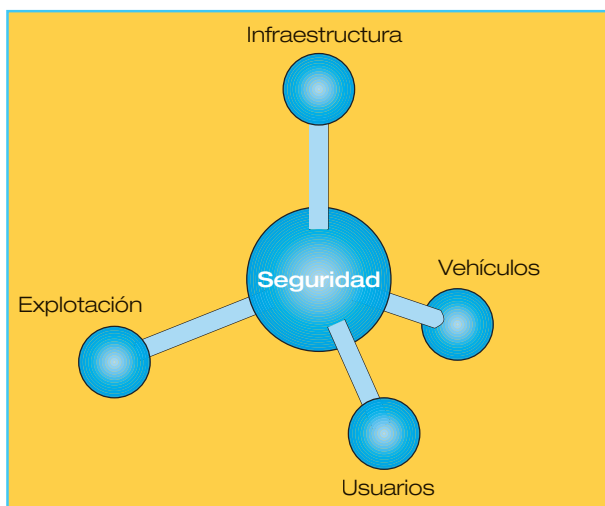


Figura 1. Aspectos a contemplar en la seguridad vial.

to de ésta que pueda afectar a la seguridad en el túnel, siendo el pavimento uno de los elementos que puede influir directamente.

En este artículo, se va a analizar el comportamiento de la mezcla asfáltica en la seguridad de los túneles, teniendo en cuenta el distinto *entorno* en el que se encuentran dichos pavimentos en relación con su situación habitual cuando se encuentran en tramos de carretera *al aire libre*.

Por ello existen características del pavimento que se convierten en relevantes cuando se trata de pavimentar túneles de carretera, que en el resto de zonas no serían tan importantes.

En este análisis, se van a distinguir diferentes características de las mezclas asfálticas que influyen en la seguridad tanto de la circulación en el interior de los túneles, como su respuesta en caso de accidentes.

En una primera parte se analizará una característica que se convierte en fundamental en el interior de los túneles, que es la resistencia al fuego de las mezclas asfálticas y su influencia en la seguridad en caso de incendio. También se analizará la influencia de algunas características superficiales, como la resistencia al deslizamiento y la regularidad superficial, las propiedades ópticas del pavimento, además de, relacionado con el confort de circulación, el comportamiento de las mezclas asfálticas frente al ruido de rodadura.

RESISTENCIA AL FUEGO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Uno de los aspectos fundamentales respecto a la seguridad de los túneles es el caso de su comportamiento frente al fuego, dadas las características especiales de estas infraestructuras, siendo los accidentes que mayores repercusiones tienen aquellos en los que se generan incendios en el interior de túneles.

Póngase como ejemplo el incendio en el túnel de Montblanc o en el de Tauern (Austria) ambos en el año 1999.

Existe un estudio sobre 34 grandes incendios ocurridos en los países de la OCDE desde 1949, del cual se pueden extraer conclusiones tales como que, aproximadamente el 40% de los incendios fueron provocados por colisiones entre vehículos, mientras que la mayoría fueron causados por algún tipo de problema técnico o eléctrico dentro del vehículo.

Para asegurar las medidas de seguridad en los túneles uno de los requisitos que se contempla en el *Real Decreto 635/2006* es el pavimento el cual deberá disponer de las garantías adecuadas para que, en caso de incendio, no dé lugar a una propagación de éste.

Para el caso de los pavimentos elaborados con mezclas asfálticas, y respecto a su resistencia al fuego, existen diversos estudios realizados por prestigiosas entidades, orientados a obtener respuesta sobre las preguntas más frecuentes, tales como:

- Al ser el pavimento de mezcla asfáltica, ¿se produciría una carga de fuego añadida y/o un desplazamiento del mismo?
- ¿Qué tipo de productos se producen en caso de incendio?
- ¿Cómo se comportará estructuralmente el pavimento tras el incendio?

En las líneas siguientes se van a exponer de forma breve las conclusiones obtenidas hasta el momento en algunos de los estudios realizados.

El *Instituto de Investigación Federal de Carreteras de Alemania (Bundesanstalt für Straßenwesen)* desarrolló un estudio sobre la reacción de las mezclas asfálticas frente al fuego, cuyas principales conclusiones son las siguientes:

- Las capas asfálticas, después de haberse quemado, ofrecían únicamente una decoloración oscura en su superficie.
- Las capas de base no se queman ni con una muy elevada y duradera influencia de las temperaturas, al igual que tampoco se rompen.
- Las capas asfálticas de soporte no son conductoras del fuego.
- Inmediatamente después de sofocar el incendio, se podría circular sobre las mezclas bituminosas, no existiendo problemas de paso para vehículos.
- En el caso de incendios en túneles de carreteras, únicamente existe peligro inmediato para las personas debido a las llamas y el calor en una relativa proximidad a la carga de fuego, no existiendo peligro de inhalación de gases tóxicos que puedan ser producidos por el calentamiento de la mezcla asfáltica.

- Según la norma *DIN 4102*, la mezcla asfáltica es un producto muy poco inflamable.
- Debido al escaso porcentaje de betún en la mezcla y a la estabilidad calorífica del producto, no se producirá ningún reblandecimiento digno de mencionarse en el pavimento.

En definitiva, y después de los ensayos realizados, así como el conocimiento derivado del estudio de los incendios, se puede decir que la aplicación de pavimentos de mezclas asfálticas en túneles no implica más peligro que el que pueda tener lugar en un pavimento que haya sido fabricado con hormigón.

Otro informe a destacar es el realizado por el *CSTB* francés, a petición del *USIRF / Route de France*, cuyas conclusiones más importantes son:

- Un revestimiento asfáltico no se incendia fácilmente, y es necesaria una temperatura muy elevada para que se produzca la auto ignición.
- En las pruebas realizadas aplicando fuego sobre el pavimento asfáltico, se puso de manifiesto que sólo la parte superficial del pavimento participa en el incendio, formándose solamente una corteza inerte en la superficie debida a los residuos de la combustión.
- Los gases producidos en la combustión del pavimento asfáltico, en el caso de incendio, son muy bajos comparados con los que se producen por la combustión de los vehículos que han participado en el incendio. Por ello la cantidad de gas producido y el calor generado no aumenta la inseguridad ya existente, debido al fuego, para los usuarios durante su fase de evacuación.
- Finalmente, diferentes pruebas realizadas mostraron que no se produce una propagación del fuego sobre los pavimentos asfálticos.

De acuerdo con diferentes estudios y ensayos realizados para analizar la problemática de los incendios en el interior de los túneles, en la Tabla 1 se pueden ver las diferentes temperaturas alcanzadas a varias distancias en función del tipo de vehículo que se incendia.

Respecto a las temperaturas alcanzadas en el interior de un túnel por la acción de un fuego, se han realizado estudios a partir de los cuales se han diseñado distintas curvas para representar la evolución de la temperatura con el tiempo (Figura 2). En todas ellas (*RWS, Eurocode 1, HCM, ZTV*) a los pocos minutos de iniciarse el incendio

Nuevos caminos, nuevas soluciones



 **EIFFAGE**
INFRAESTRUCTURAS

Panasfalto, Rus y Trialsa, empresas líderes en infraestructuras y obra civil del grupo Eiffage, son a partir de ahora *Eiffage Infraestructuras*. Una marca nueva para una imagen renovada adaptada a los nuevos tiempos.



EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS
CENTRO NORTE (PANASFALTO)

Pol. Ind. Vicálvaro C/ Mir s/n
Apto de Correos 49-018 c.p 28052-MADRID
tel. 917 765 521 fax. 917 765 178

EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS
SUR (RUS)

Pol. Industrial Carretera de la Isla- Parcela E-L.3
c.p 41703 DOS HERMANAS- SEVILLA
tel. 954 610 400 fax. 954 610 112

EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS
CENTRO-NORTE (TRIALSA)

Poligono Industrial Campollano C/ F nº 9.
c.p 02007 ALBACETE (España)
tel 967210212 fax. 967241832

Vehículo	10 m	100 m	200 m	400 m
Ligero	400 °C	150 °C	80 °C	40 °C
Pesado	700 °C	250 °C	120 °C	60 °C
Cisterna	1000 °C	400 °C	200 °C	100 °C

Tabla 1. Temperaturas alcanzadas a diferentes distancias del incendio en ensayos EUREKA.

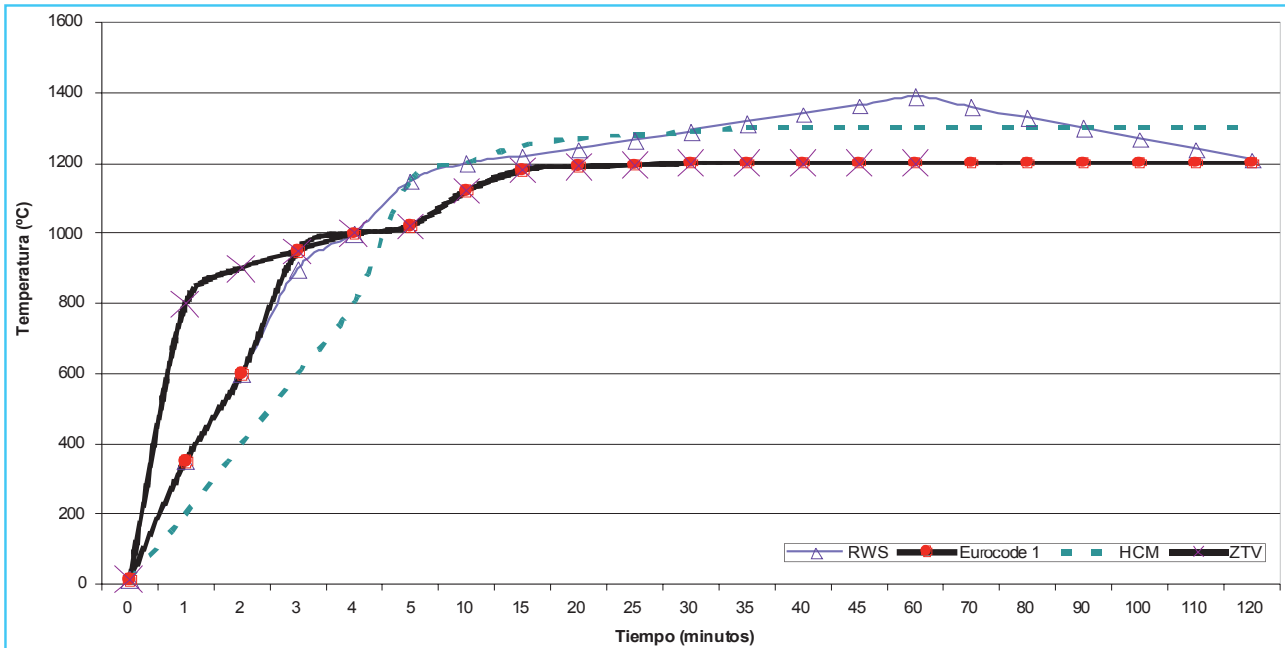


Figura 2. Curvas de evolución de la temperatura con el tiempo.

se alcanzan los 800°C, y además, se superan los 1000°C antes de los diez minutos.

Al analizar el comportamiento del hormigón a estas temperaturas podríamos ver que, además de que, alrededor de los 150-200°C comienza la rotura superficial de lasajitas pequeñas ("spalling"), que salen disparadas, generándose un riesgo que reduce los espesores y llega a descubrir las armaduras, el hormigón va perdiendo resistencia a compresión a partir de los 300°C, llegando a la pérdida de la práctica totalidad de la resistencia a compresión alrededor de los 800°C / 900°C (Tabla 2).

En definitiva, viendo las conclusiones obtenidas en los diferentes estudios se puede decir que la pavimentación de túneles con mezclas asfálticas no incrementa el riesgo en caso de incendio, comparado con otras soluciones que se puedan emplear con el mismo fin.

Por otro lado desde el punto de vista normativo, en base a la certificación de la conformidad de productos de construcción y con arreglo a lo indicado en la Directiva 89/106/CEE, las mezclas asfálticas se encuentran sujetas a la clasificación en niveles respecto a su comportamiento frente al fuego, indicada en la Tabla 3.

Este tema queda recogido en las normas EN 13108, donde se definen las características que deben cumplir las mezclas asfálticas. En el apartado de reacción al fuego se establece que el comportamiento de estos productos frente al fuego podrá ser evaluado según lo indicado en la norma UNE EN 13501-1 en función de la clasificación de las Euroclases, donde se distinguen dos clasificaciones que son los productos que se colocan en el suelo y los que están en otra ubicación. El caso que nos ocupa corresponde a la clasificación de los materiales que se colocan en el suelo.

El sistema de Euroclases se basa en las prestaciones alcanzadas por un material tras ser sometido a un conjunto de ensayos.

Por todo ello la normativa europea de marcado CE de las mezclas asfálticas, cuya entrada en vigor de forma obligatoria está prevista para el primer trimestre del año 2008, contempla la posibilidad, dentro de la evaluación de sus características, de analizar su comportamiento frente al fuego, aspecto muy importante a tener en cuenta para su uso en la pavimentación de túneles, tal y como se ha comentado anteriormente.

RUIDO DE RODADURA

Cuando se habla de este tipo de característica del pavimento, debemos tener en cuenta que el ruido de rodadura tiene una vertiente de confort de circulación, y otra ambiental, relacionadas cada una de ellas con los diferentes receptores del ruido que se genera en la circulación de vehículos por las carreteras.

Por una parte nos encontramos con el ruido que percibe el ocupante del vehículo, cuya mayor o menor recepción va a estar directamente relacionada con el confort de circulación, mientras que por otra parte, nos encontramos con el ruido exterior, que es el que perciben los habitantes de las zonas colindantes a la carretera.

Existen unos determinados tipos de mezclas bituminosas, que por sus características, son capaces, por una parte de disminuir el ruido de rodadura generado, y por otra absorber parte del ruido generado, debido a sus características fonoabsorbentes.

En la percepción del ruido en el interior del vehículo influye no solamente el ruido generado por la rodadura sino también el generado por el propio vehículo y sus características de aislamiento.

Quizás el ruido de rodadura es el que más influye en el propagado al exterior en zonas pobladas.

Tal y como se puede ver en el gráfico de la Figura 3, si tomamos como punto de partida en la medida del ruido de rodadura las mezclas convencionales, diferentes estudios indican que los pavimentos porosos son los que más reducen dicho ruido, seguidos muy de cerca por las mezclas discontinuas finas. En la otra parte de la Figura 3, podemos encontrar los pavimentos más ruidosos, que son los adoquinados, los riegos con gravilla y los pavimentos de hormigón.

Pero, ¿qué nivel de importancia puede tener reducir en el interior de un túnel el ruido de rodadura cuando éste se genera en un lugar cerrado sin propagación al exterior? Pues bien, deberíamos distinguir relacionado con este aspecto, al menos, dos tipos de túneles; los que se encuentran en zonas donde sus bocas de entrada-salida no son pobladas, y aquellos que sus bocas se encuen-

Temperatura (°C)	Efecto físico-químico
0-100 °C	Muy escaso
100-150 °C	Pérdida de agua capilar y de adsorción
300 °C	Comienzo de la pérdida de resistencia del hormigón con áridos silíceos
400 °C	Disociación de hidróxido de calcio. Roturas de la grava.
600 °C	Fuerte incremento de la fluencia.
700 °C	Disociación del carbonato cálcico
800°C	Pérdida total del agua de hidratación
1200 °C	Comienza la fusión

Tabla 2. Comportamiento del hormigón ante el fuego.

Producto	Uso previsto	Niveles o clases
Mezclas asfálticas	Para usos sujetos a la reglamentación de reacción al fuego	A _n (1), B _n (1), C _n (1)
Productos para capas de rodadura		A _n (2), B _n , C _n (2)
		A _n (3), D _n , E _n , F _n

Tabla 3. Niveles de reglamentación de reacción al fuego (Directiva 89/106/CEE).

tran en zonas habitadas, como pueden ser túneles urbanos. Y esta distinción debemos hacerla debido a que en las bocas de los túneles se produce el *efecto tova*, que incrementa el ruido generado por el tráfico en las bocas de entrada y salida de los túneles (Figura 4). Es por ello que en las zonas cercanas a poblaciones, donde el ruido propagado por las bocas de los túneles puede ser perjudicial, se debe pensar en pavimentos que en el interior del túnel puedan reducir la contaminación acústica, siendo pavimentos que generen poco ruido.

En este caso podríamos estar hablando de mezclas discontinuas finas, debido a que, aunque las mezclas porosas tienen un buen comportamiento frente al ruido, su porosidad se puede convertir en una importante desventaja al considerar la dificultad añadida que presenta este tipo de pavimentos ante posibles vertidos, ya que no sólo es difícil eliminar dichos vertidos, sino que además se puede convertir en una vía de acceso a capas inferiores e incluso distribuir el vertido a una mayor zona del pavimento.

Por todo lo anterior parece recomendable el empleo de mezclas que puedan reducir el ruido de rodadura generado sin permitir el paso de vertidos a su través; en este caso el tipo de mezclas que parece que mejor se adapta a estas condiciones es el de las mezclas discontinuas finas no considerando recomendables las mezclas porosas en el interior de los túneles.

En túneles donde las bocas de entrada y salida no afectan a poblaciones, podemos considerar los pavimentos silenciosos para el ocupante del vehículo, mejorando de forma sustancial el confort en la conducción.

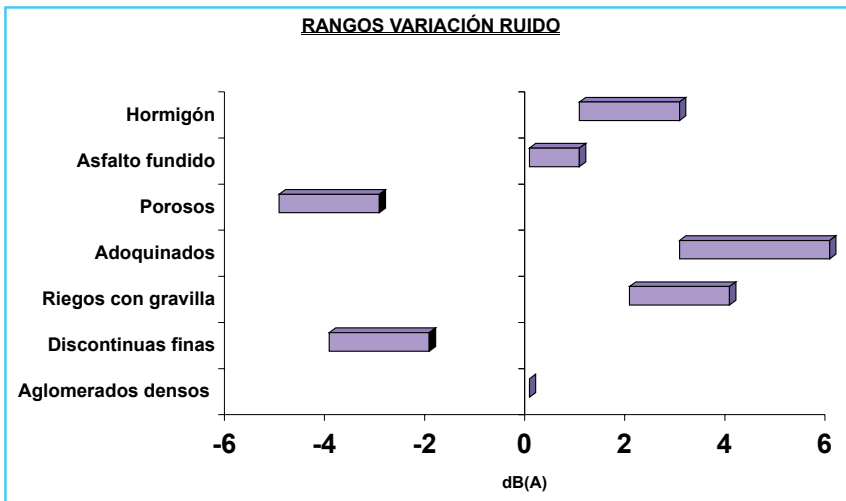


Figura 3. Variación del ruido producido por distintos pavimentos viarios.

- Aumentar el efecto atractivo de zonas deportivas.
- Disminuir el impacto ambiental en vías verdes, parques naturales, jardines.

En el *Congreso del Comité Internacional para la prevención y Extinción del fuego (CTIF)* celebrado en Suiza en el 2002 se comentaba que el pavimento de túneles, entre otras cosas debe presentar una tonalidad clara para mejorar la visibilidad.

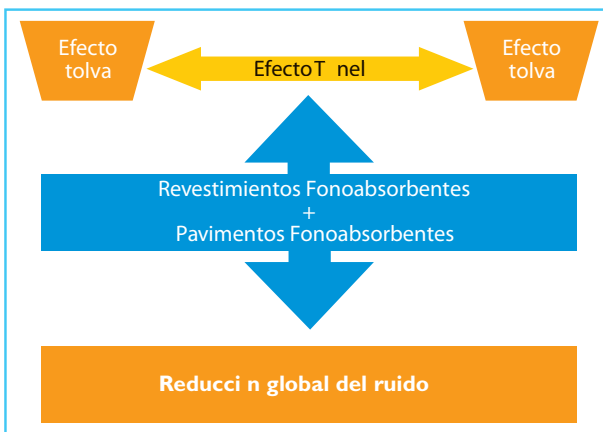


Figura 4. Efecto tolva en las bocas de los túneles.

Como consecuencia de las causas anteriormente citadas, desde hace varios años se llevan empleando mezclas coloreadas, cuyas características técnicas son similares a las de las mezclas convencionales, con la ventaja de poder colorear la superficie.

¿En qué consisten estas mezclas bituminosas coloreadas? ¿Cómo se fabrican?

La mayoría de las mezclas bituminosas coloreadas se realizan mediante la adición de un polvo de un pigmento, normalmente inorgánico (óxidos de metales), durante las operaciones de mezclado del betún con el árido. Este proceso cuando se realiza con betún asfáltico convencional lleva una serie de limitaciones en cuanto a la gama de colores a obtener, restringidos al rojo o tonos grisáceos. Además, se necesitan altas cantidades del pigmento para conseguir una coloración apreciable. Esto se debe principalmente a los asfaltenos (componentes de los betunes asfálticos) que son los responsables de la dificultad de coloración del betún asfáltico convencional ya que éstos al ser sólidos de color negro impiden y ocultan el desarrollo de color del pigmento.

Desde hace años, se han venido realizando investigaciones para lograr un betún *claro*. En la bibliografía, se encuentran estudios donde se analizan procesos de eliminación de los asfaltenos del betún; sin embargo esta técnica puede tener una influencia negativa en las propiedades reológicas del mismo, por lo que en la práctica no se utilizan. Otra alternativa son los ligantes *adhesivos* que consisten en sustancias poliméricas que además son el medio de dispersión del pigmento. Sus propiedades mecánicas son más de resistencia al desprendimiento que de resistencia a la carga como es el caso de las capas asfálticas. Por último, lo que hoy en día se utiliza para la pavimentación de carre-

PROPIEDADES ÓPTICAS

La apariencia de los pavimentos bituminosos, de color negro con marcas viales blancas, es habitual y comúnmente aceptada en nuestra sociedad. Sin embargo, hay casos en los que el color negro de los pavimentos no es el más adecuado por motivos estéticos, ambientales o de seguridad. Los diferentes motivos por los que se busca *colorear* el pavimento son:

- Alertar al tráfico de situaciones con riesgo aumentando la seguridad vial en cruces, carriles de bicis, autobuses, ..., etc.
- Mostrar diferentes zonas de uso de los pavimentos, como aparcamientos, vías de servicio, etc.
- Aumentar la visibilidad en zonas donde se necesitan ciertas precauciones como túneles, pistas de aterrizaje, ..., etc.

Construimos Soluciones

- **Obra civil**
- **Firmes y pavimentos**
- **Conservación viaria**
- **Gestión de infraestructuras**
 - **Tecnología viaria**
 - **Medio ambiente**
 - **Rehabilitación de edificios**
 - **Servicios**
 - **Canteras y graveras**



GUIPÚZCOA



PAÍS VASCO
CASTILLA LEÓN
NAVARRA
LA RIOJA



ÁLAVA



GUIPÚZCOA



CASTILLA LEÓN



VIZCAYA



PAÍS VASCO



ÁLAVA





Foto 1. Vista de uno de los túneles de la M-30 construidos en Madrid.

teras coloreadas es lo que se conoce como *ligante sintético*.

Los ligantes sintéticos proporcionan la forma más fácil de coloración de los pavimentos viales. Estos ligantes sintéticos consisten en mezclas de sustancias aceitosas, resinas y en algunos casos polímeros que forman un sistema compatible.

Su coloración es fácil ya que presentan tonos claros de color acaramelado y con pequeñas cantidades de pigmento de alrededor del 1-3 % se obtienen colores de tonalidades aceptables en casi toda la gama cromática, además de aportar las propiedades mecánicas como si se tratara de una mezcla a base de betún asfáltico.

Otro componente de las mezclas bituminosas y que se encuentra en mayor proporción es el agregado mineral o árido, que desempeña un papel importante en dichas mezclas y que hay que tenerlo en cuenta a la hora de fabricar una mezcla bituminosa coloreada, ya que la coloración propia de los áridos a emplear en las mezclas bituminosas juega un papel importante en relación con la

tonalidad final deseada, por lo que no debe ser desdeñada su importancia.

En lo que respecta a la visibilidad, desde hace años las mezclas bituminosas coloreadas permiten dar una respuesta adecuada a este punto, tan fundamental en el interior de los túneles, tanto para la seguridad como para el consumo energético de iluminación, tema que posteriormente se tratará con mayor extensión.

El color de la carretera viene a ser un aspecto valorado por el usuario y crea un impacto cromático que colabora incrementando la seguridad vial, además de lograr valores añadidos, estéticos y ambientales, sobre todo en determinadas situaciones (Foto 2).

Investigaciones realizadas sobre nuevos ligantes sintéticos y una buena selección de los áridos y de los pigmentos colorantes ha permitido el desarrollo de una gran y variada paleta de colores y con distintas tonalidades en el mundo viario.

Otra variante a este tipo de mezclas, menos desarrollada en España, es la micro-incrustación de áridos claros para cubrición, que consiste en la adición de un árido fino claro, en la fase de compactación⁽¹⁾ sobre la mezcla extendida.

La aplicación de estos aglomerados coloreados se centra en tres grandes dominios: la ciudad, túneles y acondicionamiento de las vías en campo abierto⁽²⁾.

Para indicar las ventajas que ofrece este tipo de pavimentos en túneles (Foto 3), debemos primero exponer algunas consideraciones en relación con su iluminación. Con la iluminación de túneles se busca proporcionar condiciones de seguridad, visibilidad, economía y fluidez al tráfico. Para realizar una iluminación adecuada será necesario analizar los problemas que representan los



Foto 2. Pavimentación con mezclas asfálticas coloreadas.



Foto 3. Túnel de Tuiro en la carretera N-630 León- Oviedo (España).

Pavimentado con una mezcla bituminosa blanca tipo D-12.



Foto 4. Aspecto interior del túnel de Somport.

túneles para los vehículos en condiciones de día y/o de noche:

- **Iluminación diurna.** Cuando nos aproximamos a un túnel de día la primera dificultad que se encuentra el conductor es el llamado *efecto del agujero negro*. En él, la entrada se presenta como una mancha oscura en cuyo interior no podemos distinguir nada, debido a que la luminancia ambiental es muy superior que la de la entrada. Si la transición es muy rápida comparada con la diferencia de luminancia entre el interior y el exterior el conductor sufrirá una ceguera momentánea, hasta que se adapte la visión a las nuevas condiciones de luminosidad. Por ello, principalmente en la entrada se debe iluminar adecuadamente el túnel pasando progresivamente a ir reduciendo, en túneles largos, la luminancia, puesto que mantener la longitud total del túnel iluminada como en el exterior puede ser antieconómico.

- **Iluminación nocturna.** En ausencia de luz diurna basta con reducir el nivel de luminancia interior del túnel hasta el valor de la iluminación de la carretera donde se encuentra, evitando así problemas de adaptación.

Basándonos en las consideraciones anteriores, es interesante el empleo de este pavimento asfáltico con color principalmente por dos motivos bien diferenciados:

- El primero es la *mejora de la seguridad vial* mediante:
 - » Reducción del *efecto agujero negro* comentado anteriormente. Este efecto se considera tan importante que el *Centro de Estudios de Túneles (CETU)* incluirá en una guía la recomendación de la aplicación de este tipo de pavimentos claros, en vista de los resultados de diversos estudios donde la colocación de estas mezclas claras en los primeros 200 m de un túnel ha demostrado la mejora de la reducción del efecto agujero negro.
 - » Mejora de los contrastes y, en consecuencia, de la percepción de los obstáculos.
 - » Mejora de la sensación de confort en el interior de un espacio cerrado.
- Y en segundo lugar la *reducción de la energía luminosa* instalada para un mismo nivel de luminancia y en consecuencia disminuye los costes energéticos durante la vida útil del mismo. Existen diferentes métodos capaces de cuantificar *a priori* cual será el ahorro energético que se producirá en función de la coloración del pavimento.

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Es esta una de las características más importantes en la seguridad de circulación, ya que la disminución de la adherencia entre el neumático y el pavimento genera pérdida de control sobre el vehículo y por lo tanto grandes riesgos de sufrir accidentes.

Como es bien sabido existen diferentes factores que influyen en la mayor o menor adherencia entre el neumático y el pavimento; de entre los factores que dependen del pavimento podemos destacar los siguientes:

- La naturaleza y características de los áridos. Cuando nos encontramos con áridos más resistentes al pulimento, mayor es la resistencia ofrecida a pulirse y mayor resistencia al deslizamiento encontramos en estas carreteras.

- Macrotextura del pavimento. En general, cuanto mayor macrotextura tengamos mejores resultados de resistencia al deslizamiento tendremos.
- La mayor o menor rapidez en la eliminación de la película de agua superficial. El agua superficial puede perder de forma importante la adherencia disminuyendo la resistencia al deslizamiento.

Hay que destacar que, de forma general, cualquier tipo de pavimento en seco ofrece buenas características de resistencia al deslizamiento, apareciendo los problemas en caso de lluvia, cuando hace su aparición el agua en la superficie del firme. Es aquí donde los demás parámetros se convierten en fundamentales.

Teniendo en cuenta que el pavimento en el interior de los túneles no suele tener agua en superficie, esta última característica de eliminación del agua superficial se convierte en menos importante, debiendo darle mayor peso a alcanzar mejores valores de macrotextura y de microtextura.

Existen una gran variedad de tipos de mezcla bituminosa que podrían cumplir con gran eficacia con estas características, destacando, quizás, las mezclas discontinuas para capas finas, que, además de permitir recrecimientos mínimos, en el caso que sean posibles o fresados también mínimos, dan unas características de

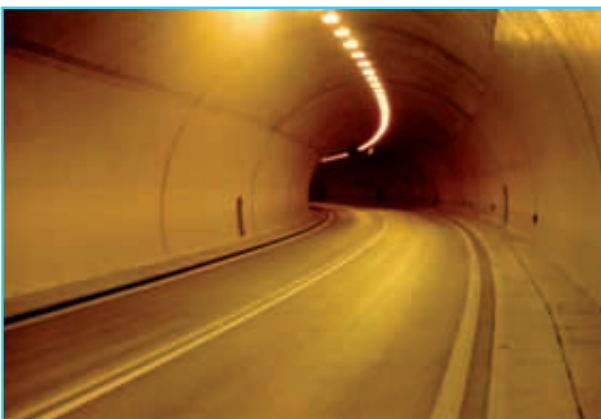


Foto 5. Aspecto interior de un túnel suizo.



Foto 6. Aspecto interior de los túneles de la M40 en Madrid.

macrotextura muy buenas, mejorando la resistencia al deslizamiento del firme.

REGULARIDAD LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL

La regularidad superficial de los firmes es una de las características que influye de forma directa en el confort de circulación del usuario sobre el firme.

Si las irregularidades que pueda tener el pavimento son muy importantes pueden llegar a influir en la seguridad, pudiendo llegar a afectar en la adherencia entre el neumático y el pavimento, incluso con el pavimento seco.

Es por ello que la regularidad superficial del pavimento es fundamental tanto para la comodidad como para la seguridad de circulación. Esta es una de las características cuya importancia no varía por ser ejecutado el pavimento en el interior o en el exterior de túneles, por lo que deberemos aplicar los mismos criterios en todos los casos.

Para el caso de túneles la regularidad superficial se puede conseguir tanto con la aplicación de capas bituminosas de pequeño espesor como conseguir ésta en superficies de hormigón cuyas características de regularidad superficial son corregibles con una capa de mezcla bituminosa.

Respecto al extendido de mezclas bituminosas en el interior de túneles pueden existir problemas generados por la necesidad de altura para la descarga de la mezcla en la extendidora al ser superior al gálbo disponible, realizándose muchas paradas en el extendido. Este problema puede ser resuelto con el empleo de camiones con menor necesidad de gálbo o incluso con camiones *eyectores*, que descargan el material sin necesidad de levantar la caja.

En cualquier caso, y cuidando adecuadamente la ejecución se pueden obtener buenos resultados tanto en el proceso de extendido como en el comportamiento del pavimento respecto a la regularidad superficial.

Además de las características anteriormente citadas no podemos terminar sin citar las ventajas que presenta el pavimento bituminoso tanto en facilidad de ejecución como en su mantenimiento y reparación. Es de destacar la posibilidad de recrecimiento en pequeños espesores con capas finas para la corrección de las características superficiales, así como también, en el caso de no existir

gálbo suficiente, el fresado de poco espesor para reponer con dichas capas finas.


CONCLUSIONES

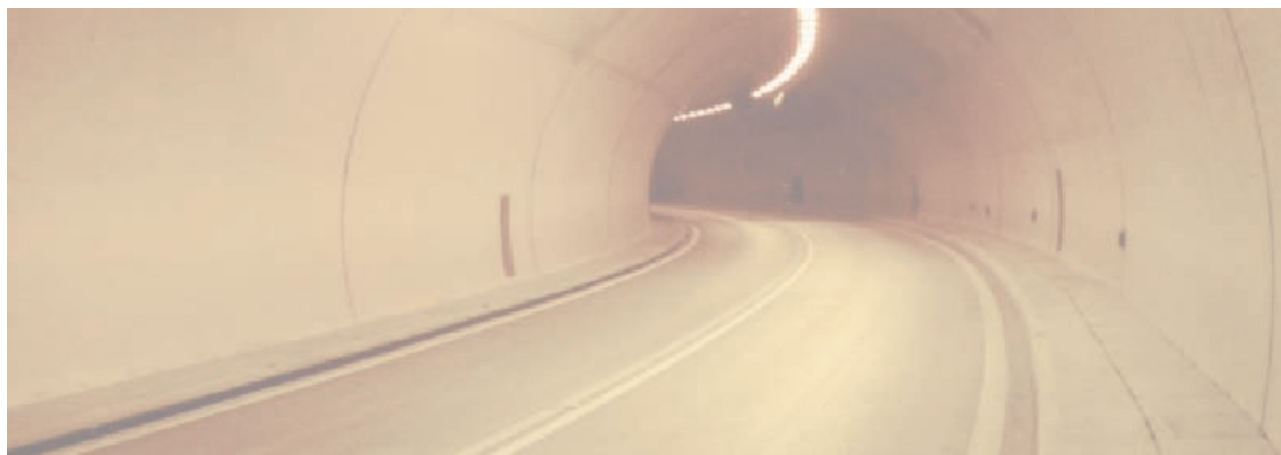
Los principales puntos que se pueden destacar son:

- En relación con la resistencia al fuego de las mezclas bituminosas existen diferentes estudios que concluyen que pavimentar con mezcla bituminosa no incrementa el riesgo en caso de incendio en el interior de túneles, comparándolo con otras posibles soluciones.
- Pavimentar con mezclas bituminosas ofrece confort y seguridad al usuario, así como puede disminuir de forma importante la contaminación acústica generada en la boca de los túneles por el *efecto tolva*.
- El empleo de mezclas coloreadas permite mejorar la seguridad, reduciendo el efecto *agujero negro* en la entrada, así como también puede reducir de forma importante el consumo energético empleado para la necesaria iluminación de los túneles.
- Existen grandes ventajas en la aplicación de mezclas bituminosas en el interior de túneles, facilitando su mantenimiento y reparación, así como mejorando de forma sustancial las características superficiales de los pavimentos.

Finalmente, y como hemos podido ver a lo largo de toda la exposición, la pavimentación de los túneles con mezclas bituminosas ofrece grandes posibilidades, existiendo diferentes soluciones para cada caso, en función de las necesidades, ofreciendo seguridad y confort al usuario en todos los casos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Potti J.J. "Innovaciones en mezclas bituminosas". Jornada sobre Novedades y alternativas en firmes y pavimentos. Madrid (2006).
2. Brosseau Y., Saint-Jacques M. "Empleo de los pavimentos bituminosos coloreados en Francia". Carreteras 131, 86-104 (2004).
3. Buron M. "Influencia del pavimento en la seguridad de los túneles frente al fuego". Congreso nacional de Firmes. León (2004)
4. Jofré C. "Construcción de pavimentos de hormigón en túneles". VII Congreso Nacional de Firmes. Ávila (2006).
5. Bundesanstalt für Straßenwesen. "Verhalten von Asphalt und betonbelägen bei tunnelbauwerken insbesondere im Brandfall".
6. CSTB. "Comportement au feu des enrobés bitumineux".
7. Romana Ruiz, M. "Obras civiles para la seguridad en la explotación de túneles". III Simposio Nacional de túneles. Pamplona (2003).
8. Alarcón E., Del Rey I. "La seguridad frente a incendios en túneles". III Simposio Nacional de túneles. Pamplona (2003).
9. Pérez Sobrino, A. "Protección pasiva en túneles". III Simposio Nacional de túneles. Pamplona (2003).
10. García Fernández, J. "Alumbrado de túneles". 



Estudio sobre el efecto de las segregaciones térmicas en la durabilidad de las mezclas bituminosas en caliente



Study on the effect of thermal segregations on the durability of hot mixed asphalts

José Miguel Baena Rangel^(a)

Jefe del Área de Tecnología y Estudios Varios
Centro de Estudios del Transporte del CEDEX

Jacinto Luis García Santiago

Director de Tecnología e I+D+i
SACYR

RESUMEN

Un problema recurrente y común en nuestras carreteras es la aparición de fallos prematuros en zonas localizadas del firme a causa de las segregaciones de la mezcla bituminosa, tanto las de composición, las denominadas granulométricas, como las de tipo térmico, algo menos conocidas pero no de menor importancia. Estas segregaciones térmicas, difícilmente identificables, dan lugar a áreas más frías en la capa extendida con respecto a las adyacentes, que pueden repercutir negativamente en la densidad final alcanzada durante la compactación, dando lugar a mezclas con menor densidad y peores características mecánicas.

En este artículo se identifican algunas de las principales causas de aparición de segregaciones de ambos tipos, y se proponen medidas prácticas para disminuir o eliminar su aparición. Por otra parte, se presentan algunos de los resultados provisionales de las investigaciones sobre segregaciones térmicas que están realizando conjuntamente CEDEX y SACYR, enfocadas hacia el estudio de la influencia de las segregaciones térmicas en las características de las mezclas bituminosas y en la regularidad superficial del firme, así como la búsqueda de procedimientos constructivos que minimicen o eliminen las segregaciones térmicas, y la definición de métodos eficaces de identificación y control de las segregaciones térmicas.

Los resultados provisionales de estos estudios parecen indicar que la menor densidad de las mezclas bituminosas derivada de las segregaciones térmicas afecta negativamente a las características de las mezclas (módulo, resistencia a fatiga, resistencia a la disgregación, etc), que la regularidad superficial del firme empeora cuando se producen este tipo de segregaciones, que existen ya algunas técnicas avanzadas, como las basadas en la termografía de infrarrojos, que permiten su identificación y control, que la utilización de equipos de transferencia de material (MTD) elimina o minimiza su aparición, y que el efecto de las segregaciones térmicas sobre las características de las mezclas bituminosas en términos de durabilidad y regularidad se puede minimizar considerablemente si se obtiene un alto grado de precompactación inicial en el extendido.

Palabras clave: Mezcla Bituminosa, Mezcla en caliente, Segregación, Segregación termica, Construcción, Firme bituminoso, Transfer, Equipo de transferencia de material.

(a) Este autor desarrolla sus funciones desde mayo de 2007 en el Área de Gobierno de Obras y Espacios Públicos del Ayuntamiento de Madrid.

LA SEGURIDAD

no se da por Accidente



SICHERHEIT
ist kein Zufall

Sikere handling av Betonen



VEILIGHEID
is geen Toeval

Veilig Omgaan met Betonnen



OHUTUS
ei ole juhus

Ohutuksella ohuun käsittelyä



LA SEGURIDAD
no se da por Accidente

Manipulación Segura del Betón



SIKKERHET
ei 2020 Ulykker

Ekker Handling av Betonen



SAFETY
is no Accident

Safe Handling of Bitumen



LA SECURITE
n'est pas le Fruit du Hasard

Manipulation sécurisée du Béton



BEZPIECZENSTWO
to nie przypadek

Bezpieczalność Pracy z Betonom



TURVALLISUUS
ei tulla Vahingossa

Bitumin Turvallisella Käsitelyllä



SIKKERHED
er ikke et Udfald

Sikker Handling af Betonen



Manipulación Segura del Betón

Puede descargar más información en www.nynas.com



ABSTRACT

A recurrent and common problem on Spanish roads is the appearance of premature failing in localised pavement areas as a result of segregations in the asphalt, both composition-based, the so-called granulometric segregations, and the thermal type that are somewhat less well-known but no less important. These thermal segregations are difficult to identify and give rise to colder areas in the asphalt layer compared to adjacent ones and these can have a negative effect on the final density achieved during compaction, producing asphalts that are less dense and have poorer mechanical characteristics.

This article identifies some of the major causes for the appearance of both types of segregation and proposes practical measures for lessening or eliminating their appearance. In addition, it reports on some provisional results of the research on thermal segregations being carried out jointly by CEDEX and SACYR, aimed at studying the effect of thermal segregations on the characteristics of asphalt mixes and on the surface evenness of pavements, as also on the search for construction procedures capable of minimising or eliminating thermal segregations and the definition of efficient methods for identifying and monitoring them.

Provisional results of these studies appear to indicate that the lower density of the asphalts derived from the thermal segregations has a negative effect on the characteristics of the mixes (modulus, fatigue strength and resistance to disintegration, etc.), that the surface evenness of pavements deteriorates when this type of segregation occurs, that some advanced techniques already exist – such as those based on infrared thermography – allowing this to be identified and monitored, that the use of a material transfer device (MTD) eliminates or minimises its appearance, and that the effect of the thermal segregations on the asphalt characteristics in terms of durability and evenness can be substantially minimised if a high degree of initial precompaction is achieved during the laying process.

Keywords: *Asphalt mix, Hot-mixed asphalt, Segregation, Thermal segregation, Construction, Bituminous pavement, Transfer, Material transfer device.*

La falta de homogeneidad de las mezclas bituminosas causada por la *segregación* de las mezclas bituminosas es bien sabido que constituye una de las causas principales de aparición de fallos prematuros en los firmes^(1,2,3). Tradicionalmente esta falta de homogeneidad se ha atribuido únicamente a las segregaciones granulométricas o de composición. Sin embargo, en los últimos tiempos son numerosos los estudios^(1,4,5) que vinculan estos defectos no sólo a este tipo de segregaciones sino a las denominadas *segregaciones térmicas* que se pueden producir durante la puesta en obra de mezclas en caliente.

Este tipo de segregaciones produce diferenciales térmicos en la capa bituminosa recién extendida que dan lugar a una falta de homogeneidad de la mezcla compactada ya que en aquellas zonas donde el material esté más frío se alcanzará menor densidad. Esta falta de densidad de algunas zonas tiene efectos negativos sobre las propiedades de la mezcla: huecos, resistencia al efecto del agua, módulo, etc, y por consiguiente sobre la durabilidad del firme^(6,7). Además, también disminuye la regularidad super-

ficial del firme, que a su vez está íntimamente ligada no sólo a la regularidad a largo plazo, sino también a la durabilidad del firme y los gastos de conservación asociados⁽¹⁾.

El CEDEX y SACYR han puesto en marcha una línea de investigación conjunta con objeto de estudiar el efecto de las segregaciones térmicas sobre la durabilidad y regularidad de las mezclas bituminosas en caliente, cuyo inicio tuvo lugar en 2004. En este artículo se expone un avance de los resultados y conclusiones del trabajo que se está llevando a cabo para el estudio de las causas, influencia y detección de segregaciones en las mezclas bituminosas en caliente.

Asimismo debido a la importancia que en las segregaciones ha demostrado tener el proceso constructivo, y en particular las reglas de buena práctica, se incluyen algunas recomendaciones para evitar en lo posible la aparición de este fenómeno, causa importante de disminución en la durabilidad de los firmes y aumento de sus costes de conservación. Además se plantean metodologías innovadoras para el control rápido y efectivo de las segregaciones durante la fase de puesta en obra de las mezclas bituminosas.

TIPOLOGÍA DE LAS SEGREGACIONES

Se pueden distinguir dos tipos de alteraciones de la homogeneidad de la mezcla: las segregaciones *granulométricas*, que de un modo general afectan a la composición de la mezcla, y las segregaciones de tipo *térmico*, que son debidas a diferenciales de temperatura en las capas bituminosas durante la fase de puesta en obra. Ambos tipos de segregación producen en la mayoría de los casos los mismos síntomas y provocan los mismos tipos de deterioros en el firme, tal y como se comenta posteriormente, por lo que en ocasiones se confunden.

1. Segregaciones granulométricas

Las segregaciones granulométricas (ver Foto 1) se pueden definir como la distribución no uniforme de los áridos finos y gruesos, en general de sus constituyentes, dentro de la mezcla bituminosa que da lugar a una falta de homogeneidad en las propiedades y características de la mezcla extendida de tal magnitud que provoque un acortamiento sensible de la durabilidad de las mezclas bituminosas⁽¹⁾.

Se pueden distinguir dos tipos de segregaciones granulométricas:

- Segregaciones con predominio de áridos gruesos: Ocurren cuando la granulometría tiene exceso de árido grueso y falta de árido fino con respecto a la definida en la fórmula de trabajo. Las mezclas se caracterizan por presentar bajo contenido de ligante, baja densidad, mayor contenido de huecos y textura rugosa. Como resultado las mezclas presentan menor resistencia frente a fenómenos de fatiga y deformaciones plásticas, y mayor susceptibilidad al agua^(1,2,3).
- Segregaciones con predominio de áridos finos: Ocurren cuando la granulometría tiene exceso de finos con respecto a la definida en la fórmula de trabajo. Las mezclas se caracterizan por presentar menos huecos, más contenido de ligante, baja densidad, textura fina, baja resistencia a las deformaciones plásticas y mejor



Foto 1. Segregaciones granulométricas visibles.

resistencia a fatiga, lo que puede dar lugar a roderas, fluencias y falta de textura^(1,2,3).

Debido a que la segregación con exceso de gruesos es generalmente la más destructiva, se suele considerar que existe segregación granulométrica cuando una muestra presenta una desviación de árido grueso (pasa por el tamiz 2 a 4 mm) igual o superior al 10% con respecto a la fórmula de trabajo⁽³⁾.

Las segregaciones de composición no sólo se pueden producir durante la fase del extendido sino que se pueden originar en operaciones anteriores como la carga del camión, la fabricación o, incluso, pueden provenir de los propios acopios de áridos. La utilización de determinados procedimientos de construcción o *reglas de buena práctica* está comprobado que elimina o al menos reduce las segregaciones y sus efectos negativos sobre el firme^(4,5).

2. Segregaciones térmicas

Este tipo de segregación se debe a diferencias importantes de temperatura (enfriamientos del material) de las mezclas bituminosas durante la pavimentación, provenientes generalmente de costrones fríos que se forman en la superficie de la mezcla bituminosa en caliente en las cajas de los camiones durante su transporte de la planta al tajo de extendido (ver Foto 2).

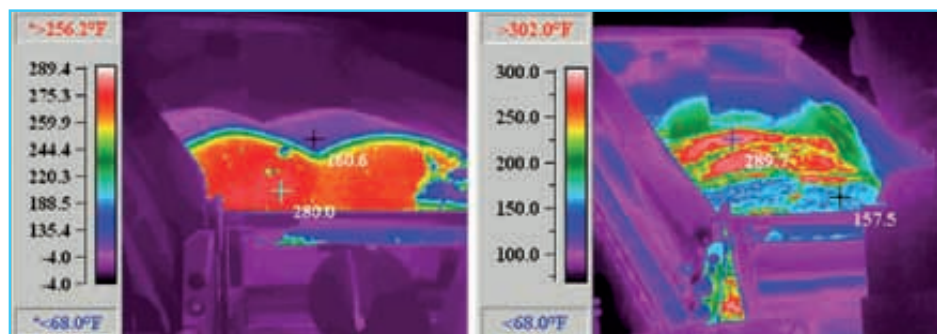


Foto 2. Enfriamiento de la superficie de la mezcla bituminosa en caliente (formación de costras) en la caja de los camiones durante su transporte al tajo de extendido.

También se forman por las paradas y arranques de la extendedora que originan enfriamientos del material delante de la regla de extendido⁽⁶⁾. Estas zonas se enfriarán más rápidamente que las circundantes generando problemas de falta de densidad, ya que los procedimientos de compactación están establecidos para unas temperaturas medias superiores. Por tanto se forman áreas aisladas con densidades inferiores que dan lugar a mezclas con menor durabilidad.



Foto 3. Fallos prematuros localizados debido a segregaciones térmicas.

La consideración de existencia de segregaciones térmicas problemáticas varía de unos autores a otros. Estudios realizados en los estados de Washington⁽⁷⁾ y Texas⁽⁶⁾ indican que diferenciales de temperatura superiores a 14°C son indicativos de eventuales cambios inaceptables en la densidad o desviaciones inaceptables de la fórmula de trabajo de la mezcla. Otros sin embargo⁽¹⁾ fijan el diferencial de temperatura en 10°C. El informe *NCHRP Project 9-11*⁽¹⁾ propone diferenciar entre tres niveles de segregación térmica en función de los diferenciales de temperatura. Se considera segregación térmica de poca importancia cuando los diferenciales térmicos están situados entre los 10 y los 16 °C, de importancia media cuando se sitúan entre los 17 y los 21°C, y de alta importancia cuando superan los 21°C.

Los fallos más habituales debidos a segregaciones térmicas (Foto 3) son alteraciones del grado de compactación debidas a enfriamientos localizados de la mezcla, lo que da lugar a áreas donde las mezclas tienen más huecos, menor módulo, menor resistencia a fatiga, mayor susceptibilidad a la acción del agua y la erosión, y peor regularidad superficial debido al asiento posterior que se produce en el material por la post-compactación de la mezcla debido al tráfico. Esta pérdida de regularidad inicial está además íntimamente ligada a la menor durabilidad de las mezclas bituminosas y a mayores gastos de conservación⁽¹⁾.

Se ha detectado que las causas más recurrentes de falta de homogeneidad térmica son las siguientes:

- Masas frías en el camión (ver Foto 2). Es la causa más frecuente por la presencia de *costras* frías en la masa de mezcla bituminosa transportada. Dependen del tiempo de transporte, el aislamiento de la mezcla, la climatología y la temperatura inicial de mezcla.
- Masas de mezcla enfriadas en la tolva de la extendedora. Se produce cuando la mezcla permanece en la tolva

de la entendedora hasta que se vacía cuando se abaten las alas, momento en el que se vuelcan al centro de la tolva y se transportan a la regla, por lo que tiene mayor enfriamiento que la mezcla que fluye directamente del camión al sistema de alimentación. Aquí influye también el tiempo de extendido de cada camión y las paradas de extendedora.

- Paradas de extendedora. La mezcla bituminosa se enfría en la tolva, en el sistema de alimentación, y detrás de la regla.

Las costras frías de la parte superior de la carga suelen fluir, en la descarga, hacia los lados de la tolva, donde se concentran y permanecen hasta que se termina de vaciar el camión, momento en que se *vuelcan* las alas de la tolva y se lleva esa mezcla a la regla; esa mezcla está mas fría, tanto por la presencia de los *costrones* citados como por el tiempo de permanencia en esa zona mientras dura la descarga del camión.

De ese modo, en cada final de camión, se concentran esas masas con mezcla más fría, dando lugar a áreas en el extendido con un diferencial de temperatura que puede ser acusado (la temperatura puede llegar a estar próxima o, incluso, por debajo de la temperatura límite de compactación) y repercutir fácilmente en que se obtengan, en esas zonas, menores densidades tras la compactación, con más huecos, lo que determina una menor durabilidad respecto al resto de la capa.

Si bien las segregaciones granulométricas son fácilmente evitables, ya que es cuestión de metodología y cuidado en las etapas de fabricación y puesta en obra, las de tipo térmico si se utilizan los procedimientos habituales de descarga directa de camión a extendedora, son más difíciles de evitar, fundamentalmente con mezclas fácilmente segregables y climatología adversa, tiempos de transporte largos o trabajos nocturnos.

PROBLEMATICA DERIVADA DE LA FALTA DE HOMOGENEIDAD DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

La falta de homogeneidad de las mezclas bituminosas producida durante la fase de puesta en obra provoca una problemática muy recurrente y común en nuestras carreteras como son los fallos prematuros en áreas

INNOVANDO SOLUCIONES ITS PARA EL TRANSPORTE

En GMV pensamos que detrás de cada necesidad, detrás de cada problema, hay un reto y una oportunidad para innovar. En GMV hacemos nuestros los retos de nuestros clientes, convirtiéndolos en un desafío a nuestra capacidad de innovación.

Nuestros sistemas SAE y soluciones ITS están concebidas para dar soporte a las necesidades operacionales de cada uno de nuestros clientes. Hacemos uso de productos existentes o desarrollamos otros completamente nuevos si ello es necesario para atender las necesidades singulares de nuestros clientes. Cubrimos todo el ciclo de vida, desde la consultoría e ingeniería inicial, el desarrollo de software y hardware, integración de sistemas, mantenimiento y soporte a las operaciones.



GMV SISTEMAS, S.A.
Calle Navarros 11 PTM, Tres Cantos, 28760 Madrid
Pl. Basilio Parra 101, 47101 Valladolid
Avda. Antonio Rosmini, Parque Central Begoa 2, 1º Pte., 41092 Sevilla
Calle 298 270 B1 Plaza, 08026 Barcelona
1175 Piccolo Dr., Suite 200, Rockville, MD 20850 USA
Av. Dr. José H. Lora 1, 1702, Torre Pinar de Magallanes, 11990-025 Júpiter, Mérida (Badajoz)
www.gmv.es

gmV
INNOVATING SOLUTIONS

específicas del pavimento (Foto 3) que presentan características deficientes debido a las segregaciones y en las que se producen fallos o alteraciones en su comportamiento.



Foto 4. Ejemplos del efecto negativo de la segregación de las mezclas bituminosas en su durabilidad.

Estas segregaciones provocan defectos en zonas localizadas del firme, continuos en

forma de franja longitudinal, o bien cíclicos, muy comunes asociados generalmente a los *finales de camión* . Estos deterioros tienen carácter prematuro, ya que aparecen considerablemente antes del general de la capa, y suponen la alteración del confort y seguridad del usuario precisando la anticipación de las operaciones de conservación (ver Foto 4).

Los fallos más significativos causados por las segregaciones se pueden agrupar en:

- Fallos *cíclicos* : Asociados a los finales de camión y que proceden de alteración de la composición de mezcla o del enfriamiento de la mezcla en la tolva y detrás de la regla de extendido tras paradas de la extendedora en las operaciones de entrada-salida del camión.
- Fallos *longitudinales* : Por un lado están los debidos a segregación de composición por una inadecuada operación o mantenimiento del sistema de alimentación de la regla. Sin ser exhaustivos se pueden citar los fallos en la prolongación de los sinfines del *túnel* con excesiva distancia al tope lateral, el desgaste de los álabes de los sinfines en la zona central de regla, el inadecuado diseño de éstos o la excesiva velocidad de los alimentadores de las bandejas desde la tolva, etc. Por otro lado, se encuentran los que se producen en las juntas longitudinales por defectos de compactación, en especial en la calle no confinada, con corte y remoción escaso o inexistente de la franja de borde compactada deficientemente.

- Fallos *aleatorios* : Debido a la presencia de masas frías no homogeneizadas en el contorno de la caja del camión o a enfriamientos de la mezcla bituminosa durante las paradas de la extendedora. Estos fallos suelen afectar a las dos rodadas.

Los fallos cíclicos asociados a los finales de camión se han atribuido siempre a segregaciones de tipo granulométrico. No obstante ciertas investigaciones⁽¹⁾ han demostrado que la mayoría de estos fallos ocurren sin que las mezclas presenten desviaciones granulométricas ni de contenido de ligante, sino que están asociados a segregaciones de tipo térmico.

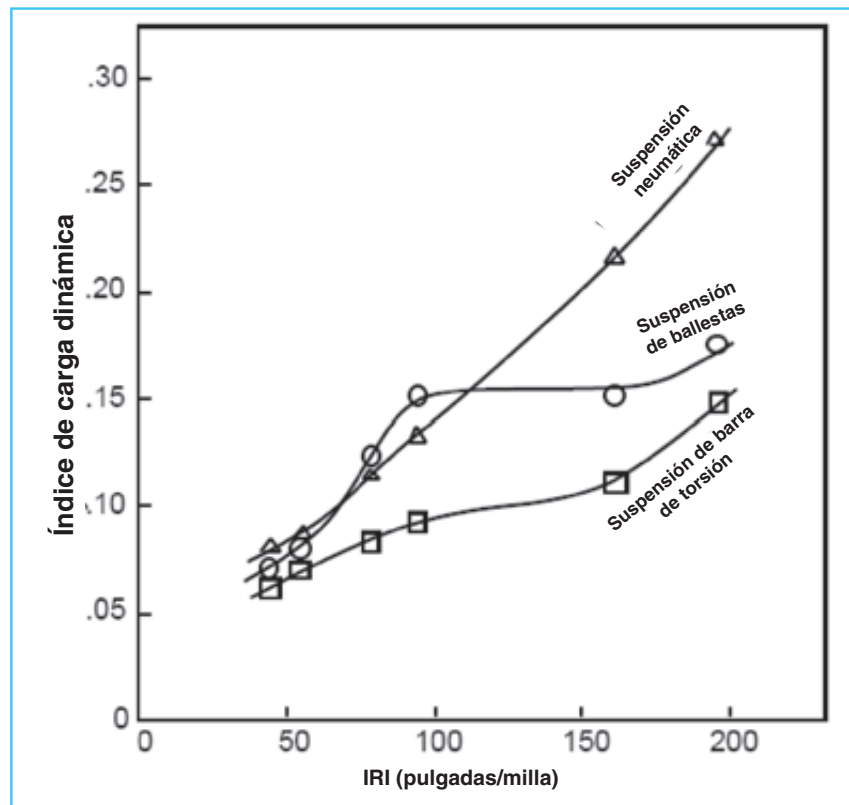


Figura 1. Relación entre el IRI y las cargas dinámicas de los vehículos pesados según tipo de suspensión⁽¹⁾.

SEGREGACIONES, REGULARIDAD Y DURABILIDAD DE LOS FIRMES

La regularidad superficial de un firme tiene una relación muy directa tanto con la comodidad y la seguridad del usuario, factores de sobre conocidos, como con la durabilidad de los firmes aspecto este menos conocido. La idea de que los firmes con mejor regularidad inicial presentan mayor durabilidad ya se sugería en la *guía AASHTO para el diseño de firmes* de 1993⁽⁶⁾. Investigaciones posteriores⁽¹⁾ sobre el efecto de las limitaciones de regularidad en los pliegos de especificaciones técnicas sobre el coste del ciclo completo de vida de los firmes apuntaron de nuevo a que las carreteras construidas con una mejor regularidad inicial tenían mayor vida útil.

Una de las principales causas parece ser la amplificación dinámica de las cargas de los vehículos pesados que se produce por efecto de las irregularidades superficiales de los firmes (véase Figura 1). Dichos estudios revelan que una mejora en la regularidad superficial inicial del 50% puede suponer un incremento de la durabilidad de los firmes entre el 18 y el 39%, en firmes flexibles, y hasta al 55%, en firmes de hormigón.

En este mismo informe se muestra la relación existente entre la regularidad superficial inicial y los costes medios anuales de conservación, viéndose claramente cómo éstos se incrementan conforme la regularidad inicial disminuye (véase Figura 2). Este mismo aspecto se refleja en estudios similares de la misma época.

Tal y como se ha comentado anteriormente, las segregaciones térmicas tienen gran influencia sobre la homogeneidad del grado de compactación alcanzado durante el extendido, por tanto sobre la regularidad superficial inicial, y en consecuencia sobre la durabilidad de los firmes y los gastos de conservación ordinarios.

IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS SEGREGADAS

La identificación de áreas segregadas no siempre es fácil y posible, en especial durante la puesta en obra. Existen varios procedimientos que pueden ser utilizados:

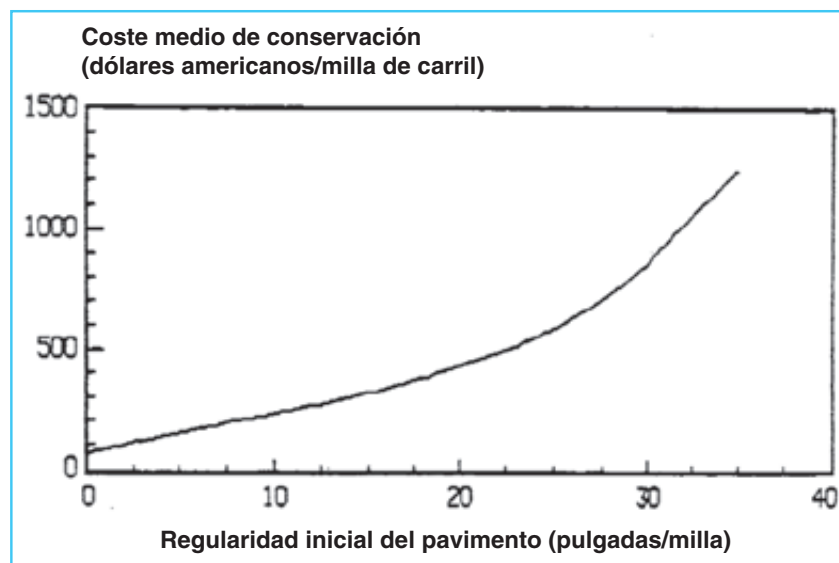


Figura 2. Relación entre la regularidad inicial y los gastos anuales de conservación (Janoff, 1991).

- **Identificación visual:** Es el procedimiento más utilizado, sin embargo su validez se limita a mezclas con tamaños máximos grandes y granulometrías gruesas o abiertas (por debajo de la línea de máxima densidad). En mezclas finas, o con granulometrías densas, las segregaciones son difícilmente visibles.
- **Termografía de infrarrojos:** Es una nueva tecnología que permite localizar detrás de la regla de extendido áreas del pavimento bituminoso recién extendido con un enfriamiento superficial más acusado, que frecuentemente está asociado a segregaciones, bien de composición, en cuyo caso confirma la percepción visual de la textura gruesa, o bien térmicas, inapreciables a simple vista y para las que realmente está indicado el procedimiento.
- **Medidas de textura:** La textura es un indicador de segregaciones granulométricas, por lo que la medida de textura bien mediante el método del círculo de arena o con texturómetros láser de alto rendimiento, es un procedimiento que permite localizar zonas con posibles segregaciones.
- **Medidas con GPR:** Esta técnica, tradicionalmente utilizada para estimar el espesor de las capas del firme, se puede usar para determinar la constante dieléctrica de la capa superficial bituminosa recién extendida, la cual según han demostrado estudios realizados en Finlandia⁽¹⁴⁾ y Texas (EE.UU)⁽⁶⁾ está directamente relacionada con el porcentaje de huecos en la mezcla. Estas correlaciones se deberían establecer en cada caso a partir de testigos extraídos *in situ*. Es una medida indirecta de la densidad pero el sistema es poco sensible a cambios en la composición de la mezcla.

- **Perfiles de densidades:** Partiendo de la hipótesis de que la segregación afecta a la densidad, mediante sistemas rápidos de medición de la densidad *in situ* (por ejemplo, los basados en resistividad como el *PQI* de la casa *TransTech*, o los tradicionales métodos nucleares) se pueden trazar perfiles de densidad para detectar áreas segregadas. Este procedimiento no permite distinguir entre segregaciones granulométricas y de tipo térmico. Además presenta el inconveniente de que cuando la variabilidad propia de la densidad de la mezcla es alta resulta complicado asociar las diferencias de densidad a fenómenos de segregación. Existen en el mercado algunos equipos nucleares superficiales que miden sólo en la capa superficial y eliminan así la variabilidad aportada por las capas inferiores (*Densímetro nuclear para capas delgadas 4640-B* de la casa *Troxler*).

- **Extracción de testigos:** Este método permite conocer la composición de la mezcla, esto es la granulometría de los áridos recuperados y el contenido de ligante, la densidad de los testigos y su contenido de huecos, todos ellos factores ligados a la segregación.

El problema de los cuatro últimos métodos es que además de ser poco operativos, corresponden al control del producto terminado. Se puede afirmar que no existen sistemas que por sí solos permitan detectar y cuantificar el nivel de las segregaciones durante la puesta en obra, salvo quizás las de gran magnitud. Resulta por tanto recomendable la utilización conjunta de varios de ellos. Un primer paso sería la localización preliminar de áreas segregadas con tecnología de infrarrojos o texturómetros láser para a continuación utilizar equipos para la medida de la densidad y el contenido de ligante. En cualquier caso el control de calidad debe orientarse más a establecer controles preventivos de modo que las prácticas y técnicas aplicadas en el proceso de fabricación y puesta en obra eliminen o reduzcan el riesgo de su aparición.

INNOVACIONES EN EL CONTROL DE SEGREGACIONES

1. Equipos de transferencia de material (MTV)

Los *equipos de transferencia de material* (ver Foto 5) se usan como ayuda en el extendido de las mezclas bitumi-



Foto 5. Equipo de transferencia ROADTEC SHUTTLE BUGGY SB25.

nosas en caliente. Proporcionan un volumen adicional de material que permite que la extendidora opere de forma continua sin paradas, minimiza el tiempo de espera de los camiones y, tal y como han demostrado numerosos estudios^(1,6,5) minimizan o eliminan las segregaciones, tanto térmicas como granulométricas, lo que redundará en una mejor durabilidad de la mezcla y permite obtener unos valores del IRI inicial superiores⁽⁶⁾. Esto es debido a que estos equipos son capaces de efectuar un remezclado y rehomogenización total, térmica y granulométrica, de la mezcla antes de su descarga a la extendidora a la vez que eliminan la posibilidad de segregaciones en la propia descarga.

2. Termografía de infrarrojos

La *termografía infrarroja* capta la radiación que emiten los cuerpos simplemente por estar por encima del cero absoluto, siendo innecesario el contacto físico con el elemento a medir, ni la estabilización de temperaturas, de esta forma, las medidas son rápidas, precisas y fiables. A partir de la radiación se puede estimar la temperatura de estos cuerpos.

La termografía de infrarrojos se ha mostrado como una herramienta muy eficaz para la identificación y control de las segregaciones térmicas, difícilmente visibles a simple vista. Existen dos posibilidades de utilización de esta técnica: trazando perfiles de temperatura con termómetros infrarrojos o utilizando cámaras de infrarrojos.

Con los termómetros infrarrojos se pueden trazar perfiles de temperaturas en la superficie de la mezcla recién extendida, y así localizar áreas con diferencias importan-

Emulsionantes:

ASFIER

Activantes de adhesividad:

ASCOTE

Aditivos:

PLASFALT

AL SERVICIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS

Kao Corporation, S.A.
Puig dels Tudons, 10
E-08210 Barberá del Vallés (Barcelona) Spain
Tel: +34/937399-300
Fax: +34/937399-377
e-mail: marketing@kao.es





Foto 6. Trazado de perfil de temperaturas con termómetros de infrarrojos convencionales (izq) y con el sistema PAVE-IR desarrollado en Texas, EE.UU. (dcha).

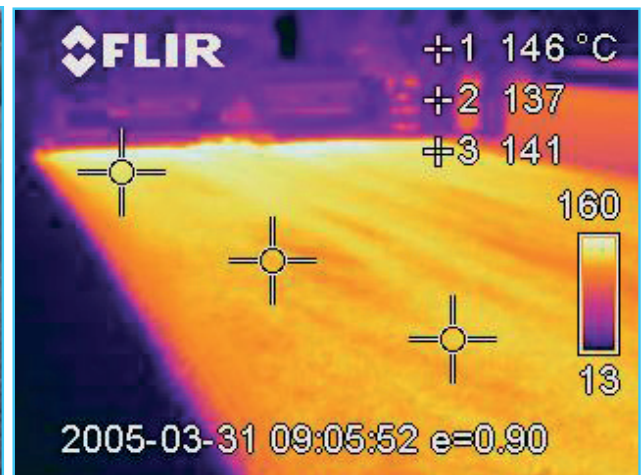


Foto 7. Imagen tomada con cámara de infrarrojos tras el extendido de una mezcla bituminosa en caliente.

tes de temperatura. Se puede realizar con termómetros de infrarrojos convencionales con personal situado tras la regla de extendido, aunque este procedimiento es laborioso y tedioso. Existen sin embargo sistemas automáticos de toma de perfiles térmicos como el *Pave-IR* desarrollado en Texas (EE.UU.) en unas barras transversales con 10 sensores se acoplan a la extendedora (ver Foto 6).

El segundo sistema se basa en la medida de temperaturas con modernas cámaras térmicas de infrarrojos, que proporcionan imágenes en la que los distintos colores están asociados a un rango de temperaturas de la superficie visualizada (ver Foto 7). Su aplicación en las operaciones de puesta en obra de mezclas en caliente permite visualizar nitidamente segregaciones térmicas, medir los diferenciales de temperatura e identificar claramente áreas frías en la capa recién extendida en las que se puedan realizar posteriores comprobaciones de densidad y composición de la mezcla tras la compactación.

PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN SACYR-CEDEX

1. Objeto del estudio

Si bien las segregaciones granulométricas así como las reglas de buena práctica para reducirlas eran bien conocidas en nuestro país, no así las segregaciones térmicas y cómo estas afectan a las propiedades de las mezclas bituminosas y a las características de regularidad del pavimento.

Además el control de homogeneidad de mezcla, cuando se hacía, se centraba, en todo caso, en un control visual de posibles segregaciones granulométricas (ya se ha citado que sólo las gruesas son apreciables) y un control puntual de temperatura de masa de la mezcla, pero sin una sistemática orientada a identificar este problema, dada la dificultad de apreciación.



Foto 8. Cámara de infrarrojos ThermoCAM B2.

El objeto del proyecto es el estudio de las segregaciones térmicas en las mezclas bituminosas en caliente y su efecto sobre la durabilidad y la regularidad inicial de los firmes, así como sistemas innovadores para la detección, control y eliminación de las segregaciones.

Se expone a continuación un avance de los resultados y conclusiones provisionales de los trabajos que se están llevando a cabo para el estudio de las causas, influencia y detección de segregaciones en las mezclas bituminosas en caliente.

2. Planteamiento y metodología del estudio

Aparte de estudiar el efecto de las segregaciones térmicas sobre la regularidad y la durabilidad de las mezclas bituminosas, se plantearon objetivos más específicos como el estudio de métodos innovadores de identificación y control de las segregaciones en la fase de obra, la evaluación de la utilidad de *equipos de transferencia de material (MTD)* en la homogenización térmica y granulométrica de las mezclas bituminosas en caliente, y el establecimiento de metodologías para minimizar los diferenciales de temperatura en los pavimentos bituminosos.

Inicialmente se planteó la realización del estudio en tres fases, en tres obras diferentes, utilizando tanto extendedoras convencionales como equipos de transferencia de material, y con diferentes mezclas bituminosas en caliente. En cada tramo se debían estudiar las siguientes cuestiones:

- Localización de segregaciones, fundamentalmente de tipo térmico. Estudio de las técnicas más adecuadas (termografía de infrarrojos, textura, permeabilidad, etc)
- Toma de muestras de material con diferentes temperaturas y marcado de zonas segregadas para posterior extracción de testigos.
- Medida en laboratorio de las características fundamentales de las mezclas (densidad, huecos, módulo, resistencia a tracción indirecta o a disgregación de la

mezcla, fatiga) y evaluación de la influencia de la segregación térmica en los resultados obtenidos.

- Evaluación de las ventajas de la utilización de equipos MTD en la reducción o eliminación de segregaciones térmicas. Efecto sobre las características de los materiales y sobre la regularidad (IRI) inicial del pavimento.

Con el objeto de localizar posibles segregaciones térmicas, y tras identificar en la literatura técnica la termografía de infrarrojos como uno de los métodos más apropiados, se adquirieron por parte del CEDEX y SACYR sendas cámaras térmicas con tecnología de infrarrojos modelo *FLIR ThermoCAM B2* con rango de medición de temperatura hasta 250 °C y que se han utilizado en las investigaciones realizadas. Se trata de un modelo portátil y ligero adecuado para esta tarea (ver Foto 8).

Así mismo, para trazar de forma rápida perfiles de densidades, la empresa SACYR adquirió un innovador equipo de medida de densidades *in situ* no-nuclear para materiales bituminosos, denominado *PQI* ("Pavement Quality Indicator") de la empresa *Trans-Tech*. Este dispositivo de determinación de densidades de mezclas asfálticas está basado en el concepto de la resistividad, y supera en rapidez y seguridad de empleo a los dispositivos nucleares. Permite conocer la densidad obtenida por efecto del sistema de precompactación, a la salida de regla, permitiendo su ajuste.

Esta percepción directa de la precompactación real que proporcionan las reglas de las extendedoras, y los altos valores proporcionados por algunos modelos utilizados, ha motivado una reorientación del estudio, al vislumbrar nuevas posibilidades de atenuación de los efectos de diferenciales térmicos con el empleo de extendedoras con alto poder de precompactación.

Otro de los aspectos importantes del proyecto era el referido a la evaluación de las posibles ventajas del empleo de MTD en la reducción o eliminación de segregaciones, tanto térmicas como granulométricas. El equipo utilizado fue el modelo *ROADTEC SHUTTLE BUGGY SB25* de la empresa SACYR, primero de su tipo empleado en nuestro país, aunque son varias las empresas que se están equipando ya con este tipo de maquinaria.

Una de las características principales de este equipo es que además de tener una tolva de recepción, con un diseño que contribuye ya a una disgregación inicial de los costrones, se disponen unos sinfines de paso variable en la propia tolva interna, de 25 t de capacidad, creando unos flujos de circulación interna del material por los que se logra un nivel de óptimo remezclado.

En el estudio se comparó la homogeneidad de la mezcla extendida con el sistema convencional de descarga directa del camión a la extendedora frente al extendido con equipo homogeneizador MTD o más comúnmente denominado *transfer*, en especial la térmica, y los resultados de regularidad superficial (IRI) inicial y textura.

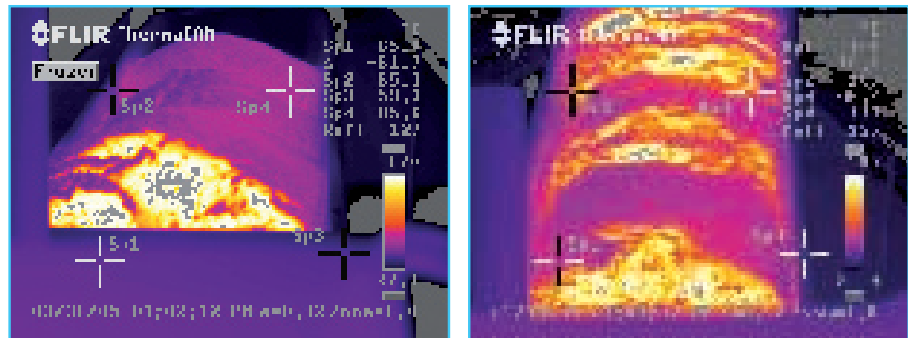


Foto 9. Formación de "costrones" fríos en la mezcla bituminosa en caliente situada en la caja del camión.

La primera fase del estudio se inició con el examen del comportamiento térmico de una mezcla tipo F-10 para capa de rodadura de una autovía con operaciones de extendido en condiciones climatológicas favorables, con temperatura ambiente por encima de los 20 °C. La temperatura de fabricación de mezcla era de 175 °C. La investigación continuará contemplando condiciones climáticas menos favorables pero habituales, como las que se producen en el semestre frío (otoño-invierno), distancias de transporte mayores, y mezclas más segregables, en las que aumente la probabilidad e importancia de la formación de segregaciones térmicas.

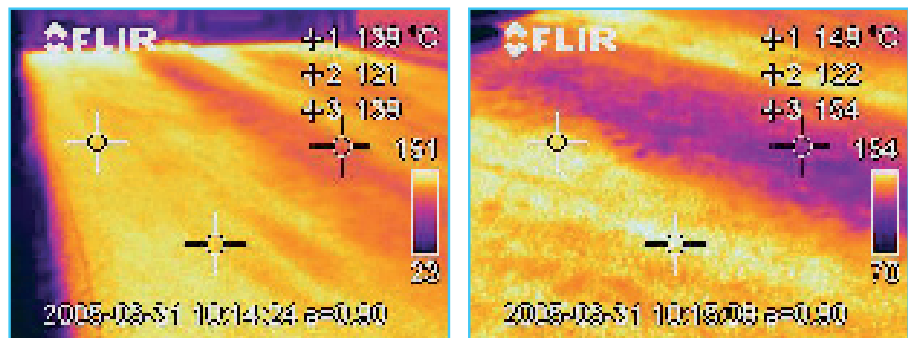


Foto 10. Termografía de la mezcla bituminosa tras el extendido. Detalle de segregación térmica (derecha).

3. Resultados preliminares

3.1. Control de las segregaciones térmicas durante la fase de construcción

Durante el estudio realizado con la utilización de cámaras termográficas para examinar la homogeneidad térmica de la superficie de la capa extendida antes de su compactación, se ha podido comprobar que las prácticas habitualmente consideradas correctas y admitidas para el extendido de mezclas en caliente no pueden evitar la aparición de zonas con segregaciones térmicas, resultando mezclas con densidades más bajas.

Se han detectado la formación de costras frías en el contorno de la carga de los camiones de transporte de la mezcla (ver Foto 9) con diferencias de temperatura muy acusadas, incluso superiores a los 100 °C con respecto a la temperatura media en algunos casos (tiempos de transporte superiores a una hora).

Se tenía la creencia general de que estos *costrones* fríos se mezclaban y homogeneizaban suficientemente

con el resto de la mezcla caliente durante las operaciones de extendido (descarga en la tolva, paso por el sistema de alimentación hacia el túnel y remezclado de los sinfines). En las imágenes termográficas de la Foto 10 se puede apreciar el registro de temperatura superficial de una capa bituminosa a la salida de la regla. Se aprecia la presencia de áreas frías, aisladas o en franjas, que tienen mayor incidencia en los inicios y finales de camión, siendo especialmente acusadas las que corresponden a la mezcla que permanecía en el lateral de la tolva y que se reprocesa al final del extendido de cada camión.

Por otra parte, conforme aumenta el tiempo de extendido de la mezcla de un camión (capas delgadas por ejemplo, que además suelen tener betún modificado y temperaturas de fabricación de mezcla del rango alto) es más acusado el enfriamiento de la mezcla que permanece en la tolva (en las alas abatibles) que se suma a las masas frías de las *costras*.

La operación de volcado de las alas abatibles de la extendedora, tras la salida del camión, provoca o acentúa la aparición de masas más frías, con un acusado diferencial de temperatura en la capa. Es una operación delicada (además, suele ser causa de segregaciones de tipo granulométrico) a tratar de evitar si el riesgo de segregaciones térmicas está presente: costras frías en el camión, tiempo de descarga largo, mezclas con temperatura de trabajo alta, etc.



COMERCIAL DE SONDEOS

**ARMADURA PARA MICROPILOTES
ACCESORIOS DE PERFORACION**



**VALVULAS Y
PUNTAZAS**



**TUBERIA PARA
MICROPILOTES**



**BARRA DE ROSCADO CONTINUO
PLACAS
MANGUITOS
ACCESORIOS**



CABEZAS DE PERFORACION

Fábrica y Almacén:

Tlef: 91 873 88 41 fax:91 873 87 60

Salida 35 de la A-3 poligono industrial de valdilecha.

fruz@comercialdesondeos.com

Administración:

c/ San gumersindo 20 28017 MADRID

Telf 91 326 19 09 fax 91 326 19 08





Foto 11. Disposición del extendido en paralelo con y sin equipo de transferencia de material (MTD). Detalle del funcionamiento del equipo MTD (derecha).

Otras operaciones que se han demostrado muy influyentes en la formación de segregaciones térmicas son las paradas de la extendidora durante la fase de extendido, ya que se producen enfriamientos de la mezcla de gran magnitud. Se ha observado como una parada de 10 min en condiciones climáticas no desfavorables puede producir diferenciales de temperatura superficial de más de 50°C. El grado de compactación final alcanzado en esa zona fría puede ser muy inferior al resto, provocándose en ese caso puntos débiles y la aparición de protuberancias que afectarán a la regularidad superficial.

Se ha podido comprobar asimismo que la mayor o menor trascendencia de los enfriamientos producidos durante las paradas dependerá estrechamente del grado de precompactación proporcionado por la regla de extendido. Con las reglas de alta compactación se puede minimizar enormemente la repercusión de ese diferencial térmico en términos de durabilidad y de regularidad superficial, ya que los enfriamientos apenas afectarán al grado de compactación obtenido. Se han registrado densidades tras la regla de extendido por encima del 96% de la densidad

de referencia con reglas de alto poder de precompactación tanto en mezclas tipo M-10 como tipo S-20.

3.2. Evaluación del empleo de vehículos de transferencia de material (MTD)

Otro de los aspectos importantes del proyecto es evaluar las ventajas del empleo de vehículos de transferencia de material (MTD) que mezclan de nuevo la mezcla bituminosa que llega del camión antes de transferirla a la extendidora, lo que al menos teóricamente eliminaría todo tipo de segregaciones, tanto térmicas como granulométricas.

En la primera fase del proyecto únicamente se ha comprobado el efecto sobre las segregaciones térmicas, ya que las mezclas tipo F-10 con áridos de tamaño máximo pequeño son poco segregables desde el punto de vista granulométrico. El estudio se ha realizado comparando las segregaciones térmicas que se producían en la mezcla bituminosa con extendido convencional y utilizando equipos MTD. La comparación se realizó aprovechando un tramo de la autovía donde se debía ejecutar un carril adicional por la izquierda (ver Foto 11). La extensión

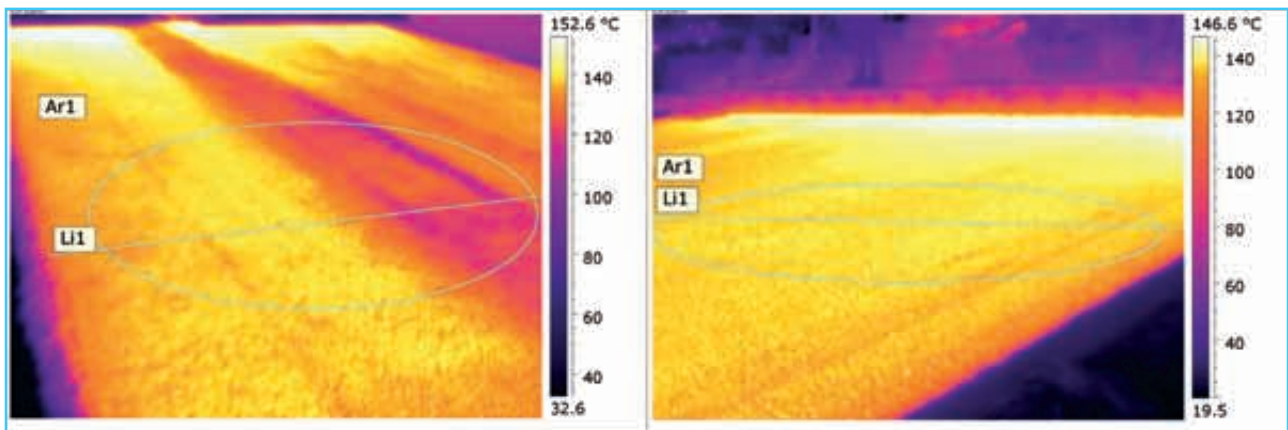


Foto 12. Comparación de las temperaturas de la mezcla bituminosa tras la regla de extendido utilizando extendidora convencional (izda) y extendidora más equipo MTD (dcha).

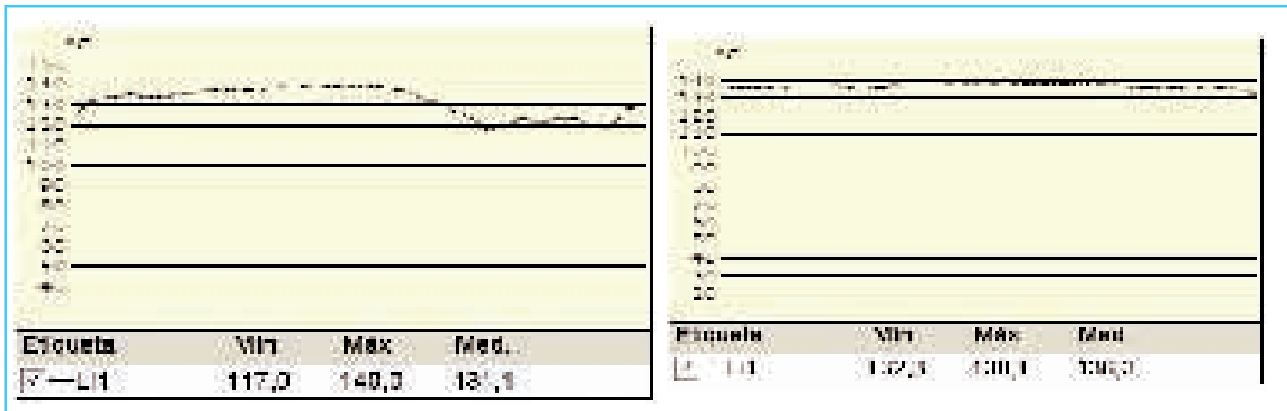


Figura 3. Perfiles de temperatura correspondientes a las termografías de la Foto 12.

de la mezcla bituminosa se realizó con dos extendedoras en paralelo, utilizando el equipo MTD únicamente en el tronco de la calzada, y una extendedora convencional para el carril adicional. Esto permitió realizar el estudio en las mismas condiciones para ambas mezclas, eliminando la posible influencia de factores externos, ambientales o de transporte.

Debido a que las condiciones climáticas no eran desfavorables, se aumentó artificialmente el tiempo de transporte en algunos camiones (hasta superar la hora) para acentuar el efecto de la formación de costras frías en el contorno de la carga y poder comparar mejor las diferencias entre los dos sistemas de extendido.

La homogeneización térmica conseguida alimentando la extendedora con el equipo MTD resultó excelente, con variaciones de temperatura inapreciables, sin franjas longitudinales, incluso en los camiones en los que se había forzado el tiempo de transporte. En la Foto 12 se puede apreciar el efecto que sobre la formación de segregaciones térmicas tiene el empleo de un equipo MTD en el extendido de la mezcla bituminosa. La Figura 3 muestra los perfiles de densidad correspondientes a las termografías de la Foto 12. Se puede apreciar como en el extendido convencional se producen variaciones importantes de temperatura de más de 20°C, mientras que apenas se aprecian (menores de 5°C) cuando se utiliza el MTD.

Con objeto de comparar las temperaturas de extendido obtenidas con ambos procedimientos, se tomaron aleatoriamente varias series de fotos termográficas en el extendido convencional y con MTD. La Figura 4 muestra la distribución de temperaturas obtenida. Se puede apreciar que aunque las temperaturas medias

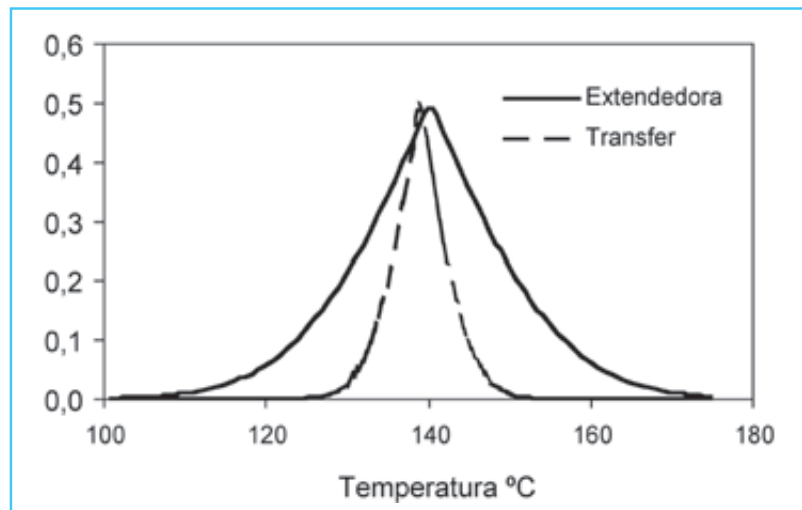


Figura 4. Distribución estadística de las temperaturas obtenidas con termografía de infrarrojos.

de extendido fueron similares en ambos casos, la variación de temperaturas que se produjo con extendido convencional fue muy superior a la obtenida en extendido con MTD.

A la vista de lo observado se puede concluir que el extendido convencional presenta situaciones de riesgo de creación de áreas con diferenciales de temperatura acusados. Estas áreas no son detectables con los controles de calidad habituales, por lo que hay que actuar preventivamente para evitar que representen un riesgo de fallo prematuro del firme. Resulta recomendable por tanto identificar las prácticas de puesta en obra que favorezcan o reduzcan el problema y, cuando las circunstancias sean desfavorables (climatología, tiempo de transporte, alta temperatura de mezcla, capa delgada con prolongado tiempo de descarga, etc.) tratar de reducir el riesgo, evitando prácticas problemáticas, utilizando extendedoras de alto poder de precompactación, o como se ha podido demostrar utilizando equipos de transferencia de material con buena capacidad de homogeneización.

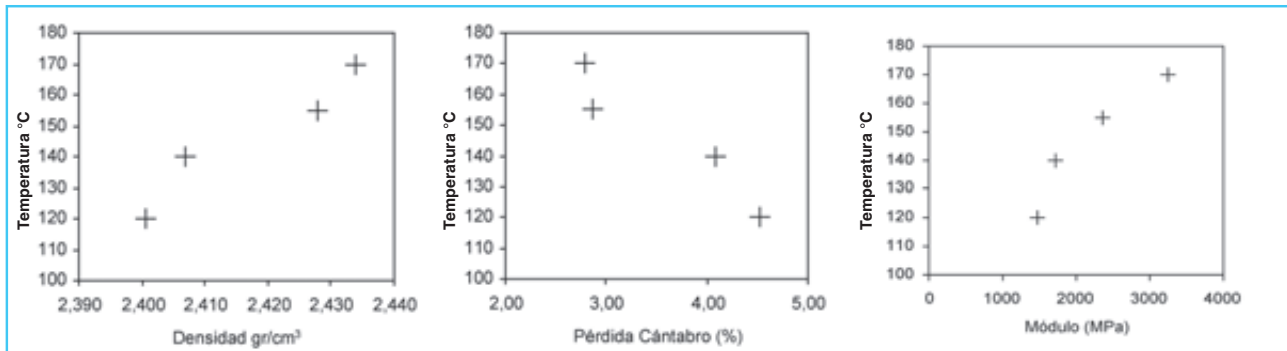


Figura 5. Influencia de la temperatura de la mezcla en la densidad, el módulo a tracción indirecta y la pérdida por desgaste en el ensayo Cántabro.

3.3. Efecto sobre las características de los materiales

La influencia de las segregaciones térmicas sobre las características de las mezclas bituminosas es un tema reiteradamente estudiado^(1, 2, 3, 4, 6, 7, 11, 13). En general se han descrito mezclas con más huecos, menor módulo de rigidez, menor resistencia a fatiga, y mayor susceptibilidad a la acción del agua y a la erosión. En cualquier caso se decidió incluir entre los objetivos del proyecto el estudio de la influencia de la segregación térmica sobre las características de mezclas bituminosas utilizadas en nuestro país.

En la primera fase del proyecto se evaluó el efecto de la segregación sobre una mezcla discontinua tipo F-10. Se tomaron muestras de material en zonas donde se apreciaron diferenciales térmicos superiores a los 15 °C y se compactaron probetas con la maza Marshall. Estas probetas se llevaron a laboratorio donde se midieron densidades, resistencia a disgregación con ensayo cántabro en seco y en húmedo, módulo de rigidez en tracción indirecta.

El efecto de la temperatura en la densidad, el módulo a tracción indirecta (a temperatura ambiente) y la pérdida por desintegración en el ensayo Cántabro se muestran en la Figura 5. Se aprecia la tendencia decreciente de la densidad, el módulo y la resistencia al desgaste cuando disminuye la temperatura.

3.4. Mejora de la regularidad superficial

La relación comprobada entre la regularidad inicial y la durabilidad ha introducido una sustancial rebaja en los umbrales mínimos del IRI a alcanzar en busca de la excelencia, lo que ha implicado una revisión de las prácticas, equipos y métodos de puesta en obra que han dado mejores resultados y un estudio de las posibles mejoras tecnológicas y de procedimientos para establecer pautas más eficientes para mejorar la regularidad superficial. Aunque en nuestro país se establecen límites fijos para el IRI, en la mayoría de

los estados de los EE.UU se incluyen incentivos en las especificaciones en función de los valores de IRI inicial obtenidos, siendo ésta una de las razones que explican por qué se han desarrollado allí tanto estas técnicas en los últimos tiempos.

Como resultado del trabajo realizado se han podido establecer varios procedimientos de ejecución que aseguran resultados de IRI por debajo de la unidad. Así, se han establecido dos grupos de soluciones válidas:

- Técnica tradicional *mejorada*: Implica la combinación de sistemas de nivelación de última generación con promediación, de determinado tipo de extendedoras de alto nivel de precompactación menos sensibles a las paradas, de un ajuste específico en los parámetros de extendido (velocidad, regulación de precompactación,...), de un patrón muy cuidado en el esquema de la compactación, y de unas prácticas muy estrictas para la aplicación del procedimiento, y de un equipo humano con formación adecuado y dilatada experiencia.
- Empleo de un equipo MTD: El empleo de un dispositivo de transferencia de material homogeneizador supone un salto tecnológico importante que facilita enormemente lograr el objetivo de una excelente regularidad inicial. El equipo además de la capacidad de remezclado, aporta la posibilidad de regular las discontinuidades de transporte y así asegurar una extensión continua sin paradas. Además, se evitan los golpes del camión a la extendidora.

El primer procedimiento, resultado de un trabajo de varios años probando e incorporando distintas tecnologías, ha conseguido valores medios de IRI en el entorno de 0,80 con una desviación típica por debajo de 0,20. Lo remarcable además, es que estos valores se han obtenido con muy pocas capas, con reducidos espesores y que el procedimiento se ha revelado mucho menos sensible a paradas, en especial en tiempo frío, que la sistemática más habitual precedente.

El empleo del equipo MTD, combinado con lo que antes se ha denominado técnica tradicional mejorada, permite bajar aún más el umbral del IRI hacia valores calificables como excelentes, lo que hasta ahora sólo era posible en todo caso con procedimientos muy depurados. En la primera fase del proyecto en la que se aplicó esta técnica combinada en el extendido de la capa de rodadura tipo F, se obtuvo en la auscultación de recepción de obra un IRI medio de 0,62 con una desviación típica de 0,11. Aunque el IRI del carril en el que no se utilizó MTD se mantuvo también en valores muy buenos: 0,82 de media y 0,12 de desviación típica, entre otras cosas por la utilización en este caso de una extendidora con sistema de alto precompactación inicial.

En la segunda fase del proyecto, realizada en condiciones climáticas adversas, en una obra de autovía en la Meseta Norte, los resultados de la auscultación mostraron que se mantuvo un nivel de excelencia similar con un IRI medio de 0,63 y una desviación estándar de 0,13.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Muchos de los fallos prematuros que se producen en los firmes tienen su origen en heterogeneidades de la mezcla debidas a segregaciones granulométricas o térmicas. Su repercusión no sólo es importante en su durabilidad del firme sino también en la regularidad del pavimento y en los costes de conservación.

Las segregaciones granulométricas son bien conocidas. Está comprobado que la utilización de determinados procedimientos de construcción elimina o al menos reduce este tipo de segregaciones y sus efectos negativos sobre el firme.

Las segregaciones de tipo térmico, mucho menos conocidas, dan lugar a áreas más frías en la capa extendida, difícilmente identificables, que repercuten negativamente en la densidad final alcanzada dando lugar a áreas con más huecos, características mecánicas, fatiga y cohesión disminuidas. Se han identificado algunas causas de su generación como las debidas a masas frías en el contorno de la mezcla transportada, a enfriamientos del material residual en el lateral de tolva de la extendidora y a las áreas frías creadas en la capa recién extendida detrás de regla cuando se para la extendidora. Se ha podido comprobar con algunas mezclas de las utilizadas habitualmente en nuestro país la influencia negativa que las segregaciones térmicas tienen sobre las características del material, aunque los estudios continúan.


Los estudios llevados a cabo indican que el empleo de equipos de homogeneización y transferencia (MTD) es la forma más eficaz de eliminar los problemas de segregaciones granulométricas o térmicas, fundamentalmente cuando las condiciones son más desfavorables (largos tiempos de transporte, mezclas con tamaños de áridos grandes, clima frío, etc.). Sin embargo, se ha comprobado que algunas extendedoras de última generación con alto poder de precompactación pueden minimizar las consecuencias negativas de las segregaciones térmicas.

La termografía de infrarrojos se ha mostrado como uno de los procedimientos más adecuados para la identificación de zonas con segregación térmica. Estas técnicas se pueden combinar con otras como la medida de densidades, textura, etc. La especificaciones actualmente en vigor en nuestro país no permiten detectar adecuadamente áreas aisladas con segregación térmica, como las cíclicas, de finales de camión, que son causa de fallos prematuros, y en todo caso con los criterios de aceptación existentes no es posible evitarlas, por lo que sería recomendable desarrollar procedimientos o especificaciones de control más eficaces.

Aunque el estudio continuará en alguna otra obra, dada la repercusión técnica y económica del tema y los esperanzadores resultados preliminares, parece adecuado que se ampliaran las investigaciones de manera que se cubra un abanico más amplio de posibilidades incorporando más tipos de mezclas, diferentes condiciones climáticas y procedimientos de extendido, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Stroup-Gardiner, M. & Brown, E.R. (2000). National Cooperative Highway Research Program Report 441: "Segregation in Hot Mix Asphalt Pavements". Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C.
2. Williams, R.C.; Duncan, G. & White, T.D. (1996). "Hot-Mix Asphalt Segregation: Measurement and Effects". In Transportation Research Record 1543. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C. pp. 97-105.
3. Cross, Stephen A.; and Brown, E. R. (1993). "Effect of Segregation on Performance of Hot-Mix Asphalt". Transportation Research Record 1417. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. pp. 117-126.

4. Willoughby, K A; Mahoney, J P; Pierce, L M; Uhlmeyer, J S; Anderson, K W. (2002). "Construction-related asphalt concrete pavement temperature and density differentials". In Transportation Research Record 1813. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C. pp. 68-76.
5. Gilbert, K. (2005). "Thermal Segregation". Final Report. Colorado Department of Transportation. Research Branch.
6. Sebesta, S. & Scullion, T. (2003). "Application of Infrared Imaging and Ground-Penetrating Radar to Detect Segregation in Hot-Mix Asphalt Overlays". Transportation Research Record 1861. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C. pp. 37-43.
7. Willoughby, K., S.A. Read, J.P. Mahoney, S.T. Muench, L.M. Pierce, T.R. Thompson, J.S., Uhlmeyer, R. Moore, and K.W. Anderson (2001). "Construction-Related Asphalt Concrete Pavement Temperature Differentials and the Corresponding Density Differentials". Report WA-RD 476.1. Washington Department of Transportation.
8. Smith, K.L., Smith K.D., Evans, L.D., Hoerner, T.E., Darter, M.I. & Woodstrom, J.H. (1997). "Smoothness specification for pavements". Final Report. NCHRP Web Document 1 (Project 1-31). Transportation Research Board; Washington.
9. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1997). "Segregation: Causes and Cures for Hot Mix Asphalt". Publication by the Joint Task Force on Segregation of AASHTO Subcommittee on Construction; AASHTO Subcommittee on Materials; and National Asphalt Pavement Association. AASHTO. Washington, D.C.
10. García Santiago, J. (2003). "Problemas más habituales en la fabricación y puesta en obra de mezclas asfálticas". Jornada técnica sobre criterios de empleo de las mezclas asfálticas en caliente. UPM-INTEVÍA. Móstoles, Madrid.
11. Stroup-Gardiner M., Carter A., Das T. & Bowman B. (2005). "Initial Ride Quality of Hot-Mix Asphalt Pavements". In Transportation Research Record 1907. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C. pp. 105-112.
12. Ervin, R. D., et al. (1983). "Influence of Truck Size and Weight Variables on Stability and Control Properties of Heavy Trucks". University of Michigan Transportation Research Institute UMTRI-83-10/2, Federal Highway Administration, FHWA-RD-83-030, 1983, 179 p.
13. AASHTO (1993). "Guide for Design of Pavement Structures". American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1993.
14. Saarenketo, T. (1997). "Using GPR and Dielectric Probe Measurements in Pavement Density Quality Control". Transportation Research Record 1577. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C. pp. 37-44.
15. Khedaywi T.S. & White T.D. (1996). "Effect of Segregation on Fatigue Performance of Asphalt Paving Mixtures". In Transportation Research Record 1543. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D.C. pp. 63-70. 





Hacemos compañía.



Construcción

Materiales

Concesiones

Urbanismo

Inmobiliaria

Medio Ambiente

Fundación

Desarrollos emblemáticos, grandes proyectos.

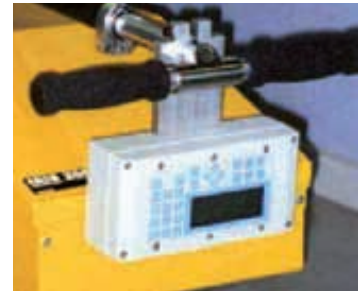
Una buena materia prima es el principio de todo proyecto. Por eso, trabajamos los materiales buscando siempre el mejor producto, sabiendo que, para construir con calidad, hay que empezar por tener la mejor materia prima. Porque en Lubasa sabemos que para progresar hay que adaptarse al entorno: y proponer soluciones, trabajamos con experiencia, calidad y seguridad.

En Lubasa, hacemos compañía.

www.lubasa.com | 902 340 000

LUBASA

Control de la regularidad superficial de mezclas asfálticas en tiempo real



Real-time monitoring of surface evenness in asphalts

Jesús Felipe Sanjuán

Director Técnico
Pavasal E.C.

José Ramón López Marco

Pavasal E.C.

Miguel Ángel Martínez Colomer

Pavasal E.C.

RESUMEN

En el presente artículo se presenta una metodología para controlar el IRI en tiempo real, así como los primeros resultados de la investigación iniciada por PAVASAL, enfocada a optimizar los parámetros de extendido para obtener la mejor regularidad superficial posible.

Palabras clave: IRI, Regularidad superficial, Mezcla bituminosa, Automáticos de nivelación, Referencias de extendido, Control de calidad, Perfilómetro.

ABSTRACT

In the present article a methodology appears to control the IRI just in time, as well as the first results of the investigation initiated by PAVASAL, focused to optimize the parameters of extended to obtain the best possible roughness.

Keywords: IRI, Pavement roughness, Asphalt mixes, Paving control system, References of extended, Quality control, Profiler.

Como es bien sabido, uno de los criterios de aceptación y rechazo establecidos por el *Ministerio de Fomento* en el Pliego para un pavimento asfáltico es su regularidad superficial, establecida mediante el *Índice de Regularidad Internacional (IRI)*.

Actualmente y con los equipos de fabricación y puesta en obra existentes en el mercado no es difícil conseguir producciones elevadas (más de 2.000 t/día) pudiendo extenderse perfectamente una longitud superior a 1 km diario de pavimento bituminoso, en la cual debe controlarse la regularidad superficial, en todas y cada una de las capas extendidas.

De los puntos anteriores surge la necesidad de poder controlar de forma rápida y efectiva el IRI, principalmente para la empresa constructora, que de no realizar este control de forma continua puede encontrarse con dificultades una vez realizado el trabajo.

Pero, hasta hace pocas fechas, para poder cubrir esta necesidad, nos encontrábamos con la dificultad que en España existían únicamente dos tipos de equipos homologados capaces de medir el IRI en las capas de pavimento asfáltico:

- Un tipo de equipo sería el *perfilómetro pivotante*, de gran precisión, aunque de bajo rendimiento, incapaz de seguir el ritmo de ejecución de la obra.
- El otro tipo, de gran rendimiento, tiene un coste muy elevado, con disponibilidad reducida, lo que hace que sea poco adecuado para el control diario de la capa extendida. Entre esos perfilómetros de alto rendimiento pueden citarse el perfilómetro láser Greenwood, el video láser RST-11, el K.J. Law... etc.

En este artículo vamos a describir la experiencia de PAVASAL con un *perfilómetro rodante*, de gran precisión en la medición del IRI, con rendimientos elevados, de 1,4 km/hora, capaz de medir el IRI en la longitud diaria de extendido a un bajo

coste y con resultados prácticamente inmediatos (Fotos 1 a 3).

El texto constará de las siguientes partes:

- En primer lugar, se realizará la descripción del equipo de medición, destacando sus ventajas e inconvenientes con respecto a los equipos que se emplean habitualmente para esta función.
- Se describirá la metodología seguida para el control de calidad de la regularidad superficial, así como también la identificación de problemas durante el proceso de extendido (errores de referencia, averías de la maquinaria, metodología inadecuada...).
- Se describirá el proceso seguido para la optimización de los parámetros de ejecución, principalmente los que afectan a la extendidora (vibración de la regla, nivel de revoluciones del tamper, velocidad de extendido, automáticos de nivelación, referencias...), en función de las condiciones de extendido (espesor de capa, tipo de material, ancho de extendido, tipo de capa: base, intermedia o rodadura).
- Finalmente se comentarán las primeras conclusiones obtenidas en la investigación iniciada por PAVASAL, comparando las diferentes técnicas de extendido y viendo cual es su influencia en el IRI de la capa ejecutada, intentando definir que metodologías son las más adecuadas, en función de las características de la obra, para obtener los mejores resultados de regularidad



Foto 1. Vista del perfilómetro rodante.

superficial. También se identificarán que variaciones en cada metodología estudiada afectan más al resultado final de la regularidad superficial.

EQUIPO DE MEDICIÓN

Una de las cuestiones que preocupa en este momento a las empresas dedicadas a la puesta en obra de mezclas bituminosas en carreteras es obtener una regularidad superficial adecuada, cuyos valores de IRI cumplan con las especificaciones indicadas en el *PG-3*.

Con los equipos actualmente existentes para la medición del IRI, citados en el apartado anterior, se plantean una serie de dificultades en el seguimiento y control de la ejecución, entre los que podríamos destacar los siguientes:

- Problemas de incertidumbre en los resultados de regularidad superficial finales que se van a obtener.
- Reducción de la posibilidad de corrección de los parámetros de ejecución de obra para la mejora continua del proceso y del producto final.
- Incremento del riesgo económico ante la imposibilidad de corrección previa.

Para intentar evitar estos problemas, se ha buscado un equipo de medición que pueda cumplir con las siguientes características, siempre desde el punto de vista de una empresa dedicada a la puesta en obra de pavimentos asfálticos:

- Debe ser un equipo capaz de medir el valor de IRI de forma suficientemente precisa como para detectar variaciones en función de las características de extendido.
- Lo suficientemente rápido para poder seguir el rendimiento de los actuales equipos de extendido, dando la capacidad de corrección en los parámetros de ejecución y buscando la mejora continua del proceso.
- El manejo del equipo debe ser sencillo, con un coste de adquisición razonable y coste de manejo bajo, para su aplicación continua.
- Equipo fácilmente transportable, para realizar movimientos rápidos, tanto dentro de la misma obra como de una obra a otra.

Finalmente, y tras una búsqueda exhaustiva en el mercado se ha localizado un *perfilómetro rodante*, con una



Foto 2. Empleo del perfilómetro rodante.



Foto 3. Utilización en carretera del perfilómetro rodante.

metodología novedosa de medición (Fotos 4 y 5), cuyas características se ajustan perfectamente a las especificaciones anteriormente indicadas y que serían las siguientes:

- Según los datos del fabricante, la precisión del equipo es de $\pm 0,2$ dm/hm; tras la realización del ensayo de armonización de la medida del IRI y la correlación entre los diferentes equipos dirigido por el *Ministerio de Fomento*, ha obtenido un coeficiente de corrección de "1,00", es decir, se pueden obtener resultados de IRI con una precisión similar a los obtenidos por los perfilómetros pivotantes, equipos de gran precisión. Emplea un diseño novedoso, con una barra articulada deslizable, y un poderoso sistema de procesamiento de datos que da una alta fiabilidad en la medida del IRI.
- El equipo tiene una velocidad típica de operación de aproximadamente 0,4 m/s (1,4 km/h), pudiendo cubrir perfectamente el trabajo diario de un equipo de extendido en aproximadamente una hora diaria.
- Obtener los valores de IRI de un tramo es sencillo, debido al sistema informático incorporado al equipo y que

Información a tiempo!



PANELES DE INFORMACIÓN VARIABLE

TECNOLOGÍA 64x64

Investigación, desarrollo y oferta tecnológica aplicada a la seguridad vial, proyectan hoy en POSTIGO una nueva, total y dinámica dimensión con el impulso de ALBA ELECTRÓNICA, empresa especializada recientemente incorporada al Grupo.



www.grupo-postigo.es



www.albaelectronica.com

permite, además de manejar los datos con facilidad, obtener los valores de IRI y un perfil relativo del terreno, permitiendo calcular otros indicadores, si fuera necesario. Para su empleo, únicamente es necesario un operario que pase el equipo sobre el pavimento a analizar. En relación con su coste de adquisición, es algo superior a los perfilómetros pivotantes, aunque bastante más económico que los equipos de alto rendimiento.

- El equipo es muy compacto, fácilmente trasladable, robusto para su empleo en obra, y con pocos problemas de empleo.



Foto 4. Perfilómetro rodante. Posición de traslado.



Foto 5. Perfilómetro rodante. Posición de empleo.

CONTROL DE LA REGULARIDAD SUPERFICIAL

Uno de los resultados más importantes de la aplicación de este equipo al proceso de extendido de pavimento asfáltico es permitir una mayor seguridad en la calidad del producto final que se está colocando en obra, eliminando así parte de la inseguridad que produce no poder medir de forma constante uno de los parámetros que puede ser causa de rechazo del pavimento.

Pero, con la información adecuada obtenida de la obra, también permite detectar de forma temprana problemas en el proceso de extendido, producidos por posibles averías de la maquinaria o por una metodología inadecuada, de forma que se reducen los tramos con posibles errores.

A continuación vamos a exponer el proceso que seguiremos para el control de los tramos, así como también la metodología de detección de errores; además, se incluye, dentro de este apartado, el posible empleo de esta metodología para optimizar los valores de los parámetros de ejecución buscando obtener los valores de IRI más adecuados.

1. Metodología

Para llevar a cabo la tarea de control y mejora continua de la regularidad superficial de las capas extendidas, la dividimos en tres fases:

- En la primera se toman datos de los parámetros de extendido, principalmente de todos aquellos que pueden afectar al resultado final del IRI;
- Posteriormente se obtienen los datos de IRI, analizando cada tramo y relacionándolo con los parámetros anteriormente tomados, intentando identificar si aparecen cuestiones que pueden venir relacionadas con defectos puntuales o averías de máquina; y
- Finalmente si los resultados no son los adecuados, se modifican los parámetros de extendido, en la línea que se considera conveniente para mejorar el resultado final.

Seguidamente analizaremos cada uno de los pasos anteriores con mayor detenimiento.

Como se ha comentado anteriormente el primer paso consiste en la toma de parámetros de extendido, pero no de todos los parámetros sino de aquellos que sean realmente relevantes en el resultado final de la regularidad superficial de la capa.

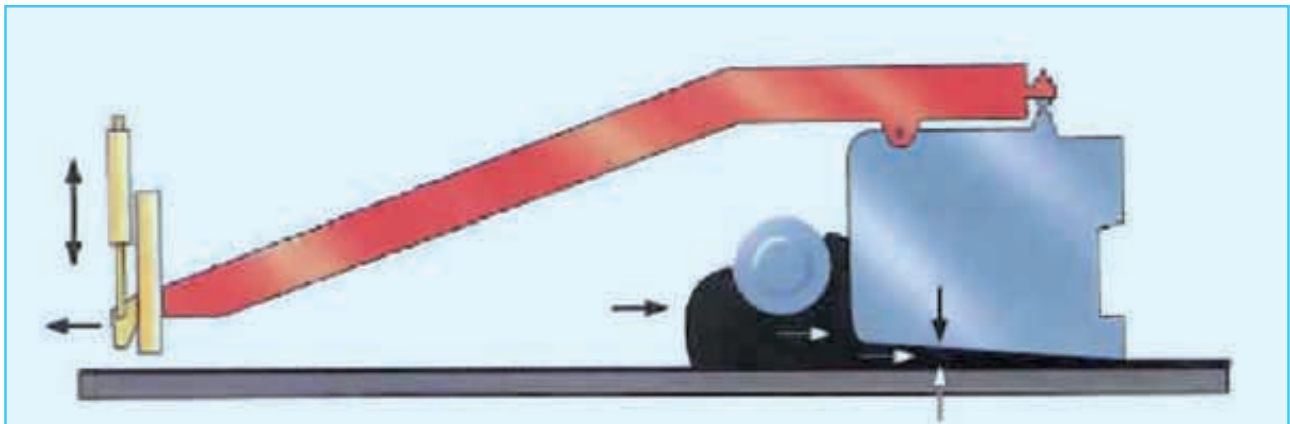


Figura 1. Esquema de la regla de una extendidora.

Pero, a continuación, se nos plantea la siguiente cuestión: ¿Cuáles son realmente los parámetros relevantes que afectan de forma importante al resultado final del extendido?

Para intentar definir al máximo estos parámetros debemos irnos a los principios básicos de funcionamiento de la regla (Figura 1).

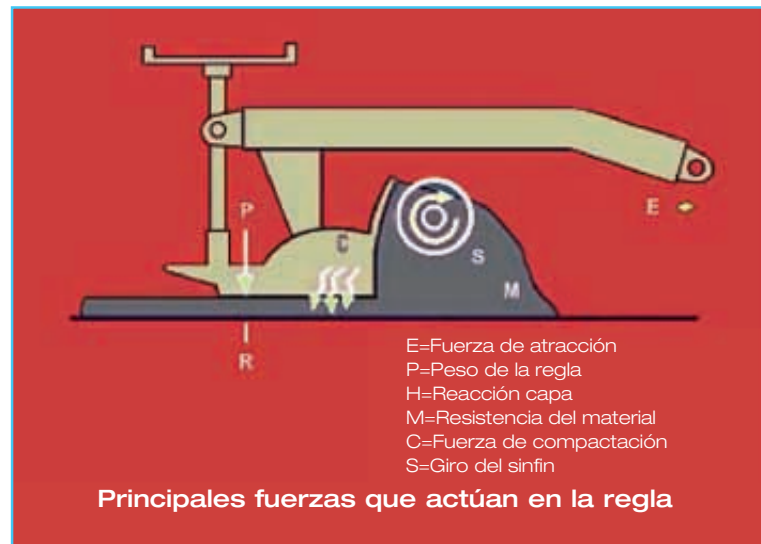
La regla de una extendidora es un elemento flotante sobre el aglomerado, de forma que la máquina tractora solamente tiene la función de tirar de ella. Para intentar ver de una forma sencilla el funcionamiento de la regla podemos analizar las fuerzas que actúan sobre la misma, tal y como puede verse en el gráfico de la Figura 2.

El espesor de material que queda tras la regla, y por lo tanto, la cota final del pavimento, va a depender del equilibrio de fuerzas que se obtenga una vez la máquina está en funcionamiento, que está directamente relacionado con el ángulo de ataque de la regla, sobre el cual actúa el sistema de nivelación de la extendidora.

Pues bien, cualquier modificación brusca en el equilibrio de fuerzas, y por lo tanto, en el espesor final de la capa extendida, va a afectar negativamente en el valor de IRI obtenido.

En principio, los parámetros que hemos considerado son, por una parte, aquellos que no podemos modificar, y por otra, aquellos que podemos modificar y que pueden afectar a la regularidad superficial obtenida. En el primer grupo tendremos parámetros tales como:

- Tipo y características de la mezcla bituminosa.
- Espesor de capa a extender.



Principales fuerzas que actúan en la regla

Figura 2. Principales fuerzas actuantes en una regla de una extendidora.

- Regularidad de la capa inferior.
- Características técnicas de la máquina a emplear.

En el segundo grupo tendremos cuestiones a considerar tales como:

- Velocidad de extendido.
- Altura de los sinfines de alimentación a la regla.
- Carrera del tamper.
- Nº de revoluciones del tamper.
- Frecuencia de la vibración de la regla.

- Velocidad de giro de los sinfines.
- Sensibilidad de los automáticos de nivelación.
- Posición de los automáticos de nivelación.

Hay que destacar que entre estos parámetros hemos obviado el tema de las referencias para los automáticos de nivelación, que se desarrollará de forma más extensa en un apartado posterior.

La regulación más adecuada de cada uno de los parámetros indicados en el segundo grupo depende de forma directa de los valores de los parámetros del primer grupo, pero no sólo de ellos, ya que la regulación óptima de los parámetros del segundo grupo son función de alguno de los del mismo grupo (baste decir que una variación en la velocidad de extendido llevaría a una modificación en las revoluciones del tamper, de la vibración de la regla y/o de las revoluciones de los sinfines). Es por ello que intentar optimizar la relación de todos estos parámetros es complejo y costoso.

El siguiente paso del procedimiento será obtener los datos de IRI en el tramo que se va extendiendo, de forma que se van modificando la relación de valores de los parámetros hasta obtener los valores de IRI esperados, momento en el cual se mantendrán dichos valores, siempre y cuando el valor de IRI que se vaya obteniendo no se vea modificado de forma sustancial (ver Figura 3).

2. Identificación de errores

En el punto anterior se ha definido cual es la metodología que se puede seguir para conseguir mejorar continuamente los resultados obtenidos en la regularidad superficial. Ahora vamos a describir otra de las utilidades

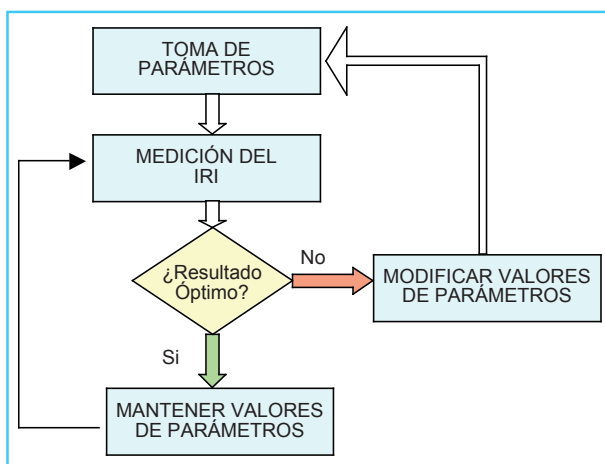


Figura 3. Esquema para obtener un resultado óptimo del IRI.

que se obtiene de la aplicación de esta metodología, y es la posibilidad de identificar errores en el proceso de extendido, tanto de regulación de parámetros como de ejecución, así como también posibles averías o defectos de funcionamiento en las máquinas de extendido o/y de compactación.

Para avanzar en este campo, existen algunas prácticas muy útiles, que nos dan una información más detallada, que son:

- En tramos con problemas de regularidad, reducir el tramo de medición del IRI, de 100 m a longitudes menores (en general 10 m suele ser adecuado) para identificar si el problema es puntual (algún fallo puntual de extendido) o es un problema general y homogéneo en el tramo.
- Obtener el perfil de los tramos problemáticos, intentando identificarlo con algún perfil tipo que nos lleve a conocer cual es la posible causa del problema.
- Otra práctica que nos da una información importante es la de obtener el IRI de un tramo determinado por varias rodadas, de forma que pasándolo por el centro, banda derecha y banda izquierda del extendido se pueden identificar funcionamientos inadecuados de la maquinaria.

A continuación se van a describir algunos de los problemas que se han detectado, aplicando una, dos o las tres prácticas descritas anteriormente.

En los gráficos de las Figuras 4 a 6 se puede observar cómo se puede identificar un error puntual, que afecta de forma importante al IRI de un hectómetro. En la Figura 4 vemos el diferencial entre los dos datos de IRI obtenidos en dos hectómetros consecutivos. Al analizar el IRI calculado cada 10 metros (Figura 5) se detecta una zona muy puntual con valores de IRI elevados, mientras que el resto de los tramos tiene unos valores similares, tanto en el primer hectómetro como en el segundo.

Posteriormente se analiza el perfil de dicho tramo (Figura 6), identificándose de forma muy clara el defecto que ha generado el valor de IRI erróneo. En este caso, el defecto corresponde a una parada excesivamente larga del extendido, con reinicio del proceso con la temperatura del material más baja.

Pasar el IRI por dos rodadas del extendido, en lugar de por una, puede dar información valiosa, principalmente en relación con el diferente comportamiento de cada uno de los lados de la regla. En el ejemplo de la Figura 7 podemos

www.amatex.es

amatex

PRODUCTOS DE MADERA PARA OBRAS PÚBLICAS

- Pantallas acústicas
- Barreras quitamiedos
- Contención de taludes
- Puentes
- Áreas de descanso



Apostamos por la Seguridad Vial y hacia una Seguridad Sostenible

BARRERA DE SEGURIDAD -UBM-

Amatex es fabricante de la primera y única Barrera de Seguridad ensayada en España en base a la norma UNE - EN 1317-2: 1999

LA BARRERA -UBM- POSEE:

- Elevada contención y reconducción del vehículo
- Protección de ocupantes de vehículos (Incluido motoristas)
- Perfecta integración en el medio
- Funcionalidad

amatex

Cabrejas de Pinar SORIA

www.amatex.es

observar los valores obtenidos en los dos lados del extendido, detectándose claramente cómo el lado derecho tiene sistemáticamente un IRI más alto que el del lado izquierdo. Finalmente se detectó una holgura en la extensión derecha de la regla, lo que la hacía oscilar, variando el ángulo de ataque, y por lo tanto modificando el espesor, dando valores de IRI mayores.

Tras el análisis de un elevado número de tramos, y combinando la información de IRI y perfil obtenida con la que nos proporciona el extendido, se han identificado una serie de perfiles típicos, que son los que habitualmente provocan unos errores concretos. Esto nos permite poder identificar errores de extendido a partir del perfil de los tramos, para ser corregidos en tramos posteriores. Los gráficos de las Figuras 8 y 9 se han modelizado para intentar ver las diferentes reacciones de la regla a partir de perfiles obtenidos de las obras realizadas.

Como ejemplo de perfiles típicos podemos destacar los siguientes:

- Junta transversal con salida baja corregida con automático de nivelación. Podemos ver en el gráfico de la Figura 8 cómo tras la salida de la junta se produce una reducción en el espesor que, al ser detectada por el automático de nivelación, inicia la corrección aumentando el ángulo de incidencia. Debido a la reacción retardada de la regla, la corrección del automático suele ser excesiva, teniendo que corregir en sentido contrario hasta alcanzar el espesor adecuado. La amplitud de estas oscilaciones depende de cada caso, llegando a ser imperceptible en juntas adecuadamente ejecutadas.
- Excesiva velocidad de reacción o sensibilidad del automático de nivelación. En este caso, el automático de nivelación reacciona muy rápido a diferencias de espesor, y como la corrección del mismo no es inmediata, continúa corrigiendo, produciéndose un exceso de corrección, que al detectarlo, nuevamente, reacciona corrigiendo. Esto hace oscilar constantemente el espesor de la capa alrededor del objetivo, siendo esta variación más acusada cuanto mayor es

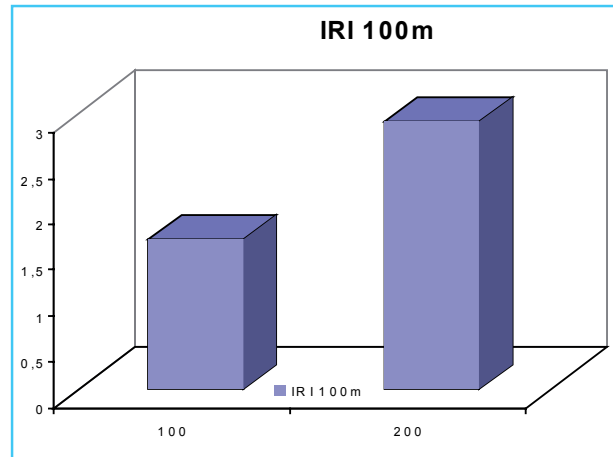


Figura 4. Valor del IRI por hectómetro.

el diferencial de espesor y el exceso en la velocidad de reacción del automático.

REFERENCIAS. CÓMO AFECTAN AL IRI

Tal y como se ha comentado anteriormente, una de las partes fundamentales en la nivelación de la regla son las referencias que se emplean. Es evidente que la calidad de la referencia que se emplee va a influir directamente en el resultado de regularidad finalmente obtenido. Teniendo en cuenta esta cuestión, PAVASAL ha realizado un trabajo en el cual se ha intentado relacionar el empleo de unas determinadas referencias y metodologías de trabajo con el resultado de IRI final. Para la realización de

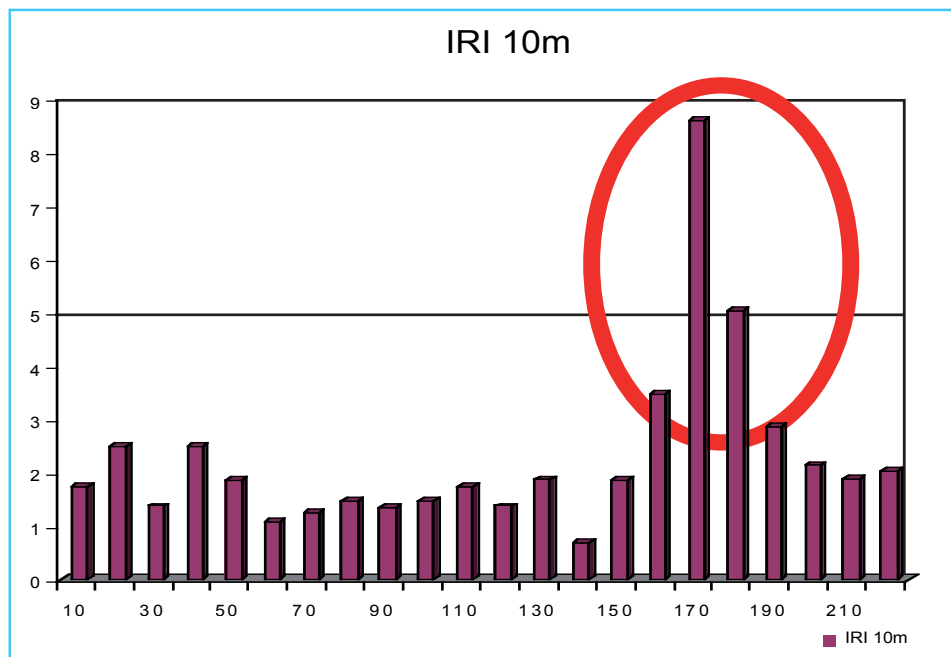


Figura 5. Valor del IRI cada 10 metros.

este estudio se han realizado mediciones de IRI en tramos suficientemente representativos donde la única variable que se modifica es la referencia empleada.

En relación con este estudio, también hay que decir que aunque con unas determinadas metodologías de ejecución se puedan obtener valores más bajos de IRI, el resto no pueden ser descartadas *a priori*, ya que pueden aportar otras ventajas necesarias en la ejecución que no pueden ser obtenidas con las otras técnicas de extendido.

Las metodologías estudiadas han sido las siguientes:

- **Cable o lienza.** En este caso la referencia es el perfil teórico que queremos obtener trasladado físicamente a la obra mediante la colocación de un cable o lienza, que los equipos de nivelación emplean como referencia (Foto 6).
- **Barra de larga referencia (>10 metros)** promediando sobre capa inferior o adyacente.

» Con contacto físico.

» Sin contacto físico.

- **Peraltímetro.** En este caso la referencia en uno de los lados de la regla es alguna de las anteriores, mientras que en el otro lado se modifica el ángulo de ataque en función de la pendiente de la regla y la pendiente teórica a obtener.

Tras el estudio y las mediciones realizadas en diversas capas de mezcla bituminosa extendidas en autovías y carreteras convencionales, tanto de nueva construcción como en mantenimientos de calzadas en servicio, se han obtenido algunas conclusiones, entre las que destacamos:

- En general, los resultados más altos de IRI se obtienen en aquellos tramos donde se ha empleado el peraltímetro, siendo en el lado de la regla donde se corrige en función de la pendiente donde los valores son más elevados. Esta cuestión es más o menos apreciable en función de las variaciones de peralte de la carretera, así como de las modificaciones del ángulo de ataque en el lado de la regla con corrección por altura. Así, se han detectado valores medios de entre 0,3 y 0,4 dm/hm más altos con peraltímetro que con barra o cable como referencia. Esto nos hace pensar que en aquellas obras donde sea posible sustituir el peraltímetro por otro tipo de referencia de las estudiadas, debería hacerse, aunque también hay que tener en cuenta que en muchas obras los condicionantes no permiten dicho cambio.

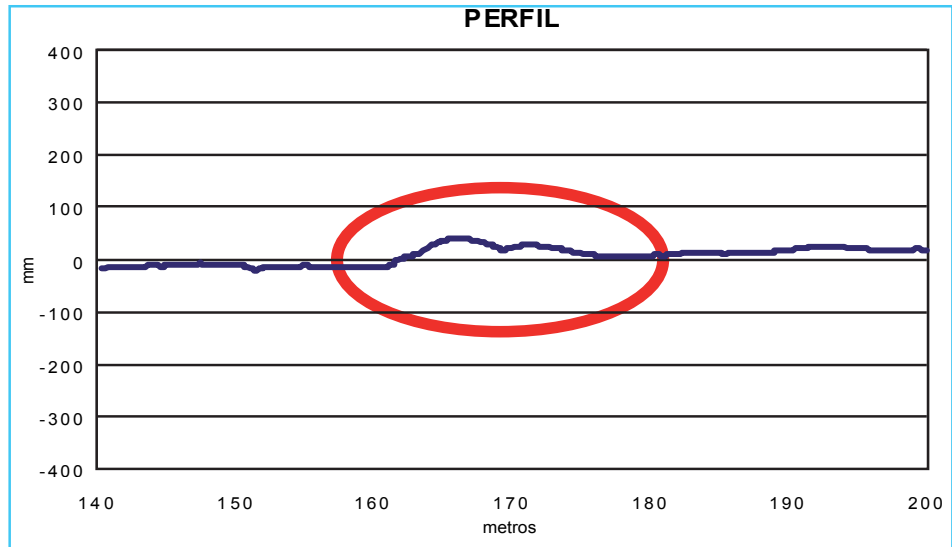


Figura 6. Perfil de la zona IRI elevado.

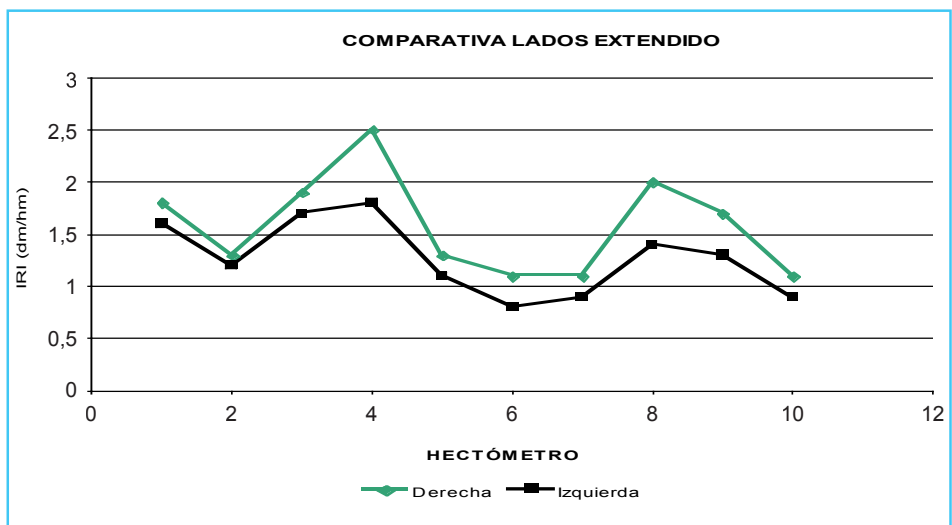


Figura 7. Valores IRI en diferentes rodadas.

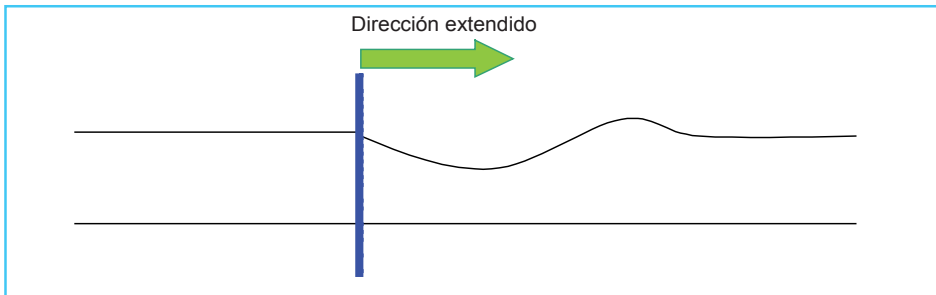


Figura 8. Esquema de una junta transversal con salida baja, corregida mediante el automático de nivelación.

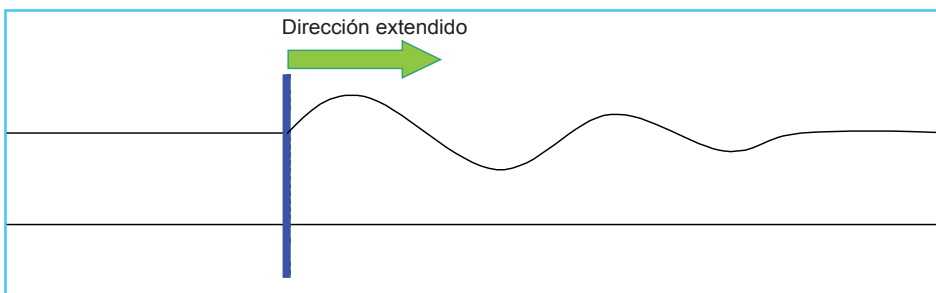


Figura 9. Esquema de una excesiva sensibilidad del automático de nivelación.



Foto 6. Empleo de cable como referencia.

- De forma general, el extendido con cable da unos resultados de IRI algo superiores al extendido con barras de larga referencia (con contacto físico o sin él), aunque el empleo de este tipo de referencia es fundamental para alcanzar las cotas y el perfil teórico de la carretera, que en muchos casos no puede ser alcanzado con las barras (Foto 7). La obtención de resultados más altos de IRI parece ser debido por una parte a que, con el cable,

ángulo de ataque de la regla, y con ello el equilibrio de fuerzas anteriormente comentado, se obtendrán valores de IRI más bajos, aunque se deberá conjugar este tipo de actuación con el espesor, las pendientes y las cotas teóricas de la capa de firme extendida. En función de cual sea la necesidad más importante a cubrir en cada caso, así como también las limitaciones de ejecución que se tengan en las obras, se deberá seleccionar la meto-

lo que se busca es obtener una cota determinada, variando el espesor necesario en función de la cota de la capa inferior, modificando entonces el ángulo de ataque de la regla y generando por tanto pequeñas irregularidades que afectarán al IRI, y por otra, al encontrarnos con diferentes espesores de capa, se producen diferentes variaciones de espesor tras la compactación generados por el esponjamiento en zonas con diferente espesor. El diferencial detectado ha sido de entre 0,2 y 0,3 dm/hm, estando este valor influido por el estado de la capa inferior en relación con la cota teórica del pavimento.

- En general, no se detectan diferencias sustanciales en el empleo de los dos tipos de barra, obteniéndose valores similares tanto en las barras con contacto físico como sin él. Para el empleo de esta metodología hay que tener en cuenta que el sistema corrige en función de la altura, y para emplear las barras en los dos lados de la regla, hay que tener presente que tanto las pendientes como las cotas de la capa inferior deben ser las adecuadas.

Como conclusión general se podría decir que cuanto menos se modifique por los automáticos de nivelación el

Comprometidos con
La sostenibilidad



Construimos el futuro



Construcciones y Obras L.Lorente, S.A.



C/ Aluminio, nº 17 - 47012 Valladolid - Tel. 983 218 191 - Fax: 983 218 192
Paseo de la Castellana, nº 163 - 28046 Madrid - Tel. 915 672 548 - Fax: 915 672 528



Foto 7. El extendido con cable da unos valores de IRI algo superiores al extendido con barras de larga referencia.

dología más adecuada teniendo en cuenta también de qué forma afecta cada una de ellas en el resultado final del IRI.

CONCLUSIONES


Como conclusiones de todo lo expuesto anteriormente, podemos decir:

- El perfilómetro rodante empleado en esta experiencia permite el control continuo y diario del IRI de los tra-

mos extendidos de forma técnica y económicamente viable.

- Con la información obtenida es posible optimizar los valores de los parámetros de ejecución para obtener valores de regularidad superficial adecuados, así como identificar problemas y errores de extendido.
- En el estudio desarrollado, se han identificado técnicas más o menos adecuadas para obtener el IRI más bajo, aunque ninguna de ellas se puede descartar, pues las características y necesidades de la obra deben conjugarse con estos resultados de regularidad superficial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Francisco Achútegui Viada. Monografía CEDEX: "Características superficiales de los firmes de carreteras".
2. Fumadó Gilabert. "Sistemas de nivelación para extendedoras". X Jornadas Nacionales de Conservación de Carreteras (Cáceres, 6 al 8 de Junio). 



Reciclado en central de mezclas bituminosas en caliente

Recycling in hot-mixed asphalt facility



Jorge Ortiz Ripoll

Grupo SORIGUÉ

Félix Pérez Jiménez

Universidad Politécnica de Cataluña

RESUMEN

Los materiales obtenidos por fresado de las capas bituminosas de firmes envejecidos son, en general, susceptibles de reutilización. Su reciclado en central en caliente es, seguramente, el mejor método de aprovechamiento, pues permite incorporarlos a nuevas mezclas bituminosas, restaurando sus propiedades originales. La reutilización debe efectuarse tomando en cuenta, además de las características de estos materiales, el tipo de central disponible, seleccionado la naturaleza del ligante de aportación y la tasa de reciclado más adecuada, y estableciendo los oportunos controles sobre materiales y procedimientos de fabricación.

La producción exitosa de mezclas bituminosas conteniendo tasas de reciclado de hasta un 50% prueba la viabilidad de una técnica cuya generalización debe perseguirse en pos de la implantación de las pautas de desarrollo más sostenibles.

Palabras clave: Reciclado, Reutilización, Fresado, Mezclas bituminosas en caliente, Central.

ABSTRACT

Reclaimed asphalt pavement materials from aged bituminous layers are, in general, suitable to be reused. Its hot in plant recycling is, probably, the best profitable way, because it allows their incorporation on new bituminous mixes, restoring their initial properties. Reusing must be made taking into account, in addition to these materials characteristics, sorts of hot mix facility, choosing new binder nature and recycling ratio, and establishing reasonable controls of material and production procedures.

Successful production of hot bituminous mixes with 50% recycling ratios proves the feasibility of this process, which spread must be intended.

Keywords: Recycling, Reuse, Reclaimed, RAP, Hot bituminous mixes, Facility.

El final de la vida útil de las capas bituminosas de los firmes de carreteras suele producirse como consecuencia de agrietamientos, deformaciones y/o pérdidas de capacidad estructural inadmisibles, no relacionados con los componentes de las mezclas, individualmente considerados. Aún después de muchos años en servicio, áridos y betún conservan, esencialmente las propiedades por las que, en su día, fueron seleccionados, lo que constituye el fundamento de la técnica que tratamos de revisar: los materiales obtenidos por fresado o demolición de las capas bituminosas de firmes envejecidos consisten en mezclas bituminosas perfectamente susceptibles de reutilización. El envejecimiento de su ligante, única salvedad que habría de hacerse, proviene en su mayor proporción de las operaciones de fabricación, transporte y puesta en obra, responsables de hasta un 80% de la variación de su viscosidad relativa η_t/η_0 después de 10 años de servicio (Figura 1) ^(1, 2).

La cuestión de hasta qué punto puede aceptarse que en la central de fabricación tiene lugar una mezcla completa entre el betún envejecido procedente de los materiales fresados y el nuevo ligante incorporado, debe darse por resuelta: diversas investigaciones han mostrado que el *reciclado en caliente en central* de las mezclas bituminosas propicia su íntima combinación. El auténtico ligante de la mezcla reciclada es el obtenido por la mezcla de ambos betunes, del mismo modo que las propiedades de su árido conjunto pueden deducirse de la reunión de las fracciones con que se compone, procedan o no de reutilización. Hasta tal punto es así, que no es posible distinguir mediante ensayos de laboratorio si una mezcla bituminosa contiene material fresado ni, en su caso, en qué proporción, como prueban los esfuerzos dirigidos a desarrollar sofisticados, y aún discutidos, procedimientos de detección ^(3, 4).

Por tanto, aceptando que se dispongan los medios y procedimientos adecuados para su fabricación, sólo cabe esperar de las mezclas bituminosas recicladas en central en caliente propiedades y comportamientos en servicio muy similares a los de las mezclas bituminosas

convencionales. La consideración de la equivalencia de ambos tipos de mezclas, acreditada por un sinnúmero de experiencias internacionales, es un buen modo de aproximarse a esta técnica y el mejor indicador del alcance de su campo de aplicación potencial ^(5, 6, 7).

El reciclado en caliente en central de las mezclas bituminosas no es sólo una técnica de rehabilitación: es una tecnología *sostenible*, pues permite restaurar íntegramente las propiedades de materiales que han llegado al fin de su vida útil reduciendo a cantidades mínimas los consumos de nuevos recursos y energía, y eliminando por completo el vertido o la infravaloración de grandes cantidades de residuos. Trataremos de mostrar que estos objetivos pueden alcanzarse sin renunciar a las exigencias de calidad establecidas para las mezclas convencionales de nueva construcción y sin afectar a la satisfacción del usuario, cliente final de todas nuestras obras.

INSTALACIONES PARA EL RECICLADO EN CENTRAL DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE

Es relativamente sencillo adaptar cualquier central asfáltica para la producción de mezclas con *bajas tasas de reciclado* (proporción en que los materiales procedentes del fresado de mezclas envejecidas entran a formar parte de la mezcla reciclada). Describiremos a continuación las configuraciones más habituales, algunas de las cuales no exigen más que disponer de una tolva y una cinta alimentadora para incorporar el material fresado a la mezcla bituminosa.

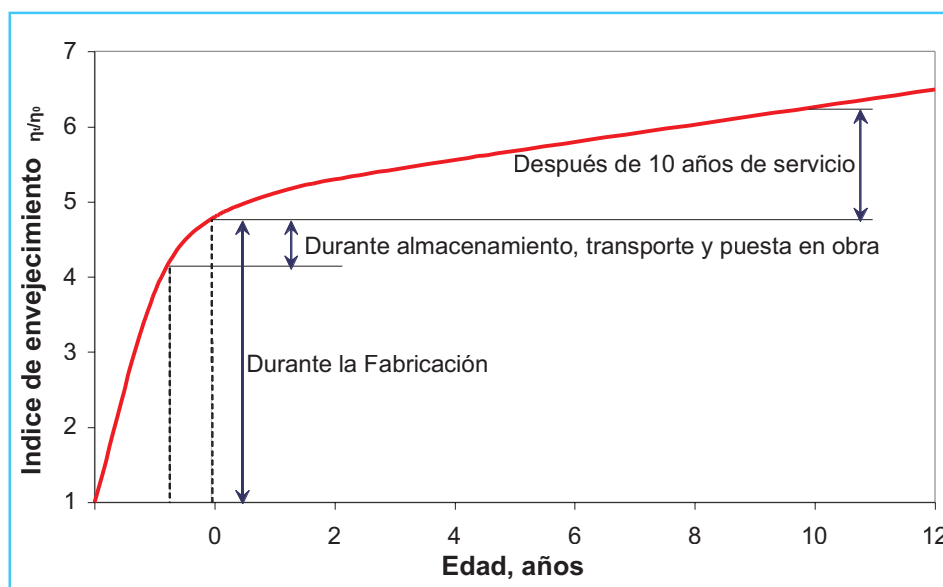


Figura 1: Índice de envejecimiento (η_t/η_0) de un ligante bituminoso ⁽²⁾.

Las *altas tasas de reciclado* (superiores al 25%) exigen, sin embargo, instalaciones complementarias notablemente más complejas y costosas. La alternativa ofrecida por las plantas *continuas* es, seguramente, la mejor opción en estos casos. Este tipo de instalaciones permiten la incorporación de proporciones elevadas de material fresado en condiciones técnicas y medioambientales adecuadas, con reducidos costes de instalación y mantenimiento, y con las menores inercias de comienzo y fin de producción ⁽⁸⁾.

1. Reciclado mediante centrales discontinuas

Existen básicamente cinco métodos para la incorporación de los materiales fresados en una planta asfáltica *discontinua*, que se distinguen por el punto elegido para su introducción. En todos los casos es necesario sobrecalentar el árido virgen, en una medida que dependerá de la tasa de reciclado empleada y de la humedad de los materiales fresados ^(5, 9).

- En el primer método la incorporación se produce en el elevador de cangilones (o en el conducto de descarga del tambor secador) donde el fresado se une al árido virgen sobrecalentado, como se muestra en la Figura 1. Juntos son clasificados y almacenados en las tolvas en caliente. El vapor de agua procedente de los materiales fresados es extraído de forma continua por el sistema de aspiración de la torre dosificadora. La necesidad de evacuar las correspondientes proporciones de vapor de agua así como el riesgo de colmatación de las cribas limitan la tasa de reciclado a proporciones que se sitúan en torno al 10 ó 15% (Foto 1).
- El segundo método difiere del anterior en que la mezcla de árido virgen y materiales fresados se dirige a una de las tolvas en caliente sin efectuar su clasificación, es decir haciendo uso del *by-pass* que evita su paso a través del cuerpo de cribas. De este modo desaparece el riesgo de colmatación de mallas, aunque las tasas de reciclado tampoco puedan alcanzar valores significativamente superiores al 15%.
- Una tercera posibilidad consiste en entregar el material fresado directamente a la tolva de pesaje de la torre dosificadora, desde donde se descarga en la amasadora intercalado entre las fracciones de áridos en caliente. Se produce una explosión suave cuando se deja caer el árido caliente sobre el material fresado, como consecuencia de la evaporación casi instantánea del agua que contiene este material. Generalmente se requiere de una amasadora más grande para aumentar los tiempos de mezclado y de un sistema de extracción



Foto 1. Planta discontinua con incorporación de materiales fresados a la salida del tambor secador.

de vapor capaz de evacuar los caudales generados. Las tasas de reciclado pueden alcanzar valores de hasta un 25-30%, en función de la capacidad de estos dispositivos.

- El cuarto método requiere de una instalación de pesaje independiente para el material fresado. Una vez pesado, se deja caer este material en un tolván de regulación con un alimentador, que lo introduce en la amasadora durante un intervalo de 20 a 30 segundos. De este modo se retarda el ciclo de la mezcla, pero se extiende el tiempo de generación de vapor, disminuyendo su caudal y facilitando su control y evacuación. La tasa máxima de reciclado con este método se sitúa de nuevo en el entorno del 25 - 30% (Foto 2).
- Por último, es posible utilizar un tambor secador independiente para elevar la temperatura del material fresado y reducir significativamente las necesidades de sobrecalentamiento. Los gases generados en este tambor se dirigen al tambor secador del árido virgen donde son utilizados como aire secundario de la combustión, se consumen los humos y se controlan las emisiones contaminantes. Aunque se trata de un sistema notablemente más costoso que los anteriores, tiene la ventaja de que permite la producción de mezclas con tasas de reciclado de hasta un 50 - 60% (Foto 3).



Foto 2. Planta discontinua con incorporación de materiales fresados mediante un sistema de pesaje y alimentación independiente.

2. Reciclado en centrales continuas

Las centrales *continuas* pueden utilizarse para la producción de mezclas recicladas sin apenas ninguna modificación, aunque los procedimientos de incorporación de los materiales fresados y las tasas de reciclado posibles dependen del tipo concreto de planta considerado. La mayoría de estas plantas responden a algunas de las siguientes configuraciones:

- Plantas continuas de tambor secador-mezclador de flujo paralelo, que incorporan el material fresado a través de un anillo central, desde donde se conduce a la zona de mezcla alejándolo de la de secado para resguardarlo del contacto con la llama del quemador. Recordemos que las primeras obras de reciclado en caliente en central, realizadas en España en el periodo 1985-86, se llevaron a cabo utilizando este tipo de plantas, alcanzándose tasas de reciclado de hasta el 40%. Tasas superiores al 25% no permiten garantizar,



Foto 3: Ejemplos de planta discontinua con tambor secador independiente para secado de los materiales fresados, equipados para trabajar con altas tasas de reciclado.

sin embargo, un control efectivo de sus emisiones (Foto 4) ^(5, 8).

- Plantas continuas de flujo paralelo con mezclador independiente del tambor secador, que pueden incorporar el material fresado del mismo modo que las anteriores o bien hacerlo en el propio mezclador, lo que limita la tasa de reciclado hasta el 30-35%. De nuevo, sin embargo, es conveniente reducir estas tasas a valores más moderados para no producir emisiones contaminantes ⁽⁵⁾.
- Plantas continuas con tambor secador en contracorriente, que ofrecen mejores rendimientos térmicos y permiten un mayor control de las emisiones. Como disponen de un mezclador independiente pueden incorporar los materiales fresados mediante un anillo situado en el centro del tambor secador o bien en el mezclador. Permiten alcanzar tasas del 40% cuando no existen limitaciones derivadas de humedades excesivas que requieren temperaturas de sobrecalentamiento muy elevadas, o de los tiempos de mezclado necesarios.
- Plantas de tambor secador mezclador en contracorriente con quemador avanzado (*retroflux*), donde la mezcla se produce en el interior del tambor, que ofrecen similares posibilidades y poseen parecidas limitaciones (Foto 5).
- Por último, plantas de doble tambor o triple tambor, que hacen posible un mejor aprovechamiento térmico gracias a que disponen de un tambor de mezclado situado concéntricamente sobre el tambor secador. Esta configuración proporciona un mayor tiempo





Foto 4. Planta continua, de tambor secador en equicorriente, con incorporación de material fresado por anillo central.

de mezclado y facilita la incorporación del material fresado en la cámara exterior, permitiendo alcanzar tasas de reciclado de hasta el 50% sin apenas limitaciones (Foto 6).

3. Otras centrales

Existe actualmente otra tecnología que elimina totalmente los problemas medioambientales de emisiones, en especial en entornos con legislación muy restrictiva y que permite tasas de aprovechamiento del 85 al 100% de MBR, a la vez que preserva totalmente al ligante de cualquier riesgo de oxidación por la exposición a gases calientes en el momento del mezclado.

Se trata de plantas que utilizan *microondas*, en funcionamiento en Estados Unidos (y una de ellas en Róterdam). En este sistema, el material fresado se machaca y procesa en dos o tres fracciones para un mejor ajuste granulométrico de la mezcla. Posteriormente se calienta en un primer escalón a 120 °C, por medio de corriente de gases calientes y después, en un horno gigante de microondas, se lleva a 140-145 °C, para llegar a la temperatura de mezclado.

Estas plantas tienen el gran inconveniente de un elevadísimo coste de adquisición y de operación⁽⁹⁾.

ENVEJECIMIENTO Y REGENERACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

Puesto que el principal objetivo de las operaciones de reciclado en central en caliente consiste en la *reutilización* de mezclas bituminosas con una larga vida en servicio,



tiene interés efectuar algunas consideraciones acerca del modo en que estas mezclas modifican sus propiedades con el paso del tiempo y de cómo o hasta qué punto pueden ser restauradas sus propiedades originales. Así, y con carácter general, puede asumirse que:

- Las características de los áridos raramente se ven afectadas durante la vida en servicio de las mezclas bituminosas, por lo que suele bastar con comprobar que la granulometría de los áridos extraídos del material fresado es compatible con la correspondiente a la fórmula de trabajo y la tasa de reciclado proyectada.
- Las posibilidades de regeneración del betún envejecido, se hallan sin embargo muy vinculadas a las



Foto 5. Planta continua, de tambor secador en contracorriente y quemador avanzado, con incorporación de material fresado por anillo central.



Foto 6. Planta continua, de tambor secador tipo double barrel.

propiedades concretas del ligante presente en los materiales fresados. Tasa de reciclado y betún de aportación deben seleccionarse en función de su grado de envejecimiento, como veremos a continuación.

Se entiende por *envejecimiento* del betún el aumento de viscosidad o endurecimiento que tiene lugar cuando forma parte de una mezcla asfáltica, durante la fabricación y construcción, y con la edad del pavimento terminado. El endurecimiento del betún tiene que ver con diversos factores, entre los que deben citarse en primer lugar la *oxidación* (reacción con el oxígeno), y la *volatilización* (evaporación de las fracciones más ligeras). Se produce durante toda la vida útil de la mezcla, aunque la oxidación y pérdida de fracciones volátiles ocurre mucho más fácilmente a altas temperaturas y cuando el betún se encuentra en película delgada. El envejecimiento más brusco tiene lugar, pues, durante la fabricación de la mezcla, donde se dan ambas circunstancias en presencia de abundante oxígeno.

Recordemos que el betún es una mezcla compleja de hidrocarburos procedentes de las fracciones más pesadas de refinado del crudo, considerada como un sistema de carácter coloidal constituido por una suspensión de micelas de asfaltenos *peptizadas* por resinas en un medio oleoso. A nivel químico, el envejecimiento se explica por un aumento de la proporción de asfaltenos, una reducción de los componentes aromáticos más ligeros y por la evolución de su estructura coloidal *tipo SOL-GEL* hacia el *tipo GEL*. Puede decirse que parte de los aceites se convierten en resinas y parte de éstas en asfaltenos, con pérdida de los aromáticos más volátiles.

Desde el punto de vista de su reología, el betún envejecido presenta un módulo complejo mayor a cualquier temperatura y frecuencia de carga que en su estado original (ver Figura 2), además de un aumento de la componente elástica de su respuesta (disminución del ángulo de desfase).

Los ensayos convencionales, por su parte, muestran un aumento de consistencia que puede medirse mediante ensayos de viscosidad, o como disminución de la *Penetración* o aumento de la *temperatura de Anillo y Bola* (Figura 3). La temperatura de fragilidad se eleva y la susceptibilidad térmica medida según su *Índice de Penetración* se reduce.

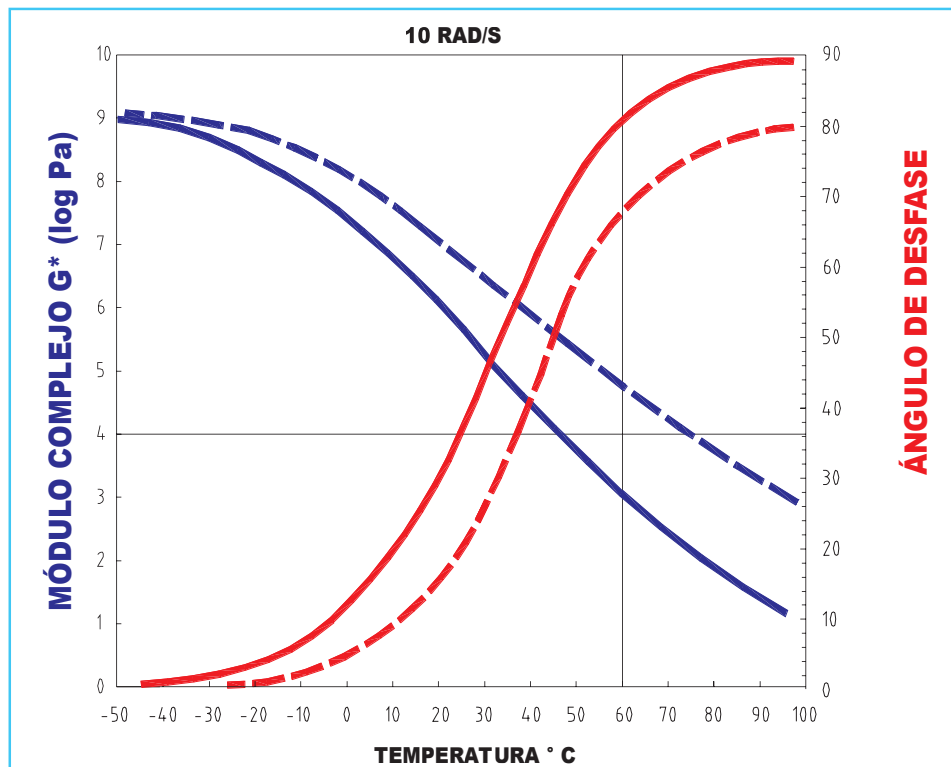


Figura 2. Variación del Módulo complejo y ángulo de desfase de un betún antes (líneas continuas) y después de su envejecimiento (líneas de trazos).

Elsamex
Tecnología



Grupo Elsamex

La regeneración del betún persigue, pues, el objetivo de restaurar las propiedades perdidas con el envejecimiento lo que puede hacerse utilizando como ligante de la mezcla reciclada un betún diseñado a medida de las necesidades concretas de cada proyecto. El diseño del nuevo betún se efectúa aceptando la hipótesis de que durante el proceso de fabricación va a producirse su combinación íntima con el betún envejecido, de modo que el ligante total es el mismo que se obtendría mezclando los dos betunes aisladamente. Esta hipótesis, discutida con alguna frecuencia, puede verificarse con ensayos sobre mezclas elaboradas incorporando el betún rejuvenecedor como en una fabricación convencional, y comparando su comportamiento con las obtenidas cuando el betún envejecido se mezcla previamente con el nuevo betún para añadirlo a los áridos recuperados en un ensayo de extracción.

Las investigaciones del año 2000 de Mc Daniel y otros, han mostrado que para tasas de reciclado del orden del 10% no existen diferencias significativas entre las mezclas obtenidas con uno u otro procedimiento. Para tasas más elevadas se comprueba que la mezcla de ambos ligantes tiene, efectivamente, lugar: los materiales fresados no actúan simplemente como áridos pre-envueltos ("black rock"). Si bien no puede asegurarse que se produzca una mezcla completa, si se obtiene un betún final cuyas propiedades dependen tanto del nuevo betún incorporado como del viejo ligante aportado por los materiales fresados⁽³⁾.

En la práctica no siempre se acude a diseños específicos ni es preciso analizar químicamente el betún envejecido para deducir la formulación exacta del agente rejuvenecedor.

La selección del nuevo ligante puede realizarse entre productos comerciales disponibles gracias a criterios simplificados que han mostrado su utilidad. Una justificación relativamente rigurosa de estos procedimientos puede hallarse en la correspondencia directa entre reología y estado coloidal tradicionalmente defendida por la escuela científica rusa, por una parte, y en la capacidad de predicción de los ensayos convencionales por otra: algunos de estos ensayos pueden aportar una medida suficientemente aproximada de la modificación reológica necesaria, para todo el intervalo de temperaturas y velocidades de carga que habrán de soportarse en servicio^(10, 11).

Así, por ejemplo, es frecuente emplear la ley de las mezclas expresada, en términos de *Penetración*, del siguiente modo:

$$\log Pen = a \times \log Pen_{ant} + (1 - a) \log Pen_{nuevo}$$

donde *a* es la proporción de ligante envejecido en la mezcla total, Pen_{ant} su penetración, Pen_{nuevo} la Penetración del nuevo ligante, y Pen la del betún total.

Tomando en cuenta viscosidades, puede usarse la siguiente expresión:

$$r = \frac{\log(\eta_{ant} + 3) - \log(\eta + 3)}{\log(\eta_{ant} + 3) - \log(\eta_{nuevo} + 3)}$$

donde *r* es ahora la fracción del ligante total en peso correspondiente al nuevo ligante o agente rejuvenecedor.

También se han desarrollado diversos *nomogramas* que tienen en cuenta las proporciones de nuevo y viejo ligante, sus viscosidades y la viscosidad objetivo, o bien sus módulos complejos y el módulo complejo objetivo, entre otras propiedades de interés⁽⁵⁾.

La Figura 4, por ejemplo, es un nomograma que se ha construido suponiendo una variación lineal de la *temperatura del punto de reblandecimiento A&B* con las proporciones de la mezcla de ligantes. En el primer eje

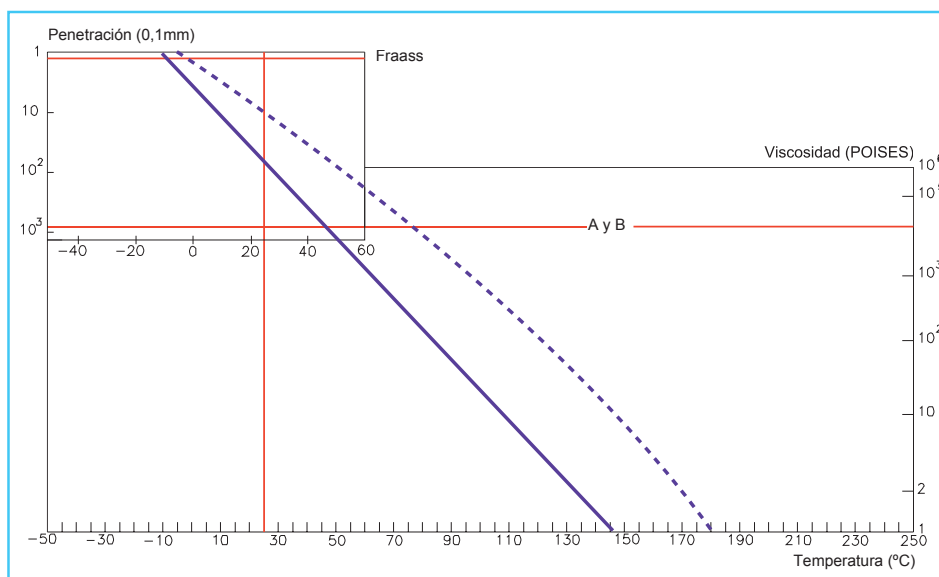


Figura 3. Curvas de consistencia de un betún representadas según el diagrama de Heukelom, antes (línea continua) y después de su envejecimiento (línea de trazos).

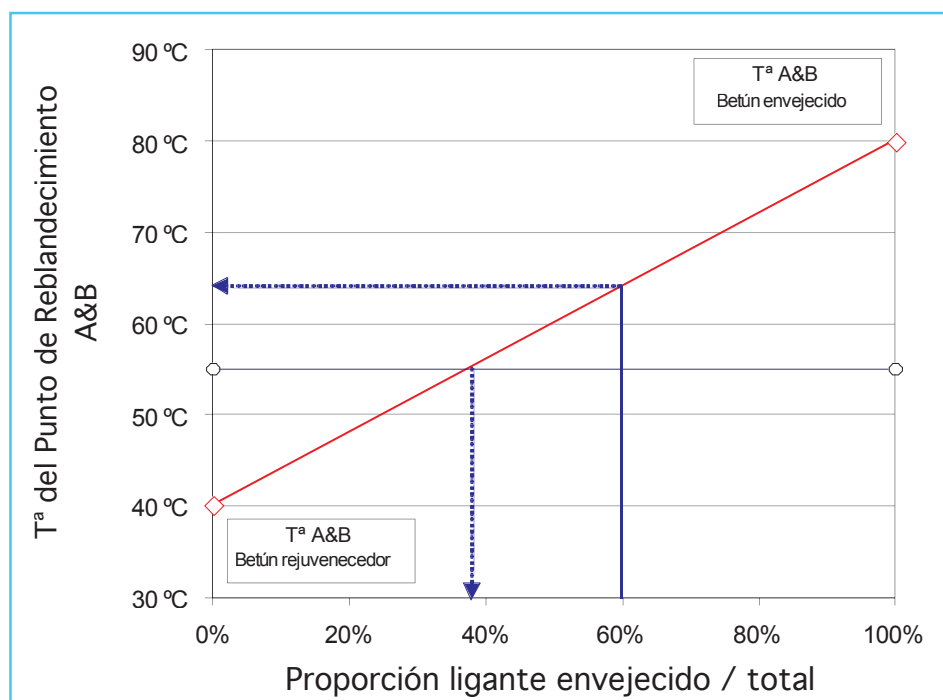


Figura 4. Temperatura del Punto de Reblandecimiento del betún de la mezcla reciclada deducida de la del ligante envejecido, agente rejuvenecedor y de su proporción en la mezcla.

de ordenadas se representa la *temperatura de A&B* del ligante envejecido y en el eje secundario la del agente rejuvenecedor. La línea obtenida al unir estos dos puntos se utiliza para deducir la temperatura del punto de reblandecimiento del ligante conjunto, en función de la proporción en que ambos se combinan para constituir la mezcla final. También puede emplearse para deducir la *tasa de reciclado* que dará lugar a un cierto valor del punto de reblandecimiento en el ligante global.

Como puede verse, las posibilidades de regeneración del betún envejecido dependen simultáneamente de su propio estado y de las proporciones en que ha de intervenir en la mezcla reciclada. En general, se ha establecido que, para *bajas* tasas de reciclado (del 10 al 15%) no es necesario emplear un betún distinto del que se hubiera utilizado en una mezcla elaborada con materiales vírgenes. Para tasas *intermedias* (15 al 25%) puede bastar con emplear betunes uno o dos grados más blandos que el betún considerado adecuado para una mezcla convencional, mientras que para tasas *elevadas* (por encima del 25%), o betunes muy envejecidos, es más frecuente utilizar diseños específicos.

En cualquier caso, las experiencias acumuladas permiten asegurar que con una selección cuidadosa del nuevo betún, el ligante total de la mezcla reciclada se aproximará suficientemente al betún convencional objetivo por muy elevada que sea la tasa de reciclado proyectada

(Foto 7). A estos efectos, y como caso límite, puede mencionarse la experiencia de Zamora, donde en 1996 se llevó a cabo un reciclado en caliente *in situ* con una tasa del 100% mediante la incorporación de una reducida proporción de agente rejuvenecedor y obteniéndose los resultados deseados en cuanto a la regeneración de la mezcla envejecida ⁽¹²⁾.

Puede contarse, pues, con que la solución técnica existe en la práctica totalidad de los casos. Lo más natural será, sin embargo, confiar a las empresas productoras de betún y sus equipos de investigación especializados la selección del ligante rejuvenecedor

idóneo, especialmente cuando nos enfrentemos a la producción de mezclas con altas tasas de reciclado. El control de las propiedades finales de la mezcla bituminosa reciclada será, sin duda, la mejor comprobación de la consecución de los objetivos de regeneración perseguidos ⁽¹³⁾.

DISEÑO DE MEZCLAS RECICLADAS EN CENTRAL EN CALIENTE

De acuerdo con las consideraciones anteriormente expuestas, el diseño de una mezcla reciclada en central en caliente puede afrontarse con criterios muy similares a los de una mezcla bituminosa convencional. El material fresado es una más de las fracciones de árido con las que debe obtenerse la composición granulométrica total y sus heterogeneidades han de preverse y corregirse, en su caso, como las de las restantes fracciones. Los materiales fresados aportan, además, una parte del betún total de la mezcla final, en una proporción que ha de conocerse con suficiente precisión para satisfacer las tolerancias al respecto.

En esencia el diseño de una mezcla reciclada en central comprende las siguientes operaciones:

- Caracterización de los materiales disponibles para su reciclado, y definición del tratamiento que han de recibir

con carácter previo a su introducción en la central: acopio, homogeneización, trituración, clasificación, etc,

- Selección de la tasa de reciclado necesaria para alcanzar los objetivos de reutilización propuestos, que debe ser compatible con los medios de producción disponibles, con los requisitos del diseño y con la producción de una mezcla bituminosa reciclada en condiciones controladas, y
- Elección del nuevo betún o agente rejuvenecedor de modo que el ligante total resulte con las propiedades deseadas, es decir, próximas a las que se pretenderían del betún con el que se diseñaría la mezcla convencional alternativa.

En realidad, todas estas operaciones se hallan muy interrelacionadas. Así, los requisitos exigibles a los materiales reutilizados dependen directamente de la tasa de reciclado, que actúa como multiplicador de sus eventuales dispersiones granulométricas o de contenido de betún. Por tanto, materiales muy heterogéneos pueden exigir tratamientos previos más elaborados o ajustes a la baja de la tasa de reciclado seleccionada. Por otra parte, las tasas más elevadas y los betunes más envejecidos precisan una selección más cuidadosa del nuevo betún, o nuevos ajustes que permitan elevar la proporción del betún nuevo sobre el ligante total.

Por último, la central de fabricación ha de ser capaz de producir, en condiciones técnicas y medioambientalmente adecuadas, mezclas bituminosas con las tasas de reciclado deseadas.

La aparente complejidad de este conjunto de condiciones interconectadas parece difícil de resolver sin efectuar costosos estudios o aproximaciones del tipo *prueba y error*, en cada caso concreto. Sin embargo, la solución es relativamente inmediata cuando se trata de producir mezclas con *bajas o medias* tasas de reciclado. En estos casos puede sostenerse que la práctica totalidad de los materiales procedentes del fresado de capas bituminosas de firmes envejecidos son perfectamente reutilizables con unas mínimas precauciones en su manipulación.

Las *altas* tasas de reciclado pueden presentar otras dificultades, además de las obvias de exigir la disposición de una central de fabricación adecuada y la compatibilidad entre la granulometría y contenido de betún de los materiales fresados y la fórmula de trabajo proyectada. Aunque, en general, es posible producir mezclas bituminosas recicladas que superen las exigencias de las convencionales a sustituir si se escogen cuidadosa-

mente el tratamiento previo y los controles que han de efectuarse sobre aquellos materiales. Ordenados según su efectividad apuntamos a continuación algunas de las operaciones más interesantes:

- Cribado para reducir el tamaño máximo por debajo del correspondiente a la mezcla final (Foto 8). En realidad ésta operación se lleva siempre a cabo, en una u otra de las fases de producción, pues es necesario asegurar que no se introducen en la mezcla reciclada áridos de tamaño superior al admisible,
- Homogeneización cuidadosa, o caracterización de acopios reducidos que puedan aceptarse como homogéneos, por ejemplo, los correspondientes a la produc-



Foto 7. Fresado de materiales reutilizados en la misma obra de la que se han extraído. (CN-230, Valle de Arán, Lleida).



Foto 8. Cribado de los materiales obtenidos por fresado de firme, previo a su introducción en la central de fabricación. (CN-230, Valle de Arán, Lleida).

CARRETERAS

RESERVA YA TU ESPACIO PUBLICITARIO

La eficacia y rentabilidad están garantizadas.



Comunicación y Diseño

comdis@cydiseno.com

Dpto. de Publicidad y Contratación: Tfn. 914324318. c/ O'Donnell 18 5º H - 28009 Madrid.

ción de una jornada, o mejor aún, la superposición de ambos tratamientos,

- Trituración generalizada, cuando el cribado supone descartar proporciones excesivas del material fresado. La trituración puede limitarse, alternativamente a las fracciones rechazadas por la tela de criba, y
- Clasificación, en dos o más fracciones, del material fresado para su alimentación independiente a la central de fabricación. En general, aunque no necesariamente, después de la trituración descrita en el punto anterior.

Puesto que cada operación, con frecuencia, comprende las anteriores, el coste de manipulación crece significativamente con cada paso de los mencionados. La contrapartida de interés consiste en que la producción de mezclas con cualquier tasa de reciclado es posible siempre que se adopten las medidas oportunas, la mayoría de ellas referidas a la manipulación del material procedente del fresado del firme. El diseño de ligantes específicos, capaces de regenerar los betunes más envejecidos, incorporados en las proporciones más elevadas es, también, un problema de índole esencialmente técnica y de coste, por lo que no deben preverse excesivos impedimentos por este concepto.

Una vez superadas las dificultades que se han mencionado, el diseño de una mezcla reciclada en central, incluso para las tasas más elevadas, se aproxima absolutamente al de una mezcla convencional. Los áridos y el betún procedentes de los materiales fresados son componentes que requieren la comprobación de la adecuación y homogeneidad de sus características, igual que sucede con el resto de materiales, árido virgen, nuevo betún o filler de aportación, en su caso, en una medida que dependerá, como en éstos, de la proporción en la que son empleados en la mezcla final ^(8, 14).

CONSIDERACIONES ECONÓMICAS

La producción en central de mezclas bituminosas recicladas en caliente proporciona unas economías que derivan directamente de la recuperación del valor íntegro de los componentes originales de los materiales fresados. Su comparación con el valor de una mezcla producida con materiales vírgenes debe efectuarse, en todo caso, tomando en consideración los siguientes costes adicionales:

- El coste del transporte desde las zonas de extracción hasta la central de fabricación. Si este transporte se

organiza aprovechando los retornos de los vehículos que llevan las nuevas mezclas de la central a la obra el diferencial con respecto a la alternativa del transporte a vertedero puede llegar a ser negativo.

- El coste del tratamiento previo de los materiales fresados, que en el caso más general comprenderá su trituración y clasificación, aunque en otros casos puede bastar con una homogeneización cuidadosa. Cuando las operaciones de fresado se efectúan a velocidades moderadas y con fresadoras en buen estado la trituración puede obviarse o reservarse a una proporción reducida de los materiales totales.
- El coste del agente *rejuvenecedor* que, naturalmente, depende del grado de envejecimiento del betún recuperado y de la tasa de reciclado seleccionada, pues ambos factores influyen en las necesidades de regeneración. Salvo para las tasas más elevadas y/o los betunes más envejecidos, el agente rejuvenecedor no debe resultar significativamente más costoso que el betún convencional objetivo.
- El coste de producción, que depende de la configuración de la central de fabricación. Especialmente cuando se trata de producir mezclas con altas tasas de reciclado, las centrales *discontinuas* dan lugar a los mayores sobrecostes, por la necesidad de disponer de un segundo quemador. En las centrales *continuas* el coste adicional con respecto a una producción convencional se reduce muy sensiblemente, particularmente con el modelo tipo "*double-barrel*", donde deja de ser significativo.
- El coste del control de calidad, que es necesariamente más elevado, puesto que además de comprobar la homogeneidad granulométrica y de contenido de betún de los materiales fresados o de las fracciones obtenidas, es necesario verificar que se alcanza la regeneración prevista. Estos controles adicionales alcanzan valores significativos sólo para las tasas de reciclado más elevadas, cuando pueden duplicar el coste del control de calidad de una producción convencional.

Salvo para el primero de los sobrecostes anunciados, los costes de producción se incrementan con la tasa de reciclado, por lo que convendrá siempre seleccionar la tasa más baja compatible con una reutilización total de los materiales obtenidos por fresado de las capas bituminosas envejecidas. Ya se ha descrito en otras ocasiones y en esta misma publicación, sin embargo, cómo esta circunstancia no permite prescindir de las mezclas con altas tasas de reciclado y cómo ésta es una tecnología

imprescindible entre las modernas técnicas de rehabilitación de firmes ⁽⁸⁾.

La cuestión primordial es, en cualquier caso, que los materiales obtenidos por fresado de capas bituminosas envejecidas pueden ser utilizados para fabricar mezclas bituminosas en caliente de calidad equivalente a las mezclas convencionales y que esta reutilización se produce con el aprovechamiento prácticamente íntegro de las propiedades aglomerantes del viejo betún, de tal modo que esos materiales recuperan todo el valor de sus componentes originales.

CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Las anteriores consideraciones permiten deducir que los costes de producción de mezclas bituminosas recicladas en central en caliente se aproximan suficientemente a los de una fabricación convencional como para cuestionarse absolutamente cualquier aprovechamiento alternativo de los materiales obtenidos por fresado de firmes envejecidos. Estos firmes no sólo son la mayor *cantera de áridos* de calidad de nuestro país por producción y por la cuantía de sus reservas, sino también el mayor *depósito de betún* apto para su empleo en la producción de nuevas mezclas ^(12, 15),

La generalización de operaciones de rehabilitación de firmes cada vez más selectivas, consistentes en el fresado y reposición de las capas deterioradas frente a los refuerzos más tradicionales permiten augurar un importante y sostenido incremento de los materiales disponibles para su reciclado en caliente en central. Por tanto, el reciclado en caliente en central es una técnica con la que habrá que contar inevitablemente si se pretende una gestión eficiente de las inversiones en infraestructuras públicas y la aplicación de políticas medioambientales adecuadas .

El manifiesto retraso de nuestro país en cuanto a la aplicación de esta técnica debe recuperarse cuanto antes pues los residuos no valorizados procedentes de las carreteras no pueden seguir creciendo sin contradecir aquellas pretensiones. En la actualidad, escasamente un 10% de los cerca de 3 millones de toneladas de materiales bituminosos fresados anualmente en España son reutilizados mediante su reciclado en central en caliente. En su mayor parte son infravalorados, empleándose en rellenos o como materiales granulares, acopiados indefinidamente dificultando sus posibilidades de futuros aprovechamientos, o llevados a vertedero ^(16, 17).

La evaluación ambiental de los impactos causados por la construcción y conservación de firmes de carreteras, cuanto más rigurosa y sofisticada, cuando más orientada a la satisfacción de los requisitos de un desarrollo sostenible, con mayor fuerza conduce a las conclusiones siguientes:

- Interesa utilizar los mayores periodos de proyecto posibles, pues las consideraciones económicas prueban el interés de prolongar ese periodo hasta, al menos, cuarenta años. Los ahorros derivados de retrasar las operaciones de refuerzo estructural y de las correspondientes alteraciones al tráfico justifican las mayores inversiones iniciales ⁽¹⁸⁾.
- El tipo de firme debe seleccionarse contando con las futuras operaciones de conservación que habrá de precisar. La rehabilitación superficial consistente exclusivamente en el extendido de capas delgadas y/o en la sustitución de una capa de rodadura deteriorada ofrece indudables ventajas desde el punto de vista de costes y plazos de ejecución de las obras de conservación ⁽¹⁹⁾.
- El perfil ambiental de los materiales y procedimientos constructivos proyectados debe seleccionarse cuidadosamente. Es necesario proyectar para la *reciclabilidad* y evaluar mediante *análisis de ciclo de vida* las distintas alternativas viables ⁽²⁰⁾.

Los firmes flexibles, contruidos por diversas capas de materiales bituminosos, constituyen, probablemente, la mejor respuesta a las necesidades derivadas de las anteriores exigencias:

- Permiten el proyecto de estructuras multi-capa, adaptadas a las necesidades de los firmes de larga duración ^(21, 22),
- Suponen la solución más ventajosa, en cuanto al impacto ambiental durante la construcción, frente a cualquier alternativa de firmes rígidos o semi-rígidos ⁽²³⁾, y
- Emplean materiales 100% reciclables, cuyas propiedades pueden ser completamente restauradas y susceptibles, además, de admitir reciclados sucesivos.

La vida de los firmes también puede entenderse prolongada con la de sus componentes, aun cuando tengan por destino una carretera distinta de la de su procedencia. El reciclado de mezclas bituminosas en central en caliente es, por tanto, una técnica de producción imprescindible cuando se pretenden atender los requisitos de la *sostenibilidad*. También la necesaria distinción entre *reutilización* y *reciclado*, que suponen bien



Foto 9. Tambor secador mezclador, tipo double barrel.

diferentes aproximaciones a la sostenibilidad, sitúa esta técnica por delante cualquier otro tipo de procedimiento de reciclado desde el punto de vista de su valoración ambiental. ^(24, 25)

PRESENCIA ACTUAL DE LA TÉCNICA

Ya se ha mencionado en el epígrafe anterior la necesidad de ampliar el alcance actual de la técnica de reciclado en central en caliente en España. Las estadísticas de ASEFMA muestran que escasamente un 10% de las instalaciones asfálticas se hallan adaptadas para la incorporación de materiales fresados, ni siquiera en las tasas más bajas ⁽²⁶⁾. Según se ha mostrado anteriormente, las economías posibles son independientes de la tasa de reciclado (si no mayores con tasas reducidas) mientras se reutilicen la totalidad de los materiales disponibles. Habida cuenta de las posibilidades abiertas por la normativa técnica en vigor, que admite que proporciones de hasta un 10% se utilicen sin necesidad de ninguna aprobación, no es fácil comprender la poca entusiasta respuesta de gran parte del sector de fabricantes de mezclas bituminosas.

Por otro lado, las contadas instalaciones adaptadas para la producción de mezclas con altas tasas de reciclado se hallan claramente infrautilizadas. En este caso no puede dudarse de la decidida apuesta de unos fabricantes que han acometido unas inversiones significativamente más elevadas confiando en unas expectativas que no pueden considerarse, ni mucho menos,

satisfechas. A este respecto, convendrá preguntarse, probablemente, por dificultades relacionadas con la falta de proyectos de rehabilitación adecuados, impedimentos para la redacción de las modificaciones oportunas, restricciones a su campo de aplicación o, incluso, con la titularidad y la responsabilidad de la gestión de los materiales fresados.

Si nos interesamos, por ejemplo, por obras en las que hayan podido explotarse las posibilidades ofrecidas por las instalaciones más avanzadas, hasta el momento sólo podemos referirnos a dos actuaciones recientes. En ambos casos la central utilizada ha sido una planta continua, tipo *double barrel* marca ASTEC, modelo SIX PACK, de 260 t/hora de capacidad, propiedad de SORIGUÉ, S. A. (ver Foto 9):

- En 2004 SORIGUÉ, S.A. llevó a cabo, en la CN-230, en el tramo comprendido entre Viella y la frontera francesa (Lleida), por cuenta de la *Demarcación de Carreteras del Estado en Cataluña*, la que ha sido la primera obra de rehabilitación de firme con mezclas bituminosas en caliente recicladas en central con un 50% de materiales fresados. Se pusieron en obra más de 30.000 toneladas de mezcla tipo S20R50.
- En 2005, PAVASAL ha puesto en obra 20.000 toneladas de mezcla reciclada S20R50 en la *Autovía A-7* entre los P. K. 566 y 572, en la calzada dirección Almería, por cuenta de la *Demarcación de Carreteras del Estado en Murcia*.

Los criterios de diseño utilizados en estas dos obras, así como los resultados obtenidos de los análisis efectuados pueden consultarse en el número 149 de esta misma publicación donde han sido expuestos con algún detalle. Además de la producción, en condiciones controladas, de mezclas recicladas con tasas tan elevadas, se alcanzaron los objetivos de regeneración previstos y hasta donde pudo comprobarse, se obtuvieron comportamientos asimilables a los de mezclas convencionales de nueva producción. Esta comprobación constituye la mejor garantía de la viabilidad de una técnica que, probablemente, debería entenderse antes como un procedimiento de producción de mezclas bituminosas perfectamente aptas para su uso en cualquier obra de construcción o conservación que como una técnica de rehabilitación diferenciada ^(8, 17, 27).

Queda mucho camino por recorrer, pues, hasta que la producción de mezclas bituminosas recicladas en central caliente alcance una implantación que pueda aceptarse como satisfactoria. Sólo cuando se inviertan las proporciones actuales y la parte de materiales fresados

Gestión de Mercado de Asfaltos

Gestiona:

Solicitud y mantenimiento del mercado

Ensayos de laboratorio

Control de la producción y materiales



GEMA

***Herramienta de ayuda para el desarrollo
del mercado CE de las mezclas bituminosas***

 **CIBERNOS**

www.cibernos.com

c/ Vizconde de Matamala, 1
28028 Madrid
Tlf. 91 724 19 40
marketing@cibernos.com

destinada a usos distintos de su reutilización en caliente sea minoritaria en lugar de predominante, comenzará a avanzarse en esa dirección. Este imprescindible progreso depende, seguramente, de que se cumplan los siguientes requisitos:

- Que la totalidad de las centrales fijas dispongan de sistemas adecuados para la producción de mezclas recicladas, aun empleando las tasas más reducidas,
- Que las obras de rehabilitación en las que se empleen mezclas con altas tasas de reciclado dejen de constituir auténticas excepciones a los procedimientos de producción más habituales, y
- Que las restricciones a su campo de aplicación disminuyan progresivamente hasta reducirse a las debidas propiamente a la compatibilidad entre los materiales fresados disponibles y la fórmula de trabajo de mezcla bituminosa objetivo.

Se trata de requisitos que dependen de la voluntad y el esfuerzo del conjunto de todos los agentes implicados en la construcción y conservación de nuestras obras de carreteras. Cada uno de ellos debería adoptar sus decisiones, ejercer sus responsabilidades y asumir sus eventuales riesgos, sin perder de vista que los beneficios, de todo tipo, derivados de la definitiva implantación de esta técnica superan, con mucho, los que pueden deducirse de simples balances económicos ceñidos al valor y plazo de retorno de las inversiones iniciales.

CONCLUSIONES

Los materiales recuperados por fresado de firmes envejecidos tienen un valor que puede deducirse directamente del de sus componentes, puesto que, tratados adecuadamente, tanto los áridos como el betún que contienen pueden sustituir los materiales vírgenes en una proporción que depende de la tasa de reciclado utilizada. Cualquier aprovechamiento distinto de la producción de mezclas bituminosas recicladas tiene un gran coste económico y medioambiental, pues supone desprestigiar sus posibilidades de reutilización.

Es imprescindible avanzar en la reutilización de los materiales obtenidos del fresado de los pavimentos envejecidos. Si bien sólo ciertas instalaciones permiten emplear altas tasas de reciclado, bastan pequeñas adaptaciones en las restantes para producir mezclas con tasas más moderadas y aún así, aumentar significativamente el alcance actual de la técnica. El compromiso medioam-

biental de los fabricantes de mezclas asfálticas debe plasmarse también en una decidida apuesta por las tecnologías más sostenibles. El reciclado en caliente de las mezclas bituminosas es una de las más accesibles para hacer de la construcción y conservación de nuestras carreteras un instrumento de desarrollo cíclico y sostenible.

Por su parte, las administraciones públicas pueden contribuir decisivamente a la implantación de una técnica cuya consolidación aún no puede darse por efectuada. Introducir los aspectos medio ambientales en la valoración de las obras es, sin duda, un buen modo de promover su desarrollo.

No debe perderse de vista, en fin, que el riesgo que ha de calibrarse no debiera ser tanto el relativamente acotado de los eventuales fallos en determinadas operaciones de rehabilitación como el que, sin ninguna duda, se deriva de la insostenibilidad de nuestros actuales modelos de desarrollo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SUMMERS, C. J. (2000): "The idiot's guide to highway maintenance". Hot Rolled and Bituminous Macadam. <http://www.highwaysmaintenance.com>
2. HUNTER, R. (2000): "Asphalts in road construction". Thomas Telford, London, 2000.
3. MC DANIEL, R. et al. (2000): "Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the Superpave mix design method". NCHRP Web Document 30. (Project D9-12): Contractor's final report.
4. BUTTLAR, W. y DAVE, E. (2005): "A micromechanics - based approach for determining presence and amount of recycled asphalt pavement material in asphalt concrete". Journals of AAPT. Vol. 74, 2005.
5. KANDHAL, P. y MALLICK, R. B. (1997): "Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments". Participant's Reference Book. NCAT - FHWA. Report N° FHWA-SA-97.
6. NC (1996): "Recycling Hot Mix Asphalt Pavements". NAPA, National Asphalt Pavement Association. Information Series IS 123.
7. ROBERTS, F., KANDHAL, et al. (1996): "Hot mix asphalt materials mixtures design and construction". NCAT. Second Edition, 1996.



«Aunque hoy somos una empresa diversificada (Obras Hidráulicas, Estructuras, Aeropuertos, FCC, etc.) hace más de 52 años alguien vio una necesidad permanente que nos compromete con las carreteras, MODECAR:

(MODERNización de CARreteras)™

Empresa fundada el 14/03/19




MODECAR

Experiencia, Calidad y Tecnología

Sede central: Avda. Americo Vespucio 5, núcleo 3, 1ª planta Modulo 12-14
Isla de la Cartuja, Sevilla C.P. 41090

Web: www.modecar.es
Telf.: 955 79 39 54

8. ORTIZ, J. y FELIPO, J. (2006): "Recomendaciones para la producción en central de mezclas con altas tasas de reciclado". Revista CARRETERAS. Número 149. Noviembre-Diciembre de 2006.
9. PÉREZ, Félix (2006): "Reciclado en planta de mezclas bituminosas en caliente". Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña.
10. BRYON, Y. (1984): "Structure colloïdale des bitumes. Relation entre composition structure -comportement". Rapport des LCPC. Junio de 1984.
11. ORTIZ, J. y SUBARROCA, M. (2004): "Influencia del polvo mineral en la reología de los materiales bituminosos e indicadores idóneos para su evaluación". Revista INGENIERÍA CIVIL. Número 134. Abril-mayo-junio de 2004
12. LÓPEZ, E. et al. (2006): "La regeneración del betún envejecido de aglomerados usados, una apuesta económico-ecológica (I)". Revista CARRETERAS. Número 148. Septiembre-October de 2006.
13. SULLIVAN, J. (1996): "Pavement recycling executive summary and report". U.S. Department of Transportation. Federal Highway Administration. Publication nº FHWA-SA-95-060. Marzo de 1996.
14. ORTIZ RIPOLL, J. (2007): "Mezclas bituminosas en caliente con altas tasas de reciclado". Jornada INTEVIA "Reciclado de firmes. Estado actual de la Técnica". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 30 de Enero de 2007.
15. NC (2003): "Les enrobés bitumineux". Tome 2. Revue Générale des routes et des aérodromes RGRA. USIRF
16. NC (2006): "Asphalt in figures 2005". Estadísticas elaboradas por la European Asphalt Pavement Association (EAPA), según información aportada por la Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas ASEFMA.
17. ORTIZ RIPOLL, J. (2004): "El reciclado en caliente en central como técnica de rehabilitación". Jornada INTEVIA "Rehabilitación de Firmes". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, 16 de Noviembre de 2004.
18. NUNN, M. y FERNE, W. (2001): "Design and assessment of long-life flexible pavements. Perpetual bituminous pavements". Transportation Research Circular. Number 503, Diciembre de 2001.
19. NEWCOMB, D., BUNCHER, M. y HUDDLESTONE, I. (2001): "Concepts of perpetual pavements". Perpetual Bituminous Pavements. Transportation Research Circular. Number 503, Diciembre de 2001.
20. ORTIZ RIPOLL, J. (2006): "Alargamiento de la vida de los firmes mediante las técnicas de reciclado". Jornadas sobre Optimización en la Planificación y Gestión de Carreteras. AEC, Barcelona, Febrero de 2006.
21. ULLIDITZ, P. (2002): "Analytical tools for design of flexible pavements". 9th International conference on asphalt pavements. International Society for Asphalt Pavements. Copenhagen, Agosto de 2002.
22. RUIZ RUBIO, A. (2004): "La carretera del futuro. Novedades en firmes". VI Congreso Nacional de Firmes. León, Mayo de 2004.
23. ORTIZ, J., MONCUNILL, C. y PARÍS, A. (2006): "Clasificación medioambiental de materiales y procedimientos para la construcción de firmes. Aplicación a las secciones de firmes de la norma 6.1-IC". VII Congreso Nacional de Firmes. Ávila, Mayo de 2006.
24. AUGENBROE, G. y PEARCE, A. (1998): "Sustainable construction in the United States of America. A perspective to the year 2010". CIB-W82 Report. Junio de 1998.
25. ORTIZ RIPOLL, J. (2005): "Relación entre los principios del Desarrollo Sostenible y la construcción y conservación de carreteras". Jornadas sobre Conservación de Carreteras y Seguridad Vial. RECOLETOS, conferencias y formación, Madrid, Febrero de 2005.
26. NC (2006): "Estadística de producción de mezclas bituminosas en España en 2005". Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas, ASEFMA. Junio de 2006.
27. MIRÓ, R., y PÉREZ, F. (2002): "Características mecánicas de las mezclas recicladas en caliente". Revista CARRETERAS, num. 119. Enero-Febrero de 2002. 



Sistema móvil de reciclado en planta en caliente

Mobile hot recycling plant system



Diego Peinado Martín

INTRAME S.A.

Mariano Cebrián González

INTRAME S.A.

RESUMEN

La manipulación y el calentamiento de áridos con betún plantean una serie de problemas que han de ser correctamente tratados:

- *Un posible deterioro del ligante presente en el material fresado,*
- *Emisión de las fracciones más volátiles del ligante,*
- *Problemas de manipulación del producto caliente, ya que se adhiere y se dificulta su transporte dentro y fuera del secadero, y*
- *Problema en el control de la fracción de materiales finos del material fresado.*

Para evaluar el impacto de estos factores se analiza la influencia del tamaño de la partícula de material fresado en los procesos de calentamiento, secado y transporte. Como consecuencia de este análisis, INTRAME ha diseñado un sistema eficaz y efectivo que puede ser empleado de forma competitiva y respetuosa con el medioambiente.

Palabras clave: Reciclado de mezclas bituminosas, Reciclado de firmes, Planta asfáltica, Maquinaria de construcción.

ABSTRACT

Heating and manipulating bitumen coated aggregates raises a series of problems which have to be solved:

- *A possible deterioration of the bitumen present in the RAP,*
- *Emission of bitumen's more volatile fractions,*
- *Hot material transport problems in and outside the drying drum due to its adhesivity, and*
- *Fine material fraction control problems.*

In order to evaluate the impact of these factors, INTRAME has analyzed the influence of the milled material particle size in relation with the heating, drying and transport processes. As a result of this analysis, INTRAME has designed an effective and efficient system that can be used in both competitive and environmental friendly forms.

Keywords: Reclaimed asphalt pavement (RAP), Recycled hot mix, asphalt plant, Road construction machinery.

En la actualidad existe una infraestructura de carreteras y autopistas en Europa que exige un mantenimiento constante para conservar sus características de seguridad y confort. Por tanto en Europa en general, y específicamente en España, la importancia relativa de las inversiones en rehabilitación de carreteras respecto a la construcción de nuevas vías está en aumento.

La rehabilitación del pavimento es uno de los aspectos más importantes en el proceso de rehabilitación global, ya que en muchos casos determina la calidad final del mismo. En este marco, es importante tener en cuenta las posibles influencias de las políticas y normativas medioambientales, así como consideraciones de tipo económico.

El proceso de refuerzo convencional añadiendo nuevas capas, elimina los problemas de desgaste y pérdida del ligante y se recuperan las características de forma originales del pavimento. Sin embargo, este tipo de actuación conlleva un problema inmediato: el espesor de la capa de rodadura se incrementa con cada nuevo extendido.

Para evitar este problema se ideó una máquina cuyo uso y por tanto sus ventas se ha incrementado exponencialmente en los últimos años: la fresadora de pavimentos. El funcionamiento de esta máquina consiste en una cabeza que fresa la carretera, arrancando material hasta una profundidad determinada, y el material arrancado se transporta hacia una tolva de recogida.

Este material fresado habitualmente se vierte en zonas adecuadas constituyendo una fuente importante de residuos perjudiciales para el medioambiente. Una vez más, la solución a un problema origina otro problema de distinta índole.

La solución completa pasa por la reutilización del material fresado en el proceso de rehabilitación del firme. De esta forma se consigue una actuación más competitiva y *sostenible*, ya que:

- Minimiza la utilización de recursos no renovables: áridos naturales y betunes asfálticos, en su aspecto medioambiental y económico.
- Minimiza la generación de residuos perjudiciales: reduce la ocupación de vertederos, y una vez más tiene una influencia positiva medioambiental y económica.
- Reduce las necesidades de transporte: de los materiales sustituidos a obra, y de los residuos al vertedero.

PROBLEMÁTICA DE LOS SISTEMAS DE RECICLADO EN PLANTA EN CALIENTE

Para reciclar y reutilizar aglomerados viejos en la fabricación de aglomerados nuevos, se han ido ideando una serie de sistemas con mayor o menor éxito tanto desde el punto de vista técnico como desde el punto de vista de la calidad del producto final.



Foto 1. Conjunto del sistema de reciclado móvil. En esta fotografía se puede contemplar únicamente el equipo de reciclado.



Foto 2. Integración del sistema de reciclado en una planta asfáltica UM-200: Integración de la torre de reciclado con la torre de la planta asfáltica.

1. Primer sistema: plantas tambor secador mezclador y plantas continuas

El primer sistema consistió en la introducción del material reciclado directamente en un anillo central del tambor de las plantas continuas de tipo *tambor secador-mezclador*. Sin embargo se planteaban dos problemas importantes:

- En primer lugar los problemas por todos conocidos de aseguramiento de la calidad del producto fabricado comunes a las plantas asfálticas de este tipo, agravados por la introducción de dos variables más: la curva granulométrica del material reciclado (no siempre estable), así como su proporción respecto del árido virgen; y el contenido en betún. Estos problemas también aparecen en las demás soluciones, pero en este caso agravan el ya de por sí complicado ajuste de la fórmula en una planta de este tipo.
- El segundo problema es de tipo medioambiental. La introducción del material reciclado se realiza por un anillo central en la zona de calentamiento de los áridos vírgenes en una zona demasiado expuesta a altas temperaturas. En algunos casos la inyección de betún

se realiza también a alta temperatura. El problema de emisión de las fracciones más volátiles del betún presente en las plantas asfálticas continuas, se ve agravado notablemente con la introducción de este material reciclado. Por una parte la emisión del material reciclado introducido en una zona térmicamente expuesta, por otra parte la mayor temperatura de inyección del betún incrementa las emisiones producidas por el betún líquido.

Existen sin embargo otras opciones para plantas continuas que parecen solucionar con éxito parte o casi la totalidad de estos problemas (por ejemplo, tecnología *Double Barrel*)

2. Segundo sistema: introducción del fresado en elevador o final del secadero

Un segundo sistema consiste en la introducción del material reciclado en frío o bien en el elevador en caliente, o bien en la salida de materiales del tambor secador.

En este caso, el material reciclado puede ser introducido en la criba, clasificándose aproximadamente (existe un

sesgo hacia tamaños mayores debido a que existe material agregado por el betún residual) o directamente al compartimento del todo uno.

Si se introduce en la criba existe una cantidad máxima de reciclado para que no se tupan las mallas. En todo caso, existen límites prácticos por encima de los cuales el producto fabricado empieza a perder sensiblemente calidad. Este límite se estima que puede estar alrededor del 10%.

3. Tercer sistema: sistema ponderal en frío

Un tercer sistema consiste en la introducción del material reciclado en frío directamente en el mezclador procedente de un sistema de pesado. De esta forma, se tiene un control mucho mayor de la cantidad de material reciclado introducido en la fórmula, que junto con una caracterización realizada en laboratorio de la curva granulométrica de dicho material así como de su contenido en betún, asegura la calidad del producto fabricado.

Únicamente hay que tener en cuenta que para que el betún nuevo se adhiera y cubra correctamente todo el material, se ha de alcanzar una temperatura uniforme y según el tipo de betún empleado ha de alcanzar temperaturas del orden de 160°C o superior para betunes modificados.

Dado que este material se introduce en frío y generalmente húmedo, los áridos vírgenes se han de recalentar de forma que según la proporción de reciclado que se introduzca la temperatura final sea la adecuada. Además, se ha de proporcionar un tiempo de mezcla en seco para asegurar que cuando la inyección de betún se produzca, la mezcla de áridos vírgenes y material reciclado haya alcanzado homogeneidad térmica, y asegurar la correcta evacuación del vapor de agua generado. El límite impuesto por el máximo recalentamiento hace que sea difícil superar el 20% de material reciclado.

4. Cuarto sistema: sistema ponderal en caliente

El último de los sistemas ideados para reutilizar pavimentos fresados, consiste en utilizar un medio de calentamiento de este material y luego introducirlo en el



Foto 3. Integración del sistema de reciclado en una planta asfáltica UM-200: Integración del secadero de reciclado con el de la planta asfáltica.

mezclador a una temperatura sensiblemente superior a la ambiente. De esta forma el problema del límite de recalentamiento disminuye apreciablemente y por tanto la tasa de reciclado puede ser mucho mayor (50%). Con las nuevas técnicas que se están investigando encaminadas a reducir la temperatura de fabricación y extendido, estos límites en la tasa de reciclado pueden aumentar considerablemente.

La manipulación y el calentamiento de áridos con betún plantean una serie de problemas que han de ser correctamente tratados:

- Un posible deterioro del ligante presente en el material fresado. Esto puede ser producido en un proceso de calentamiento demasiado enérgico.
- Además ligado con el anterior proceso se pueden emitir las fracciones más volátiles de la destilación parcial del ligante.
- Se presentan problemas de manipulación del producto caliente, ya que se pega y se dificulta su transporte dentro y fuera del secadero.
- Problema de control en la fracción de materiales finos del material fresado.

Para evaluar el posible impacto de estos factores comenzamos por analizar la influencia del tamaño de la partícula de material fresado en los procesos de calentamiento, secado y transporte.

INTRAME

PLANTAS ASFÁLTICAS ▶ DEL TIPO ESTACIONARIO

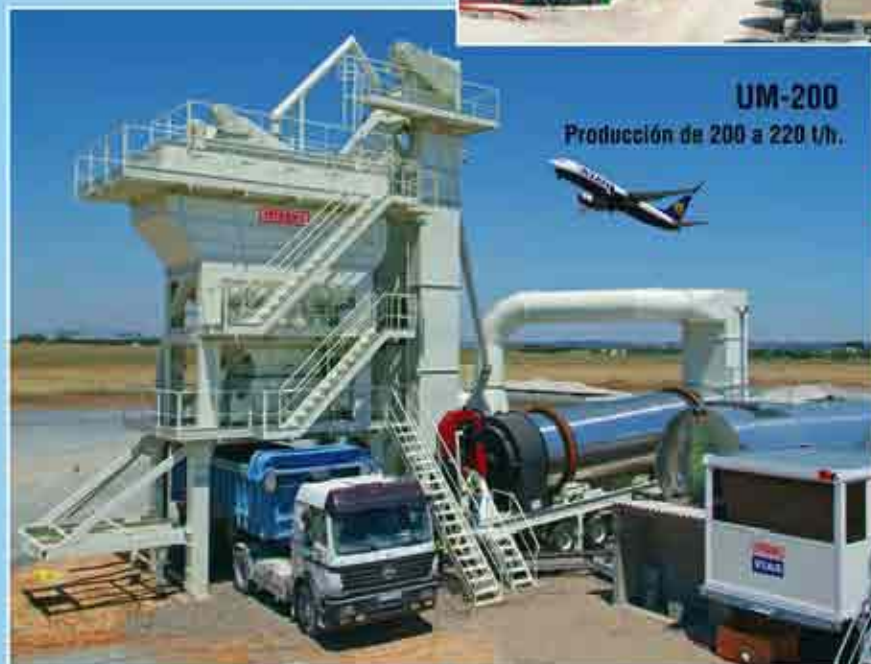
Producciones de 80 a 400 t/h.

Equipos de reciclado en frío y en caliente como accesorios.



RM-260

Producción de 260 a 300 t/h.



UM-200

Producción de 200 a 220 t/h.

◀ PLANTAS ASFÁLTICAS ULTRA-MÓVILES

Producciones de 80 a 400 t/h.

Equipos móviles de reciclado en frío y en caliente como accesorios.

PLANTAS DE GRAVA-CEMENTO Y SUELO-CEMENTO ▶

Producciones hasta 600 t/h.

Variantes: móviles,
semimóviles y estacionarias.

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



GT-600

Producción de 600 t/h.

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA PARTÍCULA EN LOS PROCESOS DE CALENTAMIENTO, SECADO Y TRANSPORTE

En una partícula de material la relación *superficie-volumen* varía como $1/L$ siendo L la dimensión característica. Para una partícula esférica es $L = R$, siendo esta relación exacta: $Sup/Vol = 3/R$. Para otras formas se tiene que $Sup/Vol \sim 1/L$. Por tanto para una partícula de 15 mm (tamaño medio del intervalo 6/24 mm), tenemos cinco veces menos superficie específica que para una de 3 mm (tamaño medio del intervalo 0/6 mm).

Esto significa que la humedad superficial del material por unidad de masa es cinco veces superior en el caso de la partícula de 3 mm, que para la partícula de 15 mm.

También significa que la cantidad de ligante por unidad de masa sería cinco veces mayor, siempre y cuando no existieran partículas que formaran conglomerados en el material fresado. En la realidad hay material aglomerado por el betún residual, y por tanto esta dependencia no es tan acusada. En todo caso, variaciones pequeñas en la composición granulométrica del material fresado, pueden alterar significativamente el contenido total en betún residual, máxime si estas variaciones afectan a las fracciones finas.

La superficie envuelta en betún que puede encontrarse en contacto con las paredes del sistema de calentamiento y transporte es también mayor con lo que los problemas de pegado se incrementan en un factor de 5.

Para los fenómenos no estacionarios de transferencia de calor a la partícula, esta relación también es fundamental pues representa la relación entre la transmisión de calor en la superficie y el cambio en la energía interna de la partícula. Por tanto, la partícula de 3 mm, sufre una tasa de transmisión de energía cinco veces mayor que la partícula de 15 mm y su tiempo de calentamiento será 5 veces menor.

Uniendo todos estos fenómenos podemos determinar que ante la transmisión de calor por el mecanismo combinado de radiación (de la nube de gas caliente) y convección, las partículas pequeñas sufren un mayor calentamiento, y por tanto se podría pensar que el ligante en ellas tiene una mayor tendencia a degradarse, agravándose este hecho ya que se encuentra en ellas en mayor proporción.

Sin embargo, también tiene una mayor tasa de humedad superficial. Esta humedad actúa en las etapas iniciales de secado como una protección, ya que la mayor parte de la energía inicialmente

transferida a la superficie de la partícula se invierte en evaporar el agua. Esta es la razón por la cual existen numerosos sistemas que emplean un secadero de tambor rotativo en corriente paralela de calentamiento directo, ya que la humedad está presente en el material en la zona del quemador. Por tanto, ésta preserva en la medida de lo posible el ligante adherido a las partículas.

Veamos de qué forma para la misma masa de partículas de 15 y 3 mm, la energía requerida para elevar su temperatura es la misma (solo depende de la masa) y su superficie es 5 veces mayor. Así pues para el mismo flujo de calor, el tiempo requerido para las segundas es 5 veces menor. Su humedad es 5 veces mayor luego se necesita 5 veces más energía, pero tenemos 5 veces más superficie, luego el tiempo requerido para calentar y evaporar la película delgada es el mismo.

Haciendo números para una humedad del 1% en las partículas mayores, la energía necesaria para calentar y evaporar el agua es aproximadamente un 25% de la necesaria para elevar la temperatura unos 120°C $\{0,01 \times (2.260.000 + 376.200) \text{ j/kg}$ frente a $120 \times 880 \text{ j/kg}\}$. Por tanto el tiempo relativo necesario para todo el proceso en las partículas mayores será de $(1 + 0,25)$, mientras que para las partículas menores será de $(1/5 + 0,25)$, y por tanto el tiempo de proceso será aproximadamente 2,78 veces mayor para las partículas mayores. En todo caso, el tiempo en el que están protegidas puesto que todavía tienen humedad superficial es el mismo. En la Figura 1, se representa un esquema con los tiempos de proceso.

También es cierto que cuando estas partículas tienen una mayor temperatura, comienzan los problemas de adhesión del material a las paredes del secadero por su contenido mucho mayor en ligante y su mayor superficie específica de contacto.

Numerosas experiencias han indicado también la gran variabilidad que se puede esperar en la granulometría de un material procedente de fresado de carreteras. Las variabilidades en las proporciones entre materiales más gruesos y más finos, pueden alterar significativamente en el tiempo la cantidad de betún residual, así como la rela-



Figura 1. Tiempo relativo de proceso para partículas de 3 y 15 mm.

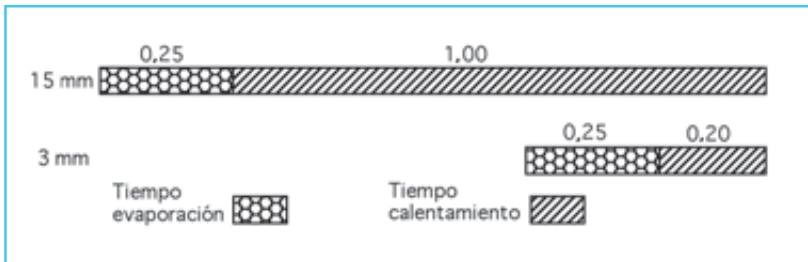


Figura 2. Tiempo relativo de proceso modificado para partículas de 3 y 15 mm.



Foto 4. Integración del sistema de reciclado en una planta asfáltica UIM-200: Integración de las tolvas predosificadoras del sistema de reciclado con la planta asfáltica.

ción filler-betún. Es por ello por lo que cada vez más se proponen sistemas de alimentación de material fresado en los que se ha realizado una división por tamaños (2 o incluso 3), para los cuales se realiza un control de alimentación independiente (volumétricamente en la mayoría de los casos).

NUEVO PROCESO DE TRATAMIENTO DEL MATERIAL FRESADO

Uniendo todos estos factores, en *INTRAME* se ha diseñado un proceso de tratamiento del material fresado basado en el esquema presentado en la Figura 2.

El proceso es el siguiente. Se dosifican de forma independiente las dos fracciones, 0/6 y 6/24, y de esta forma se garantiza la regularidad en la composición del material fresado introducido. La fracción de gruesos se introduce en el inicio del secadero, en la parte de mayor temperatura protegido por su humedad superficial. La fracción

de finos se introduce en un anillo de reciclado aproximadamente a la mitad del tambor, de forma que este material se seque y caliente en un mecanismo combinado de convección y contacto con las fracciones gruesas.

De esta forma se protege al ligante contenido en los finos, que no olvidemos que constituyen la mayor parte de éste. También se reduce el tiempo en el cual se presentan problemas de adhesión, en la fracción que más problemas de este tipo presenta.

Falta por definir el tipo de calentamiento que se emplea en el secadero. Existen dos posibilidades: el calentamiento *directo* y el calentamiento *indirecto*.

En un principio y para evitar los problemas de deterioro del ligante numerosos fabricantes emplearon sistemas de calentamiento *indirecto*, cuyo principio de funcionamiento se basa en calentar los materiales reciclados por medio de gases calientes (600-700°C), procedentes de una cámara generadora de gases.

En la actualidad casi todos los fabricantes emplean sistemas de calentamiento *directo*, cuyo principio de funcionamiento es el conocido secadero con la cámara

de combustión en su primera zona y funcionamiento en equicorriente. En casi todos los casos se ha conseguido un funcionamiento en el que las emisiones están por debajo de los límites reglamentarios en los distintos países de Europa (esto está cambiando), y la calidad del aglomerado es aceptable. Este sistema es considerablemente más económico que el anterior.

En el sistema que hemos diseñado, se ha optado por la solución más conservadora, ya que existe nueva legislación europea, en concreto en Bélgica y Holanda, que obligan a medir los contaminantes a la salida de cada secadero (no las emisiones totales en la chimenea), y limitando a 110 mg de COVs y 500 mg de CO al 17% de referencia en O₂. En el futuro haremos pruebas para ver si este nivel de emisiones se puede alcanzar con sistemas de calentamiento directo, más económico y más fácilmente transportable. Para comprobar el deterioro del ligante se utilizará la medida de COVs como una indicación directa de la destilación parcial del ligante, y por tanto de su deterioro.

Por último y en materia de emisiones, hay que hacer notar que existen numerosas mediciones realizadas por laboratorios independientes que han demostrado que la introducción de gases con COVs en el secadero de árido virgen no los destruye, ya que no se dan las condiciones necesarias de temperatura y tiempo de residencia.

SISTEMA MÓVIL DE RECICLADO EN CALIENTE EN PLANTA

Con las anteriormente expuestas consideraciones, el sistema diseñado resuelve, creemos que definitivamente los problemas enunciados en el apartado *Cuarto sistema: sistema ponderal en caliente*. Además queda por completar los requisitos generales expuestos al comienzo del artículo.

Las obras de rehabilitación se realizan en tramos determinados y en general son trabajos de no muchas toneladas. Es habitual encontrarse con el hecho de que no exista una planta fija que posea una instalación de este tipo en las cercanías de la obra de rehabilitación. Por tanto, el requisito de reducir las necesidades de transporte puede simplemente no darse, y de hecho si fuera obligatoria la utilización del material fresado se podría dar la paradoja de incrementar notablemente las distancias de transporte del material.

Por tanto estamos ante la necesidad de diseñar un sistema móvil que permita su incorporación a cualquier planta móvil *INTRAME* existente en la actualidad. De esta forma y para realizar una inversión rentable, una compañía que realice bastante obra de rehabilitación (para otros, o incluso como concesionaria y responsable del mantenimiento de diversas concesiones) podría contemplar el poseer una o varias plantas asfálticas móviles, y una instalación de reciclado móvil, de forma que éste último equipo pueda ser utilizado en cualquier planta de su parque.

En la Figura 3 se muestra un conjunto en el que se incluye una planta *INTRAME Ultramóvil* de 200 t/h (UM-200)

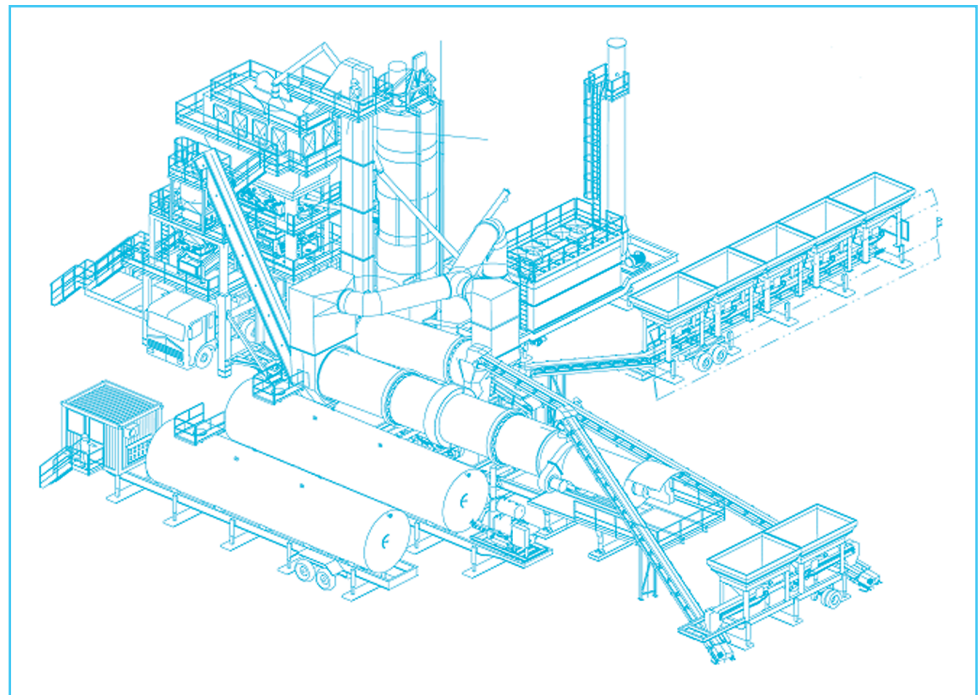


Figura 3. Conjunto Sistema de Reciclado Móvil + UM-200.

junto con el sistema de reciclado móvil, apreciándose la gran compacidad del conjunto, ya que prácticamente la ocupación del terreno es la misma que para la planta solo.

Para poder distinguir los elementos integrantes del sistema, en la Figura 4 se muestran solo los elementos constituyentes del sistema de reciclado.

Se parte de una unidad de dos tolvas predosificadoras en frío y dos cintas elevadoras que llevan individualmente cada granulometría al secadero, permitiendo así retrasar la entrada de la fracción 0/6 mm a la zona intermedia del secadero mediante un anillo especial. Con ello se logra un menor tiempo de permanencia de dicha fracción en el secadero, para que una vez seca, se minimicen los problemas de adherencia en las palas. De esta forma se disminuye el mantenimiento necesario.

Una vez calentado el material reciclado y eliminada gran parte de su humedad, es conducido a la planta para ser incorporado al proceso de fabricación.

Todas las zonas de paso del reciclado caliente deben de ser diseñadas cuidadosamente para facilitar su deslizamiento, estando por ello calefactadas y/o calorifugadas. Por tanto y para mejorar el comportamiento del material ante el transporte, los elementos encargados para su transporte hasta su incorporación al mezclador son: un elevador de tablillas, hacia una tolva de regulación,

CONOCER EL

ASEFALTO

El líder mundial en el diseño y fabricación de equipos de Ensayo para Asfaltos

El Grupo Controls dedica gran parte de su labor al diseño y fabricación de equipos de ensayos estáticos y dinámicos conformes a las nuevas Normativas Europeas para el Marcado CE de Mezclas Asfálticas. La red de Empresas que forman el Grupo Controls en los 5 continentes están enteramente dedicadas a la asistencia técnica y científica de las principales empresas y centros de investigación del sector y la satisfacción de sus requerimientos.

CONTROLS

www.controls.es

Equipos de Ensayo Controls S.A.

Polígono Industrial Arboledas
C/Sabino, Nave 5, Manzana D
45200 - Illuecas (Toledo), SPAIN
Tel: +34- 902 180 843 (4 líneas)
Facsimile +34- 902 180 846
E-Mail: info@controls.es

CONTROLS



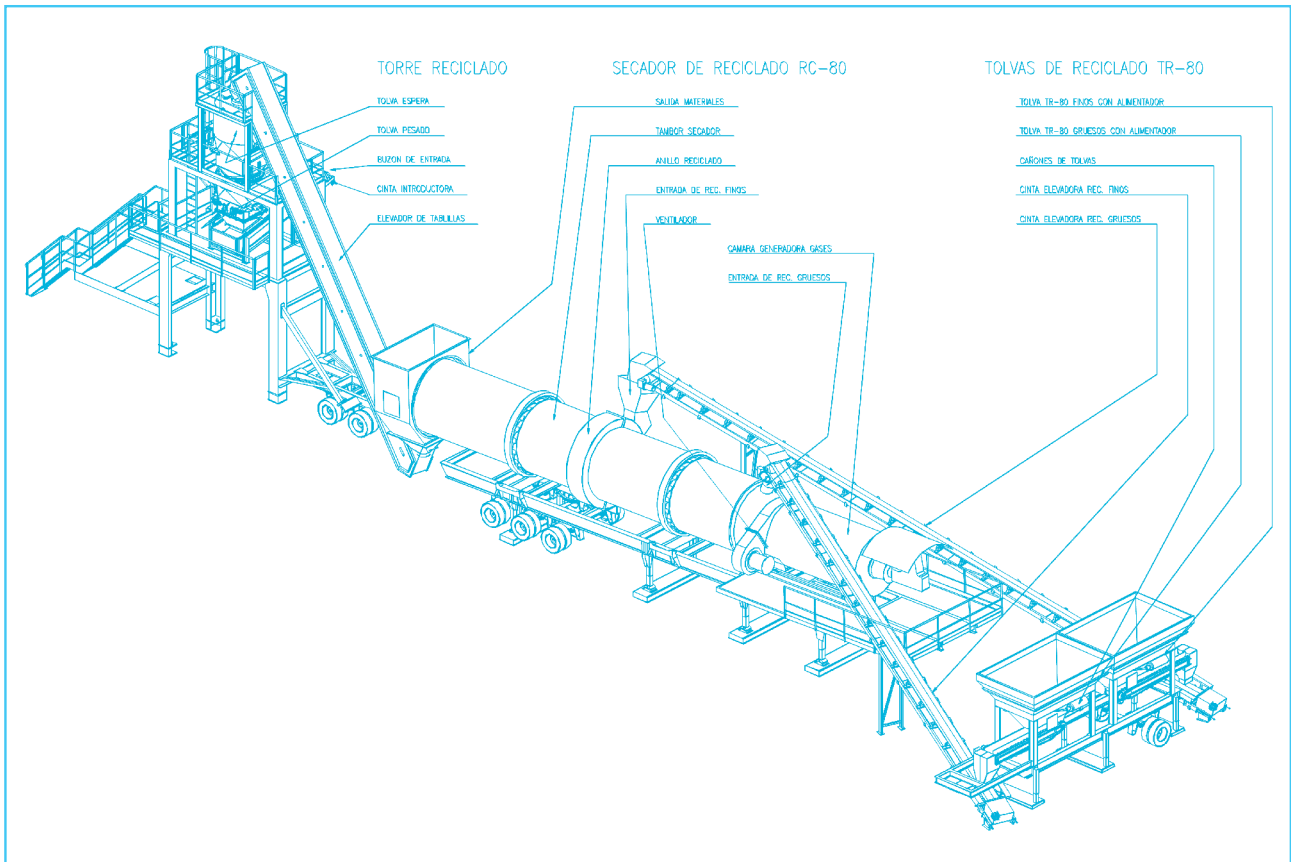


Figura 4. Conjunto de Sistema de Reciclado Móvil.

para continuar hacia una tolva de pesado situada debajo de la anterior, y allí ser descargado a una cinta, que lo introduce en el mezclador de la planta.

Los gases procedentes del secadero son aspirados por el ventilador de la planta, mezclándose con los del secadero principal, para pasar a través del filtro de mangas y salir depurados por la chimenea. Este sistema presenta ventajas respecto de otros sistemas ya que los gases procedentes del tambor de reciclado están a alta temperatura (unos 140°C en condiciones óptimas, que una vez que se degradan éstas puede alcanzar 180°C). La mezcla de estos gases con los del tambor principal en la primera parte del conducto que va desde el tambor principal al filtro de mangas, tiene dos efectos beneficiosos para el comportamiento del sistema completo.

En primer lugar, se mezclan en una zona de alta turbulencia las dos corrientes y por tanto se reduce la temperatura de la

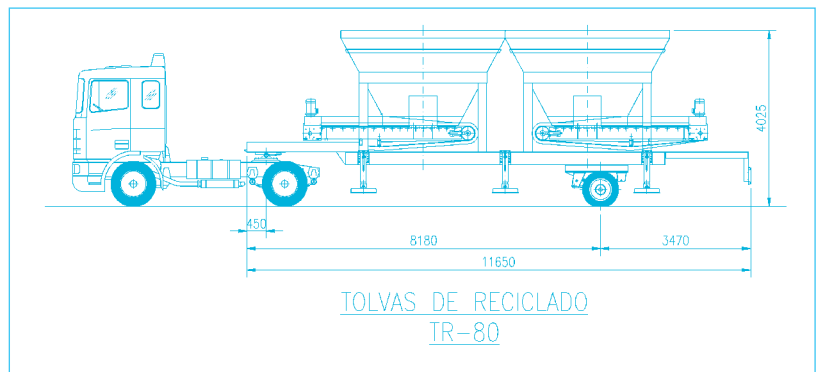


Figura 5. UNIDAD 1: Tolvas predosificadoras con muro metálico.

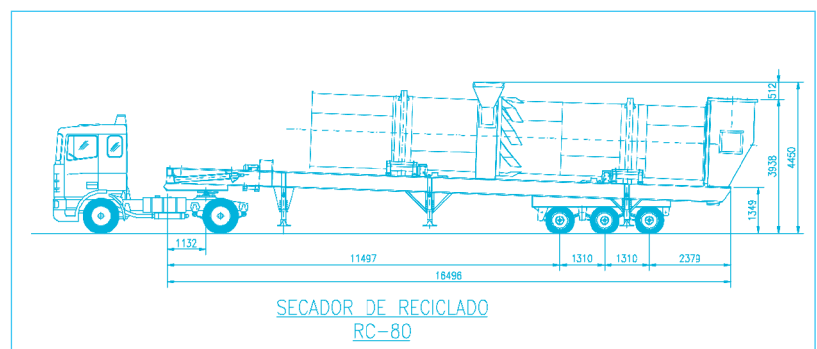


Figura 6. UNIDAD 2: Secadero.

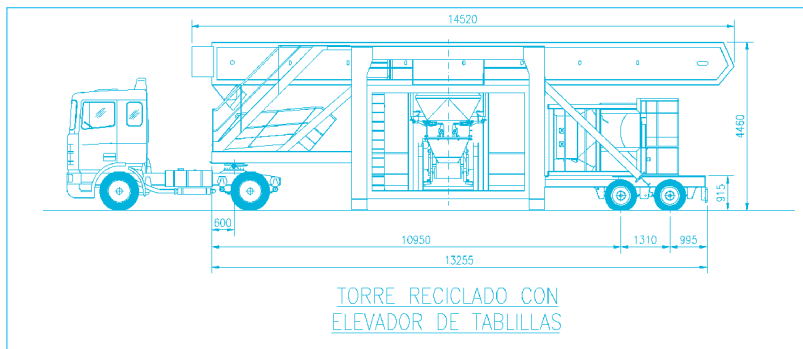


Figura 7. UNIDAD 3: Elevador de tabillas y torre de pesado.

mezcla a unos 120~130°C. Además la corriente principal tiene un contenido en filler mucho mayor, y en la zona de mezcla turbulenta se produce un efecto de coagulación entre las partículas de polvo y los posibles condensados (dada la bajada de temperatura) procedentes de la destilación de fracciones ligeras del betún residual, aunque este fenómeno es prácticamente inexistente dado el diseño del sistema de calentamiento.

El sistema de dosificación, tanto en frío como en caliente, está gobernado por ordenador que automatiza todas las operaciones y distintas dosificaciones, así como su conexión con el ordenador principal (caso de acoplarse el sistema a una planta ya existente).

Estos componentes pueden ser montados en conjuntos modulares o en conjuntos móviles según las necesidades del cliente.

En las Figuras 5 a 7 se ve un sistema de reciclado en caliente móvil compuesto por tres unidades.


Las tres unidades están dotadas de patas con dispositivo de apoyo telescópico ("jost") y repartidores de carga para eliminar las cimentaciones si el terreno tiene un mínimo de carga entre 2 y 3 kg/mm².

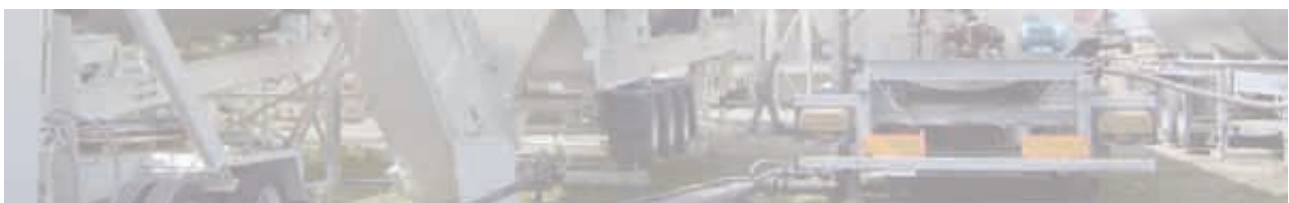
CONCLUSIONES

Se ha detectado una serie de necesidades que se presentan tanto en el mercado nacional como el europeo. Estas necesidades y requisitos son:

- Existe la necesidad de la reutilización del material fresado en los procesos de rehabilitación del firme, cada vez más frecuentes en la red existente de carreteras y autopistas.
- Para el empleo de tasas de material fresado en nuevos pavimentos es necesario calentar éste.
- El control del contenido de betún, relación filler-betún, y el control de la curva granulométrica es necesario para asegurar la calidad final del pavimento.

- El contenido residual de betún en el material fresado se ha de preservar de procesos que lo degraden.
- El calentamiento se ha de realizar de forma que se eviten emisiones de gases nocivos para el medioambiente.
- Los constructores necesitan equipos y sistemas fiables y con un mantenimiento económicamente viable.
- Las obras de rehabilitación tienen emplazamientos variables y por razones técnicas, económicas y medioambientales los procesos de reutilización del material fresado se han de producir en la cercanía de la obra.
- El costo de un sistema de este tipo se ha de amortizar, y la mejor manera de hacerlo es asegurar una tasa de ocupación alta. Para ello, que el sistema sea completamente reubicable, y que se pueda emplear conjuntamente con las diversas plantas de un parque de maquinaria es una de las maneras de asegurar esta alta ocupación.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, INTRAME ha diseñado un sistema moderno, eficaz y efectivo, que puede ser empleado por todos aquellos constructores de carreteras que tengan como objetivo el realizar obras de reciclado de forma competitiva y respetuosa con el medioambiente. 



Reciclado in situ en frío con emulsión Panorámica de la técnica

Cold-mix in situ recycling incorporating emulsion
Review of the technique



José Luis Peña Ruiz

Jefe de Asistencia Técnica de Materiales
(Probisa Tecnología y Construcción S.A.)

David Almazán Cruzado

Jefe de Asistencia Técnica de Firmes
(Probisa Tecnología y Construcción S.A.)

RESUMEN

Ha pasado aproximadamente algo más de una década desde las primeras experiencias en el reciclado in situ con emulsión en las carreteras españolas. El camino recorrido ha sido muy importante, pero si hubiese que concretar cuál es la situación actual, podríamos decir que nos encontramos todavía en una fase de aprendizaje.

Lógicamente, la técnica ha ido evolucionando a medida que se han ido ejecutando obras y se ha verificado su comportamiento en las mismas, introduciéndose mejoras en las formulaciones y en los procedimientos de ejecución y control en obra. Todo ello está conduciendo a un creciente uso de esta técnica y permitiendo que el mundo de las carreteras colabore de una forma inequívoca al crecimiento sostenible de nuestra sociedad.

En esta comunicación se tratará la evolución del reciclado "in situ" con emulsión de mezclas bituminosas, desde comienzo de los años noventa hasta nuestros días, recapitulando las fortalezas y debilidades de esta tecnología.

Palabras clave: Reciclado, Pavimento, Emulsión, Técnica en frío, Medioambiente.

ABSTRACT

Approximately a little over a decade has passed since the initial experiments were carried out with in situ recycling incorporating emulsion on Spanish roads. Very substantial progress has been made since but if the current situation had to be specified, we could say that we are still at a learning stage.

Logically, the technique has gradually evolved as works have been carried out and their performance checked, with improvements being introduced along the way in their formulations and in the procedures for work execution and monitoring. All of this is leading to an increasing use of this technique and allowing the road world to make an undeniable contribution to the sustainable growth of our Society.

This article covers the evolution of cold-mix in situ recycling of asphalts incorporating emulsion from the early nineties to the present day, summing up the strengths and weaknesses of this technology.

Keywords: Recycling, Pavement, Emulsion, Cold-mixed method, The environment.

Las expresiones *reciclado*, *crecimiento sostenible*, *medio ambiente* nos rodean constantemente, formando parte de nuestra vida diaria. Todo el mundo es consciente de que se recicla el papel, el vidrio, el plástico, pero...¿quién conoce que las carreteras se reciclan, aprovechando al 100% los materiales existentes?. El impacto social de las actividades de reciclado en el mundo de las carreteras es mínimo y es ahí donde hay mucho trabajo por realizar, ya que si la sociedad es consciente del valor de la tecnología del reciclado en las carreteras habrá más presión sobre los gestores de las infraestructuras para incluir como *rutina* las tecnologías que sólo se usan de forma eventual.

Los materiales procedentes del fresado de capas de mezclas bituminosas degradadas, constituyen un 10% de los residuos procedentes de la construcción y de la demolición (RCD), que son la mayor fuente de residuos inertes del país. Su producción estimada anual se sitúa en torno a los 62,50 kg/hab, con lo cual se generan unos 2,5 millones de toneladas al año, de las cuales sólo se recicla poco más del 10%, en la actualidad, en España. Aunque supuestamente, parte del 90% restante no vaya a vertedero y se reutilice en otro tipo de aplicaciones, aún estamos muy lejos de aprovechar los recursos que nos ofrece la propia carretera, pues el agotamiento de un firme no implica el agotamiento de los materiales que lo componen.

Esta situación genera, por una parte, la posible formación de vertidos incontrolados, y por otra, el fuerte impacto ambiental, en cuanto a aumentos del tráfico pesado, impacto visual, alteración de hábitats y formación de espacios degradados.

Por otra parte, el fuerte impulso del marco legal europeo, junto a la necesidad de rehabilitación de infraestructuras viarias, van a marcar el futuro inmediato de las técnicas de reciclado.

El *reciclado* es una técnica de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de las capas del firme que ya han estado en servicio: materiales que han perdido algunas de sus

propiedades iniciales por el uso o envejecimiento (cohesión, textura, composición, geometría,...), pero que tienen el potencial de ser reutilizados para integrar nuevas capas de firme.

Dentro del mundo de la pavimentación existen varias clases de reciclado de pavimentos. Su clasificación atiende a tres criterios principales: el tipo de ligante, la temperatura a la que se realiza el tratamiento y, finalmente, al lugar en el que se efectúa el reciclado. Así se puede hablar de reciclado con emulsión, con cemento, o mixtos; en frío o en caliente e *in situ* o en central. Cada una de ellas ofrece beneficios e inconvenientes, pero la que posee una mejor relación coste/prestaciones es la de *reciclado in situ con emulsión*.

En España, la técnica del reciclado *in situ* con emulsión de las carreteras se empezó a ejecutar hace aproximadamente una década, y desde entonces, se han repetido hasta la saciedad las ventajas de esta técnica frente a otras de conservación. Las ventajas que empezaron a enumerarse hace años siguen teniendo plena vigencia, e incluso han ido cobrando más importancia con el paso del tiempo.

Aunque las ventajas o características que se enumeran a continuación son aplicables a la mayoría de las técnicas de reciclado, en el caso del reciclado *in situ* con emulsión tienen mayor validez aún si cabe (ver Figura 1):

- **Ambientales:** se evita la extracción de nuevos áridos y el vertido de los materiales fresados.
- **Energéticas:** hay un menor consumo de energía en el proceso, con lo que se reducen las emisiones contami-

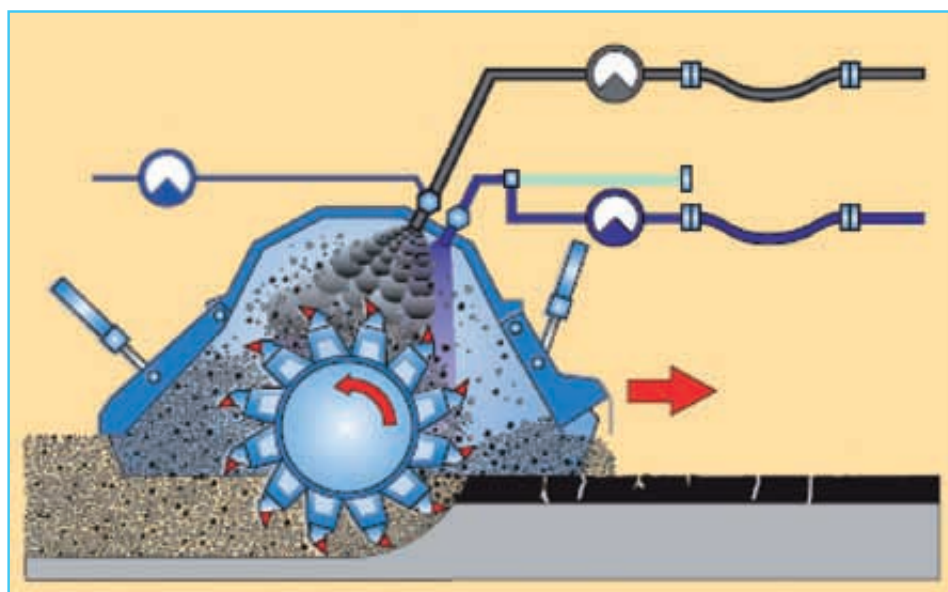


Figura 1. Esquema del proceso de reciclado "in situ" con emulsión.

nantes (CO₂, óxidos de azufre y nitrógeno asociados a la combustión de combustibles fósiles).

- *Operativas y de seguridad:* se reduce la perturbación al tráfico durante la construcción, porque una sola máquina, en una sola pasada, ejecuta el fresado del firme deteriorado, la mezcla con el ligante, y el extendido de la mezcla final. Se aumenta de este modo, la seguridad del tráfico y operarios, y se reducen las molestias y daño causado al tronco de la vía, por el peso y tránsito de la maquinaria de obra.

Además, al reducir el transporte de residuos y de nuevos materiales se reduce considerablemente el tráfico de obra con lo que disminuyen las perturbaciones en los tramos adyacentes, en cuanto a suciedad, capacidad (de circulación y estructural) y molestias a los usuarios.

- *Técnicas:* Se evita elevar la rasante junto a los bordillos o arcones existentes, bajo los pasos superiores o en los túneles; se puede tratar un solo carril (el más deteriorado) de una calzada que tenga varios en el mismo sentido y por último las capas superiores al reciclado se colocan sobre una base estable y no deteriorada, consiguiendo finalmente una vida útil mayor.
- *Económicas:* se reducen los materiales consumidos en el proceso de rehabilitación del firme (áridos, betún, etc.) a la par que se evita el transporte de los mismos a una central, o el de los ya tratados para su puesta en obra.

Cuando la rehabilitación estructural de una carretera pase por fresado y reposición de la mezcla deteriorada en más de un 25% de la superficie a tratar, y el posterior extendido de una capa de refuerzo, será muy conveniente estudiar la opción de reciclado *in situ* con emulsión más una capa de refuerzo, porque con los mismos recursos económicos o incluso menos, se puede optar por un tratamiento homogéneo para toda la superficie a rehabilitar. De hecho la *Orden Circular 8/2001* indica en el preámbulo que “*por consideraciones ambientales y de reutilización de los materiales existentes en los firmes y pavimentos, en las actuaciones cuya superficie de rehabilitación sea superior a 70000 m², se deberán tener en cuenta en el análisis de soluciones para el proyecto de rehabilitación del firme las técnicas de reciclado con las limitaciones y prescripciones indicadas en los puntos 3 y 4*”.

Esta misma indicación se contempla en la *Instrucción de Carreteras Norma 6.3 IC: Rehabilitación de Firmes*.

La información detallada en este trabajo se va a centrar en los reciclados en los que mayoritariamente se traten firmes tratados con materiales bituminosos, a los que se refiere la *Orden Circular 8/2001*. Los reciclados tipo I recogidos en la *Instrucción para el Diseño de Firmes de la Red de Carreteras de Andalucía* y los denominados tipo II y II de la Junta de Castilla y León no son objeto específico de este trabajo, aunque la mayoría de los comentarios y conclusiones tienen validez para los mismos.

MARCO NORMATIVO VIGENTE

El problema que acarrea siempre la publicación de una nueva normativa, es el desfase que se produce en el tiempo, entre los estudios e investigaciones necesarios para su redacción y los avances tecnológicos de la técnica y los materiales que la componen. Como a todas las tecnologías innovadoras, el marco normativo se suele quedar por detrás de la realidad en las obras. La prueba está en que se ha estado trabajando desde el año 1.997 aproximadamente, sin normativa alguna, a excepción de la *Guía para el Dimensionamiento de Firmes Reciclados in situ en Frío* de *Probisa*⁽⁴⁾ (de carácter informativo) y se ha tenido que esperar al año 2.002, que entró en vigor la *OC 8/2.001, sobre reciclado de firmes*⁽¹⁾.

La normativa española vigente, sobre reciclado, a nivel estatal, queda recogida en el PG4, en su *artículo 20 Reciclado in situ con emulsión de capas bituminosas*, en vigor desde el 18 de enero de 2002, según *Orden Circular 8/2001* del *Ministerio de Fomento* y en la *Orden FOM/3459/2003* en la que se aprueba la *Norma 6.3 IC, de Rehabilitación de Firmes*.

En la Comunidad Andaluza, se editó en 1.999, la *Instrucción para el Diseño de Firmes*⁽³⁾ (actualmente en fase de borrador la nueva versión del 2.007), que igualmente contempla las operaciones de reciclado en frío. Y que se encuentra en la misma línea de prescripciones que la normativa estatal, a pesar de que ésta plantea, además, otros tipos de reciclado en función de los espesores y la tipología de materiales a reciclar.

En Castilla y León, la Junta actualizó en el año 2.004, las *Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos*⁽²⁾, que igualmente recogen comentarios a cerca de esta técnica, y que al igual que la Junta de Andalucía, plantea más tipos de reciclado, a diferencia de la normativa estatal.

Y es que, sin duda, algo está cambiando desde hace unos años en todas las administraciones, tanto nacionales, como europeas con capacidad de contratación

de Obras. Se impone la construcción sostenible de infraestructuras del transporte, que además garantice una buena ejecución.

Desde un punto de vista normativo, dentro del continente europeo, podemos encontrar en Francia la guía técnica "Retraitement en place á froid des anciennes chaussées" editada en el año 2003 por el SETRA⁽¹⁸⁾. Otros países en los que se emplea con asiduidad esta técnica son Italia y Suecia.

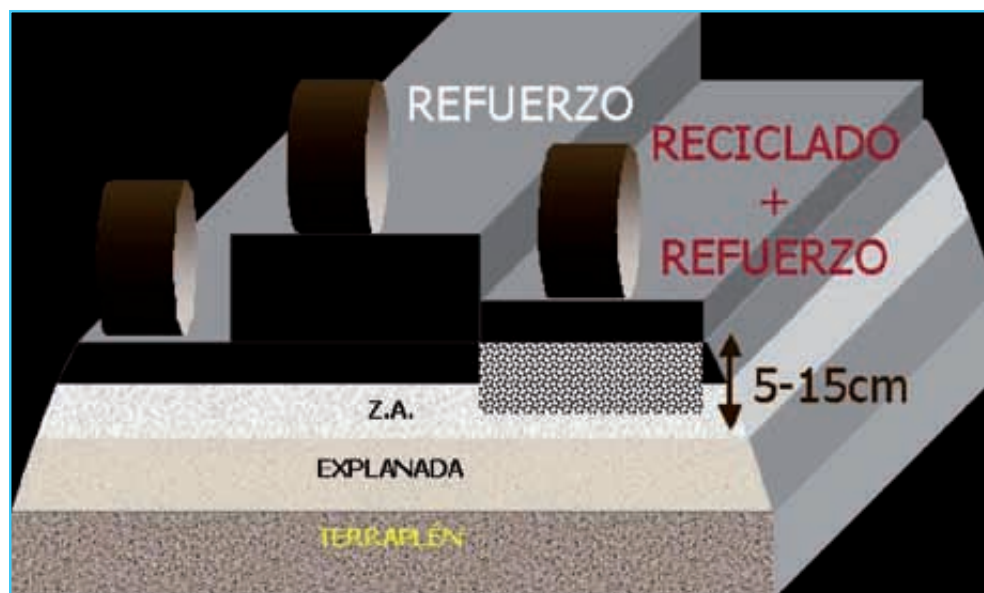


Figura 2. Posibilidades de rehabilitación de un pavimento.

TÉCNICAS DE REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE FIRMES LIMITACIONES

A la hora de abordar la rehabilitación de una carretera agotada tenemos muchas posibilidades. Sin embargo hay dos cuestiones claves que siempre nos deberíamos hacer:

- ¿Qué ha fallado en la carretera?
- ¿Qué quiere el gestor de la misma?.

La respuesta a estas dos preguntas reduce las opciones de rehabilitación a sólo aquellas que son compatibles con el presupuesto, la naturaleza del problema y el período de proyecto. Si además identificamos si el problema afecta a las capas superficiales o a la estructura del firme, la determinación de la mejor opción se ve aún más simplificada.

Las opciones de rehabilitación tradicionales son el refuerzo convencional y el fresado seguido de reposición (y normalmente, también de refuerzo). También se puede plantear la solución de una o varias capas de refuerzo posterior al reciclado, dependiendo de las condiciones del tráfico o de los resultados de las deflexiones obtenidas mediante auscultación (Figura 2).

Sin embargo, presenta, como cualquier otra técnica, algunas limitaciones entre las que se pueden señalar las siguientes:

- No todos los materiales son susceptibles de ser reciclados de forma efectiva y económica. Cualquier operación de reciclado, al igual que cualquier otra técnica de conservación, requiere un estudio previo de las secciones y de los materiales.
 - El reciclado no permite solucionar algunos tipos de problemas habituales en los firmes, en particular los asociados a mala calidad de la explanada o de capas profundas. Tampoco es fácil solucionar problemas de deformaciones plásticas y cuando es posible suele ser necesario el empleo adicional de árido para corregir la granulometría de la mezcla existente.
 - Cuando el firme que se pretende rehabilitar sea muy heterogéneo en cuanto al espesor y tipo de las mezclas que componen el paquete bituminoso, el reciclado *in situ* con emulsión puede no estar recomendado porque debería realizarse según una tramificación muy compleja y cada tramo necesitaría una fórmula de trabajo diferente, o en el mejor de los casos, solamente cambiar el espesor de la capa reciclada, con lo que cualquier otra solución de rehabilitación del firme resulta más competitiva económica y técnicamente.
- Este es el caso del reciclado en ciudades, donde además existen tapas de registro, y canalizaciones subterráneas, en ocasiones rellenas con hormigón hasta muy pocos centímetros de la cota de rasante, que imposibilitan esta solución.
- Tampoco es recomendable reciclar pavimentos que contengan geotextiles, sobre todo si éstos se encuentran dentro del espesor del material a reciclar, porque

su disgregación es complicada, y aparecerán trozos de geotextil en la superficie que se desprenderán muy fácilmente y el aspecto de la mezcla será deficiente. Por otro lado, estos geotextiles tienen la misión de evitar la reflexión de fisuras de las capas de base en la superficie de pavimento, y para ello deben estar impregnados en betún modificado en dotaciones en torno a 1 kg/m², con lo que el ligante que compone las capas a reciclar se encuentra distribuido heterogéneamente en el espesor a tratar.

DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento de cualquier estructura y, en particular, de los firmes, es siempre complejo. Esta afirmación es especialmente válida en el caso de las secciones recicladas, ya que en muchos casos no se conoce con exactitud la composición del firme a tratar en toda la extensión del tramo, por lo que es muy común encontrar zonas poco homogéneas.

El fin último del proceso de dimensionamiento, una vez elegida la naturaleza de las capas que van a integrar la sección seleccionada, es determinar el espesor de cada una de ellas. La tendencia más habitual suele ser acudir a catálogos de secciones que, en función normalmente del tráfico esperado, la aplicación de los coeficientes de equivalencia y el nivel de deflexiones existentes, proporcionan los espesores buscados. Este camino permite simplificar el proceso para los no expertos, conjugando las bondades del cálculo analítico con la experiencia y racionalidad de lo que es constructivo y está sancionado por la experiencia.

Otra posibilidad es utilizar un procedimiento analítico de cálculo. Generalmente se utilizan los modelos de respuesta basados en el modelo elástico multicapa, complementado con un análisis del comportamiento a fatiga de la estructura. La dificultad principal radica en la determinación de los módulos de cada capa y de las correspondientes leyes de fatiga. Normalmente las determinaciones de módulo dinámico en capas de reciclado con emulsión se realizan con equipo *Cooper* y mediante el ensayo de tracción indirecta.

Para las capas recicladas con emulsión, es frecuente admitir un módulo (que está del lado de la seguridad) de 2.500 MPa. Sin embargo este módulo penaliza mucho el comportamiento de la capa reciclada. En algunos casos, tanto es así, que por ser menor el módulo atribuido al reciclado que el de la mezcla bituminosa que actualiza, cuanto mayor es el espesor reciclado menos ejes soporta la sección en cuestión. De la experiencia se desprende

que los módulos alcanzados con este tipo de mezclas, evolucionan con el tiempo, y pueden llegar sin problemas a los 4.000 MPa⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾.

Cuando se recurre a secciones tipo las principales consideraciones que se tienen en cuenta son las siguientes (según se indica en la *Instrucción 6.3 IC*):

- Asignar un coeficiente de equivalencia al material reciclado respecto a una mezcla en caliente.
- Para tráfico T1 el material reciclado se debe recrecer con al menos 8 cm de mezclas bituminosas.
- Para tráfico de categoría inferior a T1 la *Instrucción 6.3 IC* requiere la aplicación de una mezcla bituminosa densa o semidensa. Para tráfico T4 la experiencia demuestra que la aplicación de lechadas bituminosas o de riegos con gravilla sobre el reciclado es una solución con suficiente durabilidad.

Para el dimensionamiento correcto del firme (tanto por el método de secciones tipo como por un método analítico) es necesario disponer de datos de deflexiones del firme. Otra información muy valiosa es conocer la sección real del firme, ya que a partir de unos datos dados de deflexiones dependiendo del tipo de base y explicada los análisis de sensibilidad pueden dar resultados muy dispares.

CRITERIOS DE DISEÑO: ESTUDIO PREVIO

La sistemática que se describe a continuación, tiene lugar una vez que se ha determinado que la mejor opción de rehabilitación para la vía es un reciclado en frío con emulsión. Antes de llevarla a cabo, es conveniente conocer:

- Período de proyecto,
- Tráfico,
- Historial del firme a reciclar,
- Geometría actual y futura de la vía,
- Posible aportación de materiales,
- Nivel de propiedades funcionales esperado,
- Presupuesto para la ejecución de los trabajos y la posterior conservación de la vía,
- Comportamiento del pavimento actual,



Construcción-Conservación de carreteras
Producción industrial de materiales para carreteras
Obras medioambientales
Servicios


Probisa



Una sociedad de **EUROVIA**





Foto 1. Calicata para extraer material.

- Capa o capas a situar sobre el reciclado,
- Disponibilidad de materiales y equipos, y
- Época en la que se ejecutarán los trabajos.

1. Reconocimiento del firme

1.1. Inspección visual

Se necesita llevar a cabo una inspección visual del pavimento existente, por parte de personas expertas, tomando nota de lo siguiente:

- Tipo, gravedad y tramificación de los deterioros, distinguiendo entre los superficiales, los estructurales localizados y los estructurales generalizados.
- Zonas localizadas con deterioros importantes, que pueden necesitar un tratamiento específico.
- Problemas relacionados con la presencia de bordillos, arquetas, obras de fábrica, estructuras y accesos.
- Problemas relacionados con el drenaje.
- Trazado de la vía y relieve del terreno.
- Zonas donde se puedan estacionar los equipos de construcción.

1.2. Toma de muestras

La fase de toma de muestras es crítica, no sólo desde el punto de vista del reconocimiento de la sección del firme a reciclar sino como paso previo para establecer la estrategia de tramificaciones más adecuada

para la ejecución de las obras. Además la caracterización de estos materiales nos adentra en la etapa siguiente, el diseño de la fórmula de trabajo.

Se trata de una campaña de extracción de testigos, de realización de calicatas o de obtención de material fresado en zonas representativas del firme degradado, según los criterios establecidos anteriormente (ver Foto 1).

2. Fórmula de trabajo

2.1. Materiales

Las muestras obtenidas del pavimento a reciclar se ensayan en laboratorio a fin de definir las características de los materiales a reciclar en cuanto a granulometría del fresado, contenido de betún y características del mismo. Es crítico obtener muestras representativas del pavimento a reciclar, tanto en homogeneidad de los materiales como en similitud respecto al tamaño de fresado obtenido durante el proceso de reciclado (Foto 2).

Los requerimientos básicos que ha de presentar una emulsión bituminosa para reciclado en frío son los siguientes:

- La emulsión debe ser compatible con la naturaleza y la granulometría de los materiales que se van a reciclar;
- La estabilidad de la emulsión debe permitir antes de la rotura un reparto lo más homogéneo posible del betún residual en la masa de dichos materiales.
- La toma de cohesión y las propiedades mecánicas finales de la mezcla deben ser las adecuadas para el tráfico durante la fase de ejecución y las solicitaciones finales del firme.

Las emulsiones que se utilizan en los reciclados son catiónicas y de rotura lenta, para, entre otros motivos, permitir la manejabilidad de la mezcla hasta el momento de la compactación.



Foto 2. Pavimento antes y después de reciclar.

TIPO DE RECICLADO	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 1. Husos granulométricos de la Orden Circular 8/2001.

Para mejorar la cohesión inicial de la mezcla es muy común el uso de cemento como aditivo en pequeñas cantidades. El papel que desempeña el cemento es triple:

- modifica bruscamente el pH de la fase acuosa, provocando el inicio de la rotura de la emulsión y facilitando la toma de cohesión inicial,
- añade un material con alta capacidad de absorción de agua, reduciendo la consistencia final de la mezcla y obteniendo altas resistencias conservadas, y
- mejora la susceptibilidad a la acción del agua.

El contenido de agua total se obtiene de la suma de los porcentajes de contenido de humedad natural de los áridos, de agua emulsionante y de agua de aportación para lograr una correcta envuelta árido-ligante, y que vendrá determinado por la fórmula de trabajo.

2.2. Diseño de la fórmula de proyecto

La fórmula de proyecto es la indicación básica para el director de la obra. La determinación de la fórmula de proyecto es la consecuencia de los ensayos realizados en el laboratorio, y las exigencias propias del trabajo a realizar. Para la determinación de la fórmula de proyecto es fundamental que los materiales sean lo más representativos posibles no sólo respecto de su procedencia sino también del proceso de fresado al que van a ser sometidos.

Para conocer con exactitud qué efecto va a tener el fresado en las características de los materiales sobre los que va a actuar (disgregación de los que presenten cohesión, degradación de los materiales, etc.), es muy conveniente, antes de iniciar la rehabilitación propiamente dicha, realizar unos tramos de prueba con el equipo que se vaya a utilizar finalmente.

Sobre los requisitos exigidos en la Orden Circular 8/2001 a los materiales reciclados merece la pena hacer algunos

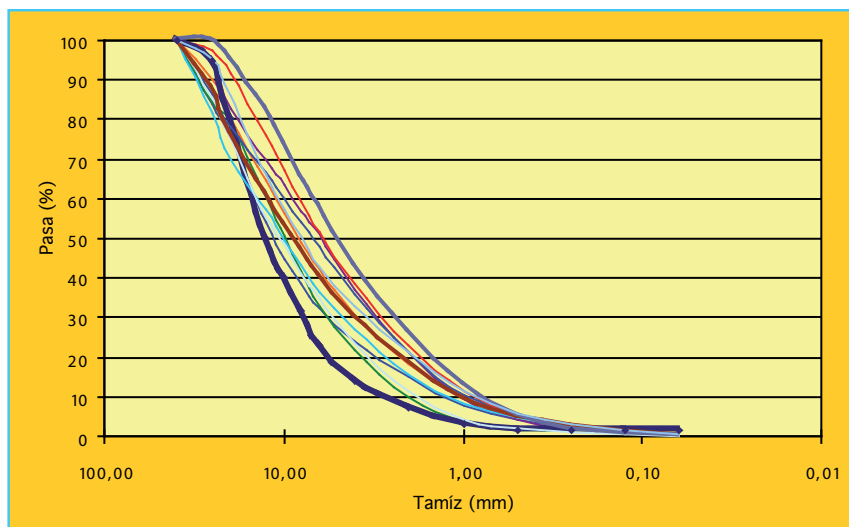


Figura 3. Tamizado de fresado generado por una recicladora.

comentarios. A nivel de material fresado, el Pliego marca unos husos (Tabla 1). El cumplimiento de los mismos no es crítico siempre que se tengan las siguientes precauciones:

- Que las granulometrías resultantes sean continuas y tengan suficiente cantidad de fresado en los tamices inferiores a 4-8 mm.
- Que no haya excesivo rechazo en el tamaño 25 mm. En este sentido la experiencia demuestra que en carreteras muy fatigadas, si el reciclado es menor espesor (tipo RE2) el fresado es más grueso que cuando se realiza a mayor profundidad. La razón de este fenómeno hay que atribuirlo al despegue entre capas de mezcla bituminosa, fenómeno muy habitual en las carreteras con fatiga pronunciada.

En la Figura 3 se muestran granulometrías típicas de obras de reciclado en las que se pueden ver las tendencias antes citadas⁽⁹⁾.

Un segundo aspecto a tener en cuenta con las fórmulas de trabajo, es que el cumplimiento de los criterios de resistencia a compresión de la Tabla 2, no siempre garantizan un buen comportamiento del reciclado. La razón de esta falta de fiabilidad del ensayo radica en que las densidades obtenidas en el mismo son muy superiores

res a las obtenidas en obra. Por esta razón, tal vez, sería necesario en futuras actualizaciones de las normas buscar condiciones de ensayo más próximas a la realidad.

Categoría del tráfico pesado	En seco (MPa)	Tras inmersión (MPa)	Conservada (%)
T1 (sólo capas de base) y T2	3	2,5	75
T3, T4 y arcenes	2,5	2	70

Tabla 2. Valores mínimos de resistencias en inmersión-compresión (NLT-162).

EVOLUCIÓN DE LA TÉCNICA

A lo largo de los años de experiencia acumulados se han ido produciendo mejoras y adaptaciones en la tecnología. Así se ha evolucionado en los aspectos señalados seguidamente.

1. Emulsiones

Al principio se utilizaban emulsiones de betún blando con el objeto de obtener un ligante final con una penetración intermedia entre la del nuevo ligante y la del envejecido, y que fuese similar a la penetración de un betún nuevo de los habitualmente usados en las carreteras.

Actualmente, la experiencia y los análisis efectuados, han demostrado que el éxito del reciclado radica en la cohesión del material, y ésta no sólo depende del grado de penetración del betún⁽⁵⁾⁽⁶⁾.

2. Adiciones

En muchos casos la incorporación de una emulsión no permite disminuir suficientemente la susceptibilidad al agua de la mezcla y la resistencia conservada suele ser inferior a los valores fijados por las normas. La incorporación de una pequeña cantidad de cemento (0,5-1 % en peso), permite disminuir el contenido de agua de la mezcla, y por lo tanto, aumentar su densidad. La resistencia en seco no aumenta, pero la resistencia después de inmersión sí lo hace⁽⁶⁾ (Foto 3).

3. Adherencia entre capas

El dimensionamiento de firmes considera como hipótesis de trabajo que las diversas capas del firme se encuentran adheridas entre sí. Durante bastantes años no existían evidencias científicas de tal sentido, pero en el Proyecto SCORE⁽¹¹⁾ se ha constatado de la validez de esta premisa (ver Foto 4).



Foto 3. Detalle de la dosificación de cemento.

4. Compactación

Debido a la dificultad práctica de obtener muestras del pavimento representativas de las granulometrías que se pueden obtener durante la obra, el valor de referencia para la densidad que se indica en la Orden Circular 8/2001 puede ser, en muchos casos, difícil de cumplir (Foto 5).

Por esta razón, la ejecución de un tramo de prueba es especialmente crítico para determinar un plan de compactación adecuado.



Foto 4. Dispositivo de ensayo para la medida de la adherencia entre capas (Método CEDEX).

5. Espesor de reciclado

De acuerdo a la normativa en vigor los espesores recomendados para reciclar están en el rango 6-12 cm. Desde un punto de vista práctico los espesores pequeños se han mostrado más críticos en las obras, aunque a priori parecen más sencillos debido a su teórica mayor facilidad de compactación. La razón de estos problemas radica en el tamaño especialmente grueso de los fresados realizados en firmes muy fisurados.

La conclusión obtenida es que los mejores resultados se alcanzan al reciclar en el rango 8-12 cm.



Foto 5. Proceso de compactación del reciclado.

6. Maquinaria

En este capítulo no ha habido mejoras muy substanciales, aunque sí una especialización de los equipos. En un principio se utilizaron tanto máquinas con regla de compactación incorporada como las que no la llevaban.

En los últimos años, el uso de los equipos con regla de compactación es la tónica predominante debido a su mejor calidad de acabado y prestaciones del material reciclado (ver Foto 6).



Foto 6. Recicladora con regla de compactación.


CONCLUSIONES

Todos somos conscientes de la necesidad de reciclar para conseguir un aprovechamiento óptimo de los recursos naturales. Al mismo tiempo la sociedad reclama una red de carreteras extensa y de calidad. Por lo tanto, es necesario conseguir mantener la red viaria en un estado de conservación óptimo, con el menor impacto ecológico posible y a un coste razonable.

El reciclado en frío *in situ* con emulsión cumple con creces todos estos mandatos de la sociedad, por lo que su promoción y difusión es básica.

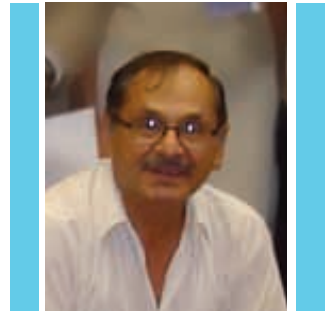
Desde un punto de vista técnico, los 15 años de experiencia acumulados arrojan un balance francamente positivo, siendo las perspectivas de esta tecnología muy halagüeñas. A este futuro prometedor contribuye decididamente el esfuerzo inversor que algunas empresas y administraciones han realizado en la investigación y desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA

1. "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación de Carreteras". PG4. Ministerio de Fomento.
2. "Recomendaciones de proyecto y construcción de firmes y pavimentos de la Junta de Castilla y León", actualizada en abril de 2004.
3. "Instrucción para el diseño de firmes de la Red de Carreteras de Andalucía" (O.C 1/99).
4. "Guía para el dimensionamiento de firmes reciclados in situ en frío". Miguel Ángel del Val, Sandro Rocci. (Probisa 1998)
5. I. M. Lancaster, J. Walter, P. Attané et A. Kalaaji, "Régénération du bitume dans le recyclage à froid", RGRA 848, 2006
6. M. Cruz, F. Delfosse, B. Eckmann, P. Landa et T. Tanghe, "Enrobage à la mousse de bitume", RGRA 849, 2006
7. D. Lesueur, L. Herrero, N. Uguet, J. Hurtado, J. L. Pena, J. J. Potti, J. Walter, I. M. Lancaster, "Emulsions de bitume micronisées et leur potentiel d'emploi en recyclage à froid - Partie 3" RGRA 850, 2006
8. B. Eckmann, F. Delfosse, J. L. Peña, J. Walter, I. M. Lancaster, J. M. Baena, L. Odié, C. Naudat, Y. Brosseau, A. Béghin et F. Placin, "Recyclage à froid des matériaux bitumineux - Etudes de formulation", RGRA 851, 2006
9. M. Froumentin et J. Bauer, "Influence des conditions de fraisage sur la granulométrie du matériau recyclé", RGRA 852, 2006
10. Y. Brosseau, V. Gaudefroy, A. Béghin, F. Placin, F. Delfosse et J. M. Baena, "Evaluation en laboratoire des propriétés mécaniques des enrobes bitumineux retraités en place par les techniques à froid", RGRA 853, 2006
11. D. Lesueur, J. M. Baena, J. L. Peña et J. Fiedler, "Éléments de validation in-situ du programme SCORE", RGRA 854, 2006
12. J. J. Potti, "Le Projet SCORE. Bilan Final", RGRA 855, 2006
13. Boletín 45 de Probisa. "Avances en el campo de los reciclados. Reciclado Mixto con emulsión y cemento". Octubre 2004.
14. "Manual de reciclado en frío" (Wirtgen)
15. "Basic Asphalt Recycling Manual" (Asphalt Recycling and Reclaiming Association).
16. "Proyecto y dimensionamiento de firmes con capas recicladas". A. Bardesi. IV Congreso Nacional de Firmes .1998.
17. "Reciclado de firmes con emulsiones". Juan Antonio Fernández del Campo.1997.
18. "Guide Technique Retraitement en place á froid des anciennes chaussées". Setra 2003. 



Armonización de especificaciones de cementos asfálticos para América Latina



Néstor W. Huamán Guerrero

Ingeniero Civil,
 Especialista en Ingeniería de Pavimentos
 Consultor y Ejecutor de Obras Civiles
 Profesor Titular del Curso de Pavimentos
 en las Universidades Nacional de Ingeniería
 y Ricardo Palma (Lima - Perú)

Para hacer frente a las exigencias del mundo globalizado en el que estamos inmersos, varios países de América Latina, entre ellos Brasil y Argentina, están interesados en que se armonicen las especificaciones de los ligantes asfálticos entre nuestros países, tal como ya lo han hecho los de Europa a través de la Comunidad Europea, quienes desde hace más de 20 años dieron inicio a esta titánica labor, teniendo como resultado en la actualidad las *Normas EN*, de obligatoria aplicación en todos los países conformantes de este grupo.

Ante similar necesidad en América Latina, es posible que también, quizás a medio o largo plazo, se pueda llegar a un consenso que permita la armonización de las especificaciones de nuestros *cementos asfálticos*^(a); para lo cual se ha dado el primer paso al reunir a profesionales de países latinoamericanos especialistas en el tema con la finalidad de iniciar esta importante labor.

LA REUNIÓN DE RÍO DE JANEIRO-BRASIL

Es así que los días 26 y 27 de marzo del presente año, por convocatoria efectuada de la *Asociación Latinoamericana del Asfalto (ALA)*, con sede en México se llevó a cabo en Río de Janeiro el "*Seminario de Armonización de Especificaciones de Cemento Asfáltico para América Latina*", donde concurrieron 11 representantes de igual número de países, entre ellos Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Méjico,

Paraguay, Perú, Uruguay y Venezuela (citados en forma alfabética). A esta reunión fui invitado en representación de Perú y en calidad de miembro del ALA, habiendo realizado una exposición sobre las especificaciones técnicas de nuestro país, así como las ventajas y desventajas que cada una de ellas conlleva dentro del comportamiento de los cementos asfálticos con los que contamos en nuestro medio. Asimismo lo referido a los ensayos de laboratorio, sobre los cuales me estaré refiriendo líneas abajo.

Como parte introductoria del Seminario, Juan José Potti, de España, hizo un recuento de cómo se habían elaborado la armonización de estas especificaciones en los países europeos, quien desde su inicio y hasta la fecha representa a su país para este fin; razón por la cual tiene una gran experiencia en el tema y que muy bien debe ser aprovechada (en el buen sentido de la palabra) para realizar nuestro trabajo con mayor seguridad y excelencia.

Tal como lo manifestó Juan José Potti, todos los países de este continente han contado y cuentan con sus especificaciones propias; las mismas que casi siempre son discordantes entre sí y de ahí lo difícil de poder llegar a consensos entre los integrantes del grupo.

Dentro de las Normas Europeas se tienen las: *DIN* (alemanas), *BSI* (inglesas), *AFNOR* (francesas), *NEN* (holandesas), *UNE* (españolas), etc. Eso sí, es totalmente claro que una vez la especificación es aprobada es de obligatorio cumplimiento por parte de todos los países intervinientes.

(a) En España suele emplearse el término *ligante bituminoso*.



Representantes de los diferentes países Latinoamericanos asistentes al Seminario sobre Armonización de Especificaciones de Cementos Asfálticos.

En el año 1988, los países europeos crearon los *Comités CEN*, como son:

- CEN TC 227 *Carreteras*,
- CEN TC 227 WG1 *Mezclas Bituminosas*,
- CEN TC 227 WG2 *Tratamientos Superficiales*,
- CEN TE 336 *Ligantes*,
- CEN TC 336 WG1 *Betunes*,
- CEN TC 336 WG2 *Emulsiones*, y
- CEN TC 336 WG3 *Betunes Modificados*.

Éstas se publican en el *Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE)* y se encuentran en permanente revisión.

Durante el desarrollo del evento cada uno de los representantes expusieron sobre las especificaciones y ensayos de laboratorio que realizan en sus respectivos países, habiéndose seleccionado los once ensayos más empleados para ser armonizados y que se incluyan en las especificaciones; para lo cual se ha nombrado un responsable o coordinador para cada uno de ellos, los mismos que han quedado distribuidos en la siguiente forma: Penetración (México), Punto de Ablandamiento (Brasil),

Ductilidad (Perú), Viscosidad a 135 grados (Costa Rica), Punto de Inflamación (Paraguay), Solubilidad (Colombia), Densidad (Uruguay), Oliensis (Chile), Viscosidad a 60 grados Brookfield (Argentina), Viscosidad a 60 grados Capilar (Venezuela), Índice de Penetración (Bolivia).

Asimismo todos los participantes deberán enviar sus métodos de ensayo de cada uno de sus países, informando sobre las diferencias entre los mismos y las *normas ASTM* al correspondiente coordinador, quien hará las respectivas evaluaciones; comparará las metodologías de cada país y preparará un informe sobre el ensayo en cuestión.

Con el fin de hacer un trabajo continuo y que se puedan tener avances satisfactorios sobre lo propuesto, se han proyectado dos reuniones para este año, en el mes de agosto en Cancún (México) y en el mes de noviembre en Cuba, aprovechando el desarrollo del *XIV Congreso Ibero latinoamericano del Asfalto (XIV CILA)*.

IMPORTANCIA PARA EL PERÚ

En primer lugar, hay que ser hidalgos y reconocer que la mayoría de los países de América Latina nos llevan una ventaja bastante considerable en lo que se refiere a contar con laboratorios sofisticados que nos permitan realizar ensayos de alta tecnología tanto con ligantes

asfálticos como para la caracterización de mezclas asfálticas y, por lo tanto, las labores de investigación son limitadas, trayendo como consecuencia que difícilmente nuestros pavimentos lleguen a alcanzar su vida útil para la que fueron diseñados con la consecuente pérdida económica para el país y, por ende, sigue presente el deterioro económico y social de las clases más pobres, además el medio ambiente se deteriora cada vez más, contribuyendo de esta manera a la destrucción de nuestro planeta con consecuencias posiblemente a medio y largo plazo desastrosas.

Por lo indicado, tengo la plena seguridad de que al armonizar especificaciones existe la posibilidad de nivelarnos de alguna manera con los países hermanos latinoamericanos a favor del nuestro, de ahí mi interés por fortalecer este proyecto en el que necesariamente deberán intervenir las partes involucradas como son las universidades, el Estado y la empresa privada; sin cuyo concurso todo esfuerzo será estéril.

Los ingenieros especialistas en el tema tenemos bien claro que el asfalto es un ligante de excelentes propiedades y comportamientos, pero lamentablemente por ser susceptible a las temperaturas extremas los ensayos de laboratorio que realizamos actualmente ya no son suficientes y, por lo tanto, debemos profundizar el estudio de su comportamiento reológico a través de sus propiedades visco elásticas. Éstas se logran conociendo los parámetros reológicos del asfalto como son el *módulo complejo* (G^*) y el *ángulo de fase* (δ), con la utilización de equipos para laboratorios más sofisticados como los del *Sistema SUPERPAVE*. De ahí también la exigencia de realizar otros tipos de ensayos para mejorar la especialidad de los pavimentos asfálticos como son el *Cántabro*, *Tracción Indirecta*, *Wheel Traking*, *Hamburgo*, *LCB*, *UCL*, *obtención de Módulo Dinámico*, etc.

Para terminar sólo quiero insistir, como siempre les reitero a los asistentes a mis disertaciones, sobre el tema que actualmente los ingenieros que de una forma u otra intervenimos en la elaboración de proyectos y/o ejecución de obras de pavimentos asfálticos y/o ejerceremos la docencia debemos tener bien claro que somos los responsables de *la transición* que debe darse para pasar del uso de los asfaltos líquidos o "cut backs" a las emulsiones asfálticas para el caso de los riegos asfálticos como son las imprimaciones asfálticas y los riegos de liga; del uso de los "cut backs" o emulsiones asfálticas a los asfaltos elastoméricos o modificados




En las Imprimaciones Asfálticas de Bases Granulares estamos obligados a pasar del uso de los Rc ó Mc a las Emulsiones Asfálticas (lamentablemente la fotografía corresponde a una obra en ejecución en territorio Brasileiro y no en Perú como nos gustaría)

con polímeros para tra bajos de tratamiento de fisuras; del uso de las mezclas asfálticas convencionales a mezclas asfálticas modificadas con polímeros o caucho para el caso de condiciones extremas de climas para lograr mayor durabilidad de las carpetas asfálticas y la mejora estructural del pavimento en su conjunto; así como metodologías modernas de diseños y procesos constructivos eficientes.

CONCLUSIONES

Como bien sabemos, el comportamiento del cemento asfáltico por las características propias del mismo es a veces imprevisible, y en algunas ocasiones difícil de entender; motivo por el cual la profundización de su estudio es muy importante, y mejor hacerlo a través de ensayos de laboratorio cada vez más sofisticados que nos permitan obtener una información real de su trabajo ante la solicitud de los agentes a los que está expuesto como parte conformante de un pavimento asfáltico.

Considero muy importante la posibilidad de armonizar especificaciones entre los países de América Latina, ya que esto permitirá concentrar esfuerzos para un mejor manejo de este material

Opino que estos esfuerzos deben ser comunes a todos los actores comprometidos con este reto como son las instituciones públicas, universidades con facultades o escuelas afines a esta especialidad, la empresa privada y finalmente las instituciones y organizaciones como los colegios profesionales de los diferentes países, asociaciones privadas, etc, ya que todos los países se verán favorecidos con una mejora substancial en la durabilidad de sus pavimentos. 

Las mezclas bituminosas en cifras

Se reproducen seguidamente los datos comparativos, referentes al empleo de productos bituminosos en las carreteras de numerosos países, proporcionados por gentileza de EAPA ("European Asphalt Pavement Association"), y que ésta ha editado como siempre bajo el título "Asphalt in figures 2005".

Superficie revestida con mezclas drenantes (año 2005)

País	Superficie total (en km ²)	Porcentaje respecto a la producción total anual de mezclas en 2005
Austria		0,5
Bélgica		< 1,0
Rep. Checa		0,6
Dinamarca	1,8	0,2
Irlanda		0,7
Italia	30,0	
Países Bajos		9,0
Portugal		5,0
Eslovenia		0,2
España		2,5
Suecia		0,5
Suiza	18,5	8,0
Japón	197,0	3,8
Nueva Zelanda		3,3

Aplicación en 2005 de lechadas asfálticas (LA), microaglomerados en frío (MAF) y tratamientos superficiales con gravilla (TSG). (Superficie revestida en km²).

País	LA & MAF	TSG
Croacia	1	0
República Checa	0,86	1,73
Dinamarca	0,2	5,4
Estonia	0	14,4
Francia	26	< 330
Islandia	0,1	4
Irlanda	0,15	14
Italia	3,5	6
Noruega	0	0,03
Polonia	0,88	2,7
Eslovaquia	1,5	
Eslovenia	0,1	
España	18,5	38
Suecia	0,5	8
Suiza	0,37	0,38
Turquía		250
Japón	0,097	



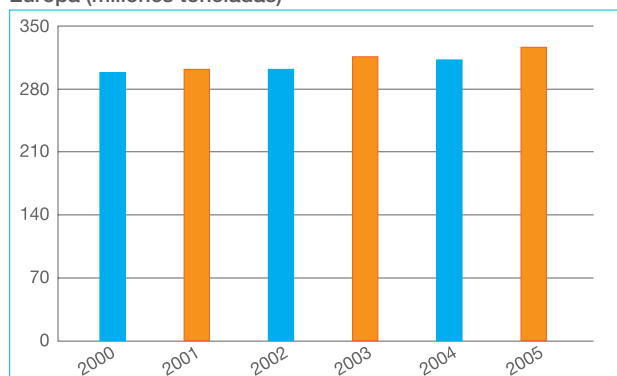
Producto anual de mezclas bituminosas en frío

País	2003 (toneladas)	2004 (toneladas)	2005 (toneladas)
Austria	50.000	50.000	60.000
Bélgica	35.000	23.000	34.000
Croacia	10.000	3.000	10.000
República Checa	2.950	7.530	7.830
Dinamarca	0	≈ 0	≈ 0
Estonia	8.902	0	0
Finlandia	715.000	1.114.000	1.210.900
Francia	1.600.000	> 1.600.000	> 1.700.000
Grecia	1.500	1.200	
Hungría	15.437	6.426	5.334
Islandia		7.460	7.400
Irlanda	200.000	200.000	200.000
Italia	75.000	77.00	80.000
Países Bajos	15.000	10.000	
Noruega	67.000	45.000	27.000
Polonia	52.000	50.000	57.000
Portugal			125.000
Eslovenia	1.135	2.420	700
España		510.000	350.000
Suecia	600.000	650.000	600.000
Suiza	430.000	460.000	470.000
Turquía	1.570.000	1.533.000	1.290.000
Japón	193.000	171.000	162.600
Nueva Zelanda	16.620		16.500
Venezuela		1.960	

Reciclado (año 2005)

País	Material reciclado (X 1000 t)	Porcentaje del material reciclado por procedimiento en caliente	Porcentaje de la producción total que contiene material reciclado
Austria	550	10	
Bélgica	1.500		36
Croacia	425		
Dinamarca	218		48
Francia	6.500	< 2	< 10
Alemania	14.000	18	≈ 60
Hungría		0	0,6
Irlanda	36	0	1,5
Italia	14.000		7
Países Bajos	3.000		63
Noruega	409	20	10
Polonia	1.080	55	0,1
Eslovaquia	123		
Eslovenia	22		15
España	2.250	4	3,5
Suecia	750	60	25
Suiza	900	50	
Reino Unido	4.500		
Japón	3.000		71,4
Ontario - Canadá		0	
Venezuela		0	≈ 0

Producción total de mezclas bituminosas en caliente en Europa (millones toneladas)



Producción total de mezclas bituminosas en caliente en el período 2000-2005 (en millones de toneladas)

País	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Austria	5,9	9,5	10,0	10,0	10,0	10,0
Bélgica	4,8	4,5	4,5	4,8	4,9	5,2
Croacia	1,7	1,8	1,9	3,5	3,0	3,8
República Checa	4,7	4,3	4,4	5,8	5,5	5,6
Dinamarca	3,3	2,8	2,8	2,9	3,6	3,2
Estonia	0,7	0,6	1,1	0,9	1,1	1,2
Finlandia	3,8	3,6	4,1	4,9	4,5	5,0
Francia	39,9	40,5	39,4	38,7	40,5	40,1
Alemania	65,0	63,0	58,0	55,0	52,0	57,0
Grecia	6,5	6,5	6,5*	7,2	7,0	7,0*
Hungría	2,5	2,9	3,2	3,1	3,0	3,8
Islandia	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3
Irlanda	2,9	3,1	3,2	3,3	3,4	3,4
Italia	37,3	39,8	39,9	42,4	46,0	40,1
Letonia	0,6	0,6*	0,6*	0,6*	0,6*	0,6*
Países Bajos	7,5	7,7	7,9	7,9	7,9	8,6
Noruega	4,5	4,1	3,9	4,1	4,5	5,1
Polonia	11,6	11,2	10,8	12,0	12,7	15,0
Portugal	5,6	5,5	6,0	6,0*	6,0*	12,5
Rumania	2,8	2,5	2,8	2,8*	2,8*	2,8*
Eslovaquia	1,1	1,1	1,2	1,2	1,0	1,8
Eslovenia	1,8	1,4	1,4	1,6	1,7	1,5
España	30,0	30,0*	30,0*	42,0	38,9	41,5
Suecia	7,2	6,7	6,7	6,6	6,8	7,2
Suiza	5,2	5,1	5,0	4,8	4,6	4,7
Turquía	10,7	11,3	14,7	13,2	11,3	16,6
Reino Unido	25,5	26,5	27,8	27,8	26,9	27,9
Europa	293,4	296,9	298,0	313,3	310,5	321,1
Australia	6,5	6,7	7,0	6,5	6,9	7,7
Japón	71,0	69,4	68,1	63,7	60,2	57,3
Nueva Zelanda	0,7*	0,6		0,8		0,9
Ontario - Canadá	14,5	14,0	14,0	13,0	11,0	13,0
U.S.A.	535,0	520,0	500,0	500,0	475,0	500,0
Venezuela					6,6	9,5

(*) Sin datos ese año, se ha puesto dato del año anterior.

Webs de interés:

www.eapa.org	European Asphalt Pavement Association
www.sdruzeni-silnice.cz	Asociación of Road Contractors Praha
www.asfaldiliit.ee	Estonian Asphalt Pavement Association
www.asfalttilitto.fi	Finnish Asphalt Association
www.usirf.com	French Asphalt Pavement Association
www.asphalt.de	German Asphalt Association
www.asphalt.or.at	Gestrata
www.hapa.hu	Hungarian Asphalt Pavement Association
www.siteb.it	Italian Asphalt Association
www.aef.no	Norwegian Asphalt Association
www.mischgut-industrie.ch	Schweizerische Mischgut-Industrie
www.saav.sk	Slovakian Asphalt Pavement Association
www.zdruzenje-zas.si	Slovenian Asphalt Pavement Association
www.asefma.com.es	Spanish Asphalt Pavement Association

Consumo total de betún en la industria de la carretera (en millones de toneladas)

País	Consumo total en 2005	Porcentaje de betunes modificados sobre el total (2003)	Porcentaje de betunes modificados sobre el total (2004)	Porcentaje de betunes modificados sobre el total (2005)	Consumo de emulsiones 2005
Austria	0,60	50	50	60	0,020
Bélgica	0,24	23	21	23	
Croacia	0,20	0,02	10	0,05	0,012
República Checa	0,32	17,8	19	19	0,020
Dinamarca	0,16	5	5	5	0,020
Estonia	0,06	0	0	0	0,002
Finlandia	0,32	1	5	2	0,010
Francia	2,90	< 10	< 10	< 10	0,990
Alemania	2,42	13	16,8	22,7	
Hungría	0,21	10,3	9,7	30,6	0,003
Islandia	0,03			0	
Irlanda	0,27	11	10,5	10	0,020
Italia	1,97	7,7	7,4	8,7	0,078
Países Bajos			8	3	
Noruega	0,28	0	0	1	0,007
Polonia	0,86	2	2	12	0,065
Portugal	0,65			4	0,065
Eslovaquia	0,11	22	16	19	0,014
Eslovenia	0,08	12,5	15	18	
España	1,87		5,7	8,5	0,233
Suecia	0,50	2	2	2	0,050
Suiza	0,24	7	7	9	
Turquía	1,45	0,5	1,4	0,8	0,005
Reino Unido	1,67	6	6,5	7,0	0,150
Australia	0,75	10	10	20	
Japón	2,67	17,2	16,8	16,9	0,110
Ontario - Canada		10	30		
Nueva Zelanda	0,17				

Webs de interés:

www.asnud.org.tr	Turkish Asphalt Contractors Association
www.qpa.org	UK Quarry Products Association
www.galpenergia.com	Galp Energia Portugal
www.had.hr	HAD Systems Croatia
www.malbik.is	Hofdi Asphalt Plant
www.colas.is	Colas Iceland
www.vegagerdin.is	Icelandic Road Administration
www.eurobitume.com	European Bitumen Association
www.oecd.org/cem	World Economic Organisation
www.erf.be	European Road Federation
www.fehrl.org/	European Road Research Laboratories
www.eota.be	European Organisation for Technical Approvals
www.eccredi.org	The European Council for Construction Research, Development and Innovation
www.cenorm.be	European Committee for Standardization
www.fiec.org	European Contractors Organisation
www.ebrd.com	European Bank for Eastern Europe
www.eib.org	European Investment Bank
www.hotmix.org	US National Asphalt Pavement Association
www.aapa.asn.au	Australian Asphalt Pavement Association
www.asphaltinstitute.org	US Bitumen Organisation
www.ohmpa.org	Ontario Hot Mix Producers Association
www.sabita.org	South African Asphalt and Bitumen Association
www.dohkenkyo.or.jp	Japan Road Contractors Association
www.roadingnz.org.nz	Roading New Zealand
www.inveas.org.ve	Venezuela Asphalt Association



**PABASA**

Terra, 36 Pol. Ind. Els Bellots
00227 Terrassa, Barcelona
Tel.: 93 738 36 36 - Fax: 93 783 78 01
pabasa@pabasa.com - www.pabasa.com

Innovación constante



euroasfalt

Avda. Domingo López Ortega, 1101,
Pol. Ind. Antonio del Rincón, 45222 Borox, Toledo
Tel.: 925 52 71 02 - Fax: 925 52 72 10
euroasfalt@euroasfalt.com - www.euroasfalt.com



Comienza el IV Congreso Andaluz de Carreteras

Excelencia técnica y 1.000 metros de exposición para analizar las vías andaluzas

Desde el día 23 de octubre, y hasta el 26 de este mes, se celebra en Jaén el IV Congreso Andaluz de Carreteras. Los más de 300 profesionales del sector de las infraestructuras viarias que asisten a este encuentro tienen a su disposición un programa técnico con más de 120 comunicaciones y siete ponencias en el que la sostenibilidad, la gestión de la calidad o las nuevas técnicas de construcción y conservación de carreteras aplicadas a la red andaluza son algunos de los asuntos que se tratarán en profundidad en las distintas jornadas.

Como en las tres ediciones anteriores, los participantes en esta cuarta cita del Congreso Andaluz de Carreteras encontrarán en Expovial 2007 el complemento perfecto a las sesiones técnicas. La muestra comercial, que este año ha alcanzado los 1.000 metros cuadrados de exposición, permite a los asistentes conocer de primera mano los productos y servicios, y las actuaciones en materia de carreteras que están desarrollando las empresas y administraciones que operan en la Comunidad andaluza: constructoras, fabricantes de sistemas de gestión de tráfico, ingenierías, y administraciones públicas.

Como novedad para esta edición, el Comité Técnico del Congreso va a seleccionar, de entre todas las comunicaciones que se presenten en la sala, las seis más interesantes y novedosas, haciendo posteriormente pública esta selección y sus autores.

Las sesiones de trabajo se completan con una visita técnica. La provincia de Jaén registra actualmente una intensa actividad de construcción de infraestructuras viarias, y por ello, los participantes podrán analizar sobre el terreno una de las obras más importantes que se ejecutan en este momento: la autovía del Olivar en el tramo Jaén-Mancha Real.

El IV Congreso Andaluz de Carreteras cuenta con Ángel Tavira, ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, como Ponente General, y está organizado por la Junta de Andalucía, con la colaboración de la Asociación Española de la Carretera (AEC) y el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. También han participado en el desarrollo del encuentro la Diputación Provincial y el Ayuntamiento de Jaén.



Una buena red de gran capacidad

Por la Comunidad Autónoma de Andalucía discurren en la actualidad casi 25.000 kilómetros de carreteras. De éstos, 2.340 forman parte de la red de gran capacidad, es decir, son autopistas, autovías o carreteras de doble calzada. Andalucía se convierte así en la comunidad autónoma española con más kilómetros de vías de gran capacidad, muy por encima de la siguiente región en el ranking, que es Castilla y León y que cuenta con 1.762 kilómetros de este tipo de carreteras.

De estos 2.340 kilómetros, el 92% corresponde a vías libres de peaje, mientras que en el 8% restante el usuario debe pagar. Andalucía se presenta como una de las comunidades españolas con menos porcentaje de carreteras de peaje sobre el total de vías de dos o más calzadas por sentido.

En cuanto a la estructura por titularidad, de los casi 25.000 kilómetros de red total, 8.930 pertenecen a la red provincial, 10.179 son titularidad de la Junta y el resto es competencia del Estado.

El Congreso Andaluz de Carreteras es el único dedicado en exclusiva a analizar esta malla viaria, convirtiéndose desde sus inicios en 1998 en un importante foro científico y técnico. El objetivo de sus organizadores y promotores no es otro que contribuir al desarrollo en Andalucía de una red de carreteras sostenible, capaz de dar a todo el territorio una cobertura eficaz, cómoda y, sobre todo, segura.

Primera reunión de la Mesa de Responsabilidad Social Corporativa de la FAEC

El sector viario se une para desarrollar una política común de RSC

El pasado 13 de septiembre se reunió por primera vez la Mesa de Responsabilidad Social Corporativa (RSC) de la Fundación de la Asociación Española de la Carretera (FAEC). La finalidad de este primer encuentro era poner en marcha la elaboración de una Memoria de RSC en el sector viario.

El punto de arranque de esta iniciativa se halla en el convencimiento de que el desarrollo de políticas de RSC puede contribuir a mejorar la competitividad de las empresas en la medida en que aporta un innegable valor añadido a su gestión. En un sector tan heterogéneo como es el de las infraestructuras viarias, la repercusión de esta política común sería aún mayor y mayores los beneficios de aplicarla.

Los miembros de la Mesa de RSC también estudiaron la metodología que se empleará para elaborar la Memoria. En este sentido, el primer paso no podía ser otro que conocer de primera mano el grado de implantación de las políticas de RSE en el sector viario. Y para ello, se ha preparado un cuestionario dirigido a todas las empresas y organismos que operan en el ámbito de las carreteras.

Los resultados obtenidos en el proceso serán recogidos en un informe en el que se detallarán las tendencias observadas en materia de gestión responsable y las principales líneas directrices para coordinar la actividad de la FAEC en lo relacionado con la promoción y difusión de estas prácticas.


Así, las entidades españolas del ámbito viario se convertirían en las primeras en consensuar una política común de RSC, con las implicaciones estratégicas y de todo orden que ello tendría. Estas prácticas responsables van más allá del estricto cumplimiento de las leyes y las normas de carácter laboral o medioambiental. Conceptos como sostenibilidad, democracia corporativa, transparencia o economía social están hoy muy presentes en la práctica totalidad de las sociedades.

Una contribución al progreso

La Fundación de la Asociación Española de la Carretera (FAEC) se constituyó el pasado mes de enero como una organización privada, sin ánimo de lucro, cuyas actividades están encaminadas de forma exclusiva a la

Miembros de la Mesa de RSC de la FAEC
3M España, S.A.
ADA, Ayuda del Automovilista, S.A.
ASETA
Asociación Española de la Carretera (AEC)
Asociación Nacional de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA)
Asociación Patronal de Empresas de Tráfico (PEMTRA)
Confederación Nacional de Autoescuelas (CNAE)
Demarcación de Carreteras del Estado en Madrid. Ministerio de Fomento
Deployment, S.A.
Diputación Provincial de Pontevedra
Dirección General de Tráfico (DGT)
DUSE, S.A.
E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Euroconsult, S.A.
FCC Construcción, S.A.
Fundación de la Asociación Española de la Carretera (FAEC)
Geotecnia y Cimientos, S.A. (GEOCISA)
Gobierno Vasco
Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA) Noroeste
Montajes y Obras, S.A (MOSA)
Oficemen
Postigo Obras y Servicios, S.A.
Real Automóvil Club de España (RACE)
TRN Ingeniería, S.A.

consecución de fines de interés general. Para la FAEC, la carretera es un medio y un fin en sí misma. En este sentido, toma como punto de partida el convencimiento de que mejorando la carretera se construye un mundo mejor para alcanzar una serie de objetivos.

Entre ellos, contribuir al progreso sostenible de la carretera, dentro y fuera de España, prestando especial atención a la mejora de la seguridad vial; promover aquellos métodos constructivos que garantizan la protección al medio ambiente, servir de punto de encuentro a técnicos y profesionales del sector y contribuir a la formación y educación vial de los usuarios de la carretera. 

El Anuario de la Carretera 2007, en la alfombra roja del Congreso Andaluz de Carreteras


Como en las mejores galas de cine, el Anuario de la Carretera 2007 es, por méritos propios, una de las estrellas indiscutibles del IV Congreso Andaluz de Carreteras (Jaén, 23-26 de octubre). Editado y confeccionado por la Asociación Española de la Carretera (AEC) y el Grupo Tecnipublicaciones, este volumen nace con el propósito de convertirse en la herramienta de consulta por excelencia para los profesionales del ámbito viario.

El primer Anuario de la Carretera aún, bajo un diseño sencillo y funcional, información sectorial, datos económicos y referencias concretas a las entidades que participan en esta edición. Así, en una primera parte, ofrece las grandes cifras del sector: estadísticas, indicadores y ratios diversos, habitualmente dispersos en diferentes documentos, se unen y estructuran a la perfección en esta sección con el fin de facilitar al lector las tareas de consulta. Este apartado se divide en ocho capítulos que abarcan



otras tantas materias: coyuntura económica, nacional e internacional, coyuntura de la construcción, las carreteras en España, legislación, I+d+i, medio ambiente y coyuntura de los subsectores.

Por otro lado, con la finalidad de ofrecer información comercial detallada, el Anuario contempla una sección en la que empresas y organismos han insertado de forma gratuita los productos y servicios que ofrecen, así como sus principales líneas de actuación. Dentro de este apartado, los miembros de la Asociación Española de la Carretera (AEC) han tenido un espacio propio y específico.

Finalmente, el Anuario de la Carretera 2007 incluye un completo directorio de todas las administraciones públicas con competencias en carreteras, así como de todas las entidades públicas especializadas en la gestión de infraestructuras viarias. 

Duelo en el sector viario nacional


El verano que acaba de finalizar ha dejado tras de sí un rastro de dolorosas noticias para la Asociación Española de la Carretera (AEC). En apenas tres meses, han fallecido tres grandes profesionales ligados estrechamente a esta entidad. El pasado 24 de julio, fallecía en Madrid, a los 87 años de edad, Santiago Estrada, Consejero Honorario de la AEC.

Doctor Ingeniero de Armamento y Construcción, con el grado de Coronel, Santiago Estrada se licenció también en Ciencias Exactas. Ejerció buena parte de su carrera en el Ayuntamiento de Madrid, donde llegó a ocupar el cargo de Director Gerente y Consejero Delegado de la Empresa Municipal de Transportes (EMT). Figura destacada en el ámbito de la ingeniería, fue Presidente de la Asociación Civil de Ingenieros de la Defensa, y desde el año 2005, Miembro de Honor del Instituto de la Ingeniería de España. Estrada estuvo muy unido a la Asociación, especialmente desde 1976, año en el que fue nombrado Consejero.

El 12 de septiembre, la Asociación recibía la noticia de la defunción de Francisco Carretero, Director General

de Tesa. Al frente de esta compañía, asociada a la AEC desde 2001, Carretero trabajó en la mejora de las infraestructuras viarias a través de su equipamiento. Fundada hace más de 30 años, la empresa se dedica a la fabricación de elementos de ballastamiento.

Por último, el 16 de septiembre moría, a los 74 años, Enrique de Aldama, Presidente de Seopan, entidad que también forma parte de la AEC. De Aldama fue Vicepresidente de la patronal CEOE, consejero de empresas de primer orden y responsable en importantes entidades públicas. Además, fue cabeza visible de una nueva filosofía empresarial basada en la transparencia. Su empeño por incrementar la responsabilidad social en el mundo de la empresa fue la razón que le llevó a impulsar en la última etapa de su vida el Código Unificado de Buen Gobierno, un documento en pro de la transparencia corporativa.

La Asociación Española de la Carretera lamenta la pérdida de estos profesionales y les recuerda con un enorme respeto y cariño. 

Publicada la Memoria de Actividades 2006 de la AEC

Con un diseño de portada que ha querido reflejar el reciente cambio de imagen de la Asociación Española de la Carretera (AEC), acaba de publicarse la Memoria de Actividades 2006 de esta entidad. El documento recoge a lo largo de sus casi 100 páginas los acontecimientos más importantes vividos por el sector viario nacional e internacional durante el pasado ejercicio, y, como es habitual, da cumplida cuenta de toda la actividad desarrollada por la AEC a lo largo de este periodo.


Como bien explica Miguel M^º Muñoz Medina, Presidente de la AEC, en su presentación, "el adecuado mantenimiento de la red viaria es una constante entre las preocupaciones de la AEC; pero también lo son asuntos tales como la integración entre carretera y entorno, la calidad de servicio de la infraestructura, la movilidad, la aplicación de las nuevas tecnologías al tráfico y el transporte y, por supuesto, la mejora de la seguridad vial".

Y todo ello se refleja en esta nueva Memoria. Por un lado, las actividades realizadas por la Asociación durante el pasado ejercicio dirigidas específicamente a sus socios. Por otro, las realizadas en el ámbito de la investigación, de los congresos o la formación.

Novedades hay muchas. Por ejemplo, en el ámbito editorial, la AEC ha publicado o colaborado en la edición de varios libros de gran interés: *Enrique Balaguer Campuis: el eter-*

no caminero, el Libro Verde de la Seguridad Vial, o La carretera en la sociedad del siglo XXI: respuestas a nuevos retos son algunos de los más destacados. En el apartado de Estudios son muchas también las nuevas investigaciones que se han desarrollado o las que, siendo ya una realidad, han dado paso a una nueva fase de trabajo o a la presentación de conclusiones. El proyecto Giroads, los planes de seguridad vial para Galicia o Castilla y León, las Carreteras españolas en cifras, o el proyecto Carreteras libres de CO2 son algunos de los más significativos.

En lo que se refiere a Congresos serían muchas las citas a recordar. Además de los veteranos de Firmes o la Semana de la Carretera, el pasado año se presentó por primera vez el Congreso Nacional de Medio Ambiente en Carreteras, así como el Congreso Internacional de Prevención de Accidentes de Tráfico: "La Sociedad Civil ante el reto de la Seguridad Vial" y las Jornadas de Participación Ciudadana en la Planificación de Infraestructuras.

Todos aquéllos que estén interesados en consultar éstos y otras informaciones en la Memoria de Actividades 2006 de la AEC pueden hacerlo en su web (www.aecarretera.com). 




La FAEC convoca el II Premio Internacional a la Innovación en Carreteras

Tras la excelente acogida cosechada en su primera edición, la Fundación de la Asociación Española de la Carretera (FAEC) convoca de nuevo el Premio Internacional a la Innovación en Carreteras Juan Antonio Fernández del Campo, un certamen que nació en 2005 con el objetivo de promocionar la investigación viaria en lengua española en la escena internacional.

Pueden concurrir a esta edición personas físicas o jurídicas de cualquier nacionalidad, siempre que presenten sus trabajos en lengua castellana. Asimismo, pueden optar a esta convocatoria estudios, trabajos de investigación, tesis doctorales, tesinas y, en general, proyectos innovadores que aborden el fenómeno viario desde cualquiera de sus múltiples perspectivas. Únicamente se admitirán aquellas investigaciones recientes y novedosas que, aún habiendo sido divulgadas en el ámbito docente o científico, no hayan optado a otros premios.

El Jurado, como en la anterior convocatoria, está compuesto por expertos de reconocido prestigio. La presidencia del mismo corre a cargo de José Luis Elvira, Director Técnico de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. La Secretaría del Jurado la ocupa Jacobo Díaz, Secretario de la FAEC.

El premio, que está dotado con 12.000 euros, cuenta con el patrocinio de Caja Caminos, CEPESA-Proas y Repsol YPF, la colaboración institucional de la Dirección General de Carreteras de la Consejería de Transportes e Infraestructuras de la Comunidad de Madrid y la colaboración empresarial de Dragados, Oficemen, Acciona Infraestructuras, FCC Construcción, Ferrovial Agromán, Grupo Isolux Corsán, OHL, Rus y Sacyr. 



La web de la AEC supera las 600.000 visitas

La versión en inglés es ya una realidad

El reciente cambio de imagen de la página web de la Asociación Española de la Carretera (AEC) parece que ha sido muy bien recibido por el sector a tenor de las cifras de visitas que se han contabilizado. Al cierre de la edición de esta revista, el contador de la web superó las 600.000, todo un éxito sin duda para este ágil y práctico medio de comunicación.

Mucho ha tenido que ver en estos buenos resultados la nueva estructura de la página y la continua actualización de sus contenidos. Sin embargo, no se pueden olvidar los esfuerzos permanentes que la AEC viene realizando desde que inauguró esta plataforma virtual hace ya once años.

Desde entonces, se ha convertido en un escaparate en el cual la entidad muestra su estructura y organización internas, su filosofía de trabajo y su visión y percepción del fenómeno viario como clave de progreso. Pero además, y sobre todo, el site de la Asociación es un excelente medio a través del cual fomentar la interrelación con sus socios. En este sentido, los asociados disponen de un área de acceso especialmente habilitada para ellos, con una oferta de servicios on line que agilizan e incrementan la comunicación.

Questionario para socios

Además, con el fin de mejorar su servicio y adecuarlo a las necesidades de sus socios, la Asociación Española de la Carretera ha elaborado una encuesta de satisfacción a través de la cual conocer las opiniones y sugerencias de todos sus miembros.


El cuestionario, que se encuentra alojado en su página web, se divide en ocho apartados que permiten valorar, en primer lugar, cuál es el grado de conocimiento que los asociados tienen de la AEC y de todas sus actividades, ya sean en el ámbito nacional o internacional: organización de congresos, investigaciones, gestión de prensa, etc.

Por otro lado, la encuesta permite opinar acerca de la labor informativa que desarrolla la Asociación de cara a sus miembros, e incluye un apartado de sugerencias, imprescindible para conocer más de cerca a los asociados, sus inquietudes y necesidades.

Se puede acceder a este cuestionario a través del menú principal de la web, en el apartado Quiénes somos, con-



cretamente en la sección dedicada a Nuestros socios. El formulario se puede descargar en el ordenador personal y cumplimentar directamente en Word. Una vez cumplimentado, se enviará a la dirección: aec@aecarretera.com.

En esta continua línea de mejora, la Asociación Española de la Carretera ha demostrado también un gran interés por darse a conocer más allá de sus fronteras geográficas. El objetivo es conseguir que un mayor número de personas pueda acceder a la información sobre sus actividades y sobre la evolución del sector viario en general. Para ello, la AEC ha puesto en marcha la versión en inglés de su página web. Con ella pretende alcanzar nuevos públicos y asegurar su presencia internacional. 


El 54% de los europeos pagaría más por un transporte menos contaminante

Más de la mitad de los ciudadanos europeos está dispuesta a pagar más por utilizar medios de transporte menos contaminantes. Sin embargo, el 60% de los mismos no está de acuerdo con la idea de que los usuarios de la red viaria respondan de la congestión de tráfico y los daños ambientales pagando peajes.

Éstas y otras muchas opiniones se reflejan en el último Eurobarómetro de la Comisión Europea. La encuesta, que abarca los 27 Estados miembros de la Unión Europea, se ha realizado sobre una muestra aleatoria de unas 26.000 personas.

Para el 51% de ellas, el automóvil representa el principal modo de transporte, seguido de los transportes públicos (21%), los desplazamientos a pie (15%) y la motocicleta (2%). Además, es significativa la importancia del vehículo privado para los europeos ya que el 81% de los hogares de la Unión Europea dispone de al menos un coche.

Según los resultados de la encuesta, la mayoría de los ciudadanos europeos coincide en la necesidad de un transporte público «fiable y de calidad» con el fin de promover una movilidad más sostenible. Así, el 78% de los

ciudadanos considera que el tipo de automóvil y la forma de utilizarlo tienen gran incidencia en el medio ambiente. Un 35% de los encuestados coincide en que la venta de vehículos menos contaminantes es la medida más adecuada para invertir el aumento de las emisiones de dióxido de carbono debido al transporte por carretera. A juicio de otro 30%, la manera más eficaz para reducir el impacto medioambiental es fomentar la adquisición de vehículos que consuman menos carburante. 




Un autobús propulsado con gas natural circulando por Madrid.

Portugal destinará parte de los impuestos de combustibles a la mejora de su red viaria

Portugal aprobó el pasado 16 de agosto una ley según la cual parte de la financiación procedente de los impuestos de carburantes deberá ser destinada a la mejora de la red de carreteras. Con esta decisión, Estradas de Portugal, autoridad viaria del país vecino, da un paso adelante, sin precedentes claros en el entorno europeo, en materia de financiación de carreteras. No en vano, esta medida supone introducir un impuesto con carácter finalista en un sector –el viario– tradicionalmente marcado por una fiscalidad no finalista. En este hecho radica una de las históricas reivindicaciones de todos los representantes del mundo viario europeo, esto es, que los impuestos aplicados a la carretera sean “reinvertidos” en la mejora de la propia red viaria.

Portugal ha dado respuesta a estas demandas y, con ello, ha demostrado que es posible una financiación del sector que contemple tasas finalistas. Por el momento, con el fin de armonizar el desarrollo de este nuevo impuesto, las autoridades lusas han establecido una carga fiscal mayor para los automóviles

diésel debido al impacto que ejerce el transporte pesado en el estado de las carreteras. De cualquier modo, con independencia de los detalles relativos a la aplicación práctica de esta nueva filosofía impositiva, es más que probable que desde nuestro país se preste mucha atención a los cambios que esta inédita medida va a introducir en el mapa viario portugués. 



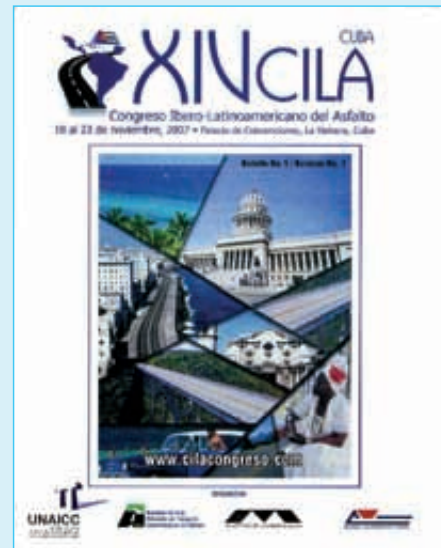
CONGRESOS

Crece el interés internacional por el XIV CILA

La delegación española participa con 26 ponencias

El XIV Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, que se celebrará en la ciudad de La Habana (Cuba) del 18 al 23 de noviembre del 2007, está cosechando una excelente acogida en la comunidad viaria internacional. Y es que, por el momento, la sede de la Organización ha recibido más de 300 resúmenes de ponencias. La delegación española no es una excepción en este sentido, como demuestra el hecho de que los principales organismos y empresas del sector nacional ya tienen reservada su plaza en esta importante cita.

El interés que ha despertado el XIV CILA en el sector viario español se traduce en un número de conferencias por parte de los técnicos de nuestro país más que notable. Así, de los más de tres centenares de ponencias que se pronunciarán en La Habana, 26 corresponden a profesionales españoles. Además, esta nutrida aportación técnica gozará de un lugar de privilegio dentro del Programa del XIV CILA. En efecto, dos acreditados expertos españoles de prestigio internacional pronunciarán sendas conferencias magistrales en la primera y segunda sesión de trabajo del Congreso, respectivamente. Se trata de Miguel Ángel del Val, Director del Departamento de Ingeniería Civil-Transportes de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid, y Bjornulf B. Benatov, Presidente de Euroconsult.



Bajo el título de "Auscultación de los firmes flexibles con equipos de alto rendimiento en España", la ponencia de Benatov versará sobre el análisis estructural de firmes por medio de altas tecnologías. Por su parte, Miguel Ángel del Val analizará la influencia de la fabricación de firmes en el medio ambiente a través de una ponencia titulada "Las mezclas asfálticas con emulsión: una aportación efectiva al cumplimiento del Protocolo de Kyoto".

La AEC también apuesta por el CILA

La Asociación Española de la Carretera (AEC), muy consciente de la necesidad de estrechar lazos con los profesionales del otro lado del Atlántico, no desea sustraerse a este entusiasmo por el XIV CILA y, por esta razón, se encarga de gestionar la participación de los expertos españoles en esta cita de La Habana. Para ello, ha confeccionado un plan de viaje destinado a ofrecer el mejor servicio a todos los delegados. Se trata de una oferta complementaria a la que ofrece la Organización del Congreso y que incluye el viaje, el alojamiento y un excelente programa de visitas para los acompañantes de los delegados que comienza con un recorrido por los lugares de la isla relacionados con la figura del escritor norteamericano Ernest Hemingway.

Para más información: Nieves Ugalde. Tlf. 91 577 99 72.
nugalde@aecarretera.com



Capitolio, La Habana (Cuba)


CONGRESOS

El IVIA pone en marcha el I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial

El I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (CISEV), que tendrá lugar en San José de Costa Rica del 28 al 30 de mayo de 2008, ha dado un gran paso adelante en su organización y difusión con la puesta en funcionamiento de una página web propia. En ella, todos los interesados – tanto ponentes como asistentes, y profesionales del sector en general- pueden mantenerse puntualmente informados de los distintos aspectos del encuentro: normas para la presentación de trabajos, plazos, formularios que hay que cumplimentar, formas de pago, etcétera.

El CISEV está organizado por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) y promovido por el Instituto Vial Ibero-Americano (IVIA), del que la Asociación Española de la Carretera es miembro fundador.



La Asociación Española de la Carretera está colaborando activamente con el IVIA y LanammeUCR para llevar a buen fin la primera edición de un encuentro técnico que pretende consolidarse como reunión de referencia en materia de seguridad vial en toda Iberoamérica. En este sentido, la AEC se hará cargo de la coordinación de la delegación española participante en el congreso. 

TRAFIC 2007 refuerza su carácter internacional


El X Salón Internacional de la Seguridad Vial y el Equipamiento para Carreteras, TRAFIC 2007, se inauguró en Madrid el pasado 2 de octubre, y durante sus cuatro días de duración han pasado por el recinto ferial visitantes de 25 países todo el mundo.

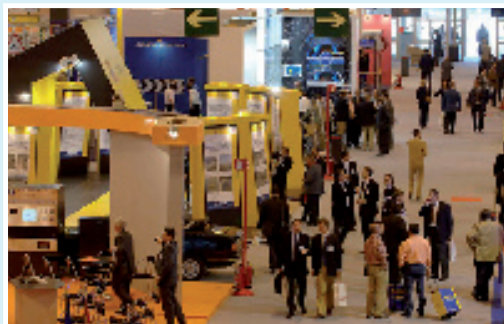
Empresas privadas, administraciones públicas, profesionales y expertos en seguridad y diversos equipamientos han sumado un total de 325 entidades participantes, de las cuales, 140 son extranjeras. Es decir, un 43% del global, lo cual confirma la apuesta de este salón por su proyección exterior.

Una de las novedades organizativas de la exposición ha sido la presencia en el salón de relevantes cargos públicos de diferentes países en el ámbito de la seguridad vial y las infraestructuras de carreteras. En concreto las invitaciones se han dirigido fundamentalmente hacia representantes de los mercados de los nuevos países miembros de la Unión Europea y del sur de Estados Unidos.

Entre las innovaciones tecnológicas presentadas en TRAFIC 2007 destacan un radar “invisible” basado en sensores eléctricos que no emiten señal, por lo que no pueden ser detectados, o un nuevo sistema para vigilar vehículos que transportan mercancías peligrosas y que

los identifica y clasifica por su tipo de carga y así puede efectuar un seguimiento de la vía por la que transitan.

Como en anteriores ediciones, la Asociación Española de la Carretera (AEC) ha formado parte del Comité Organizador de Trafic 2007, un salón que está promovido por la Dirección General de Tráfico y la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento. Asimismo, la AEC ha participado en la muestra comercial junto a los más de 160 expositores directos distribuidos en 7.000 metros cuadrados de exposición. En el stand de la Asociación, toda su información corporativa y la referente a sus actividades: memoria, revista Carreteras y otras publicaciones de carácter técnico o histórico. 




JORNADAS

Carreteras seguras, también en el proceso de conservación

El próximo día 6 de noviembre, se celebra en el Palacio de Exposiciones y Congresos de Teruel la III Jornada Técnica sobre Seguridad Vial en Conservación, con el objetivo de estudiar los problemas actuales en seguridad vial y las posibles soluciones desde el punto de vista de la conservación y explotación de las carreteras. Esta jornada está dirigida a profesionales de la conservación, a técnicos de la gestión del tráfico, a los técnicos municipales encargados de la ordenación territorial y al resto de personas relacionadas con el sector. El acto cuenta con más de 20 profesionales que aportarán su experiencia, planteando asuntos cruciales como la adecuación de la infraestructura y la señalización de peligros para mante-

ner la vía de manera que se pueda circular por ella en condiciones de seguridad, comodidad y fluidez.

Se analizarán también los tipos de incidencias y los equipos más adecuados para atenderlas, así como el seguimiento en detalle de estos trabajos. Además, se abordará la gestión de la información, debatiendo esa transmisión desde su origen hasta llegar al usuario de la carretera.

El encuentro está organizado por la AEC y promovido por la Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX). El patrocinio corre a cargo del Gobierno de Aragón. 

Las XII Jornadas de Carreteras de Canarias viajan en noviembre a Las Palmas

Las Jornadas de Carreteras de Canarias se han convertido por méritos propios en una cita habitual del calendario de encuentros técnicos organizados por la Asociación Española de la Carretera (AEC). Este año, dichas Jornadas se celebrarán los próximos 6 y 7 de noviembre en Las Palmas de Gran Canaria.


Como es habitual, el Delegado de la AEC en las islas, José Suárez Mejías, será el encargado de confeccionar el programa técnico, pero en esta ocasión contará con la inestimable ayuda de José Antonio Soto, Director Técnico Cepsa-Proas, para conformar el contenido de las Jornadas.

Entre los temas que se van a abordar en la sala de ponencias destacan los relativos a betunes de baja viscosidad para mezclas templadas, las capas de rodadura, sistemas antifisura, betunes caucho, entre otros

muchos de interés para entender y mejorar la red viaria canaria. Durante las jornadas habrá también tiempo para los coloquios y las puestas en común de las experiencias y conocimientos expuestos por los participantes.

Hasta el momento han llegado a la sede de la AEC varias decenas de trabajos que serán evaluados de cara al diseño del programa técnico final.

Las Jornadas de Carreteras de Canarias están organizadas por la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria -Departamento de Ingeniería Civil-, el Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas de Las Palmas y la Asociación Española de la Carretera.

Más información: Asociación Española de la Carretera: 91 577 99 72. Elvira Jaut (ejaut@aecarretera.com) 

CURSOS


Finaliza el Curso sobre Nudos de Carreteras de Barcelona

El pasado 19 de octubre se clausuró en Barcelona la tercera edición del curso sobre Nudos de Carreteras que organiza la Asociación Española de la Carretera junto con la Fundación de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).

El curso, de cuatro días de duración, tiene el objetivo de difundir las nuevas técnicas sobre el trazado de las carreteras para permitir una circulación más cómoda y segura.

En anteriores convocatorias, la primera en noviembre de 2001 y la segunda en mayo de 2005, los alumnos

asistentes al curso superaron las expectativas y, en esta última entrega, se puede afirmar un éxito rotundo gracias a que presentaba un programa integrado por los temas que obtuvieron mayor éxito en pasadas ediciones.

Este tercer curso, ha servido para compartir opiniones y distintos puntos de vista en un marco donde la legislación existente sobre circulación y medioambiente es antigua, y la nueva normativa se encuentra en un estado avanzado de redacción. 



CURSOS


Por primera vez en Argentina, se forman auditores de seguridad vial

La Asociación Española de la Carretera, junto con la Fundación Abertis y la Universidad de Buenos Aires, celebra durante este mes de octubre en Argentina un Curso de Formación de Auditores en Seguridad Vial.

Se trata de un programa formativo que esta entidad ya ha desarrollado en varias ciudades españolas a lo largo de los tres últimos años, y en el que desde sus inicios ya han participado más de 120 profesionales del sector viario. Este nuevo curso sobre auditorías de carreteras es el primero que la AEC realiza fuera de España, aunque no el primero que cruza nuestras

fronteras, ya que el pasado año, responsables del departamento técnico de la Asociación asesoraron al Centro Rodoviário Português en la organización de dos cursos de auditorías que se han celebrado en Lisboa.

En esta ocasión, la Universidad de Buenos Aires ha sido el centro que ha acogido este nuevo programa que se ha celebrado en dos fases diferentes: del 8 al 12 de octubre y del 16 al 19 de octubre.

El programa docente, dirigido a ingenieros responsables del diseño y la explotación de carreteras, comienza haciendo repaso de la situación actual de la seguridad vial en Argentina e introduciendo el concepto de Auditorías para pasar después a desarrollar temas como el tratamiento de márgenes, la gestión de tramos de concentración de accidentes, o los aspectos legales y económicos de estas actividades. Estas clases teóricas se salpican con otras de índole más práctico en las que los alumnos tienen una labor más participativa. 

CURSOS DE AUDITORÍAS DESARROLLADOS POR LA AEC

Lugar y fecha	Número de participantes
Barcelona - 17 al 21 de enero / 7 al 11 de febrero - 2005	37
Madrid - 9 al 13 de mayo / 16 al 19 de mayo - 2005	28
Barcelona - 7 al 11 de noviembre / 28 de noviembre al 2 de diciembre - 2005	26
Valencia - 25 al 27 de abril / 16 al 18 de mayo y del 23 al 25 de mayo - 2006	35
TOTAL	126

Telecomunicaciones y seguridad vial, protagonistas de un nuevo curso en Guatemala


La Dirección General de Tráfico (DGT), el Instituto Vial Ibero-Americano (IVA) y la Asociación Española de la Carretera (AEC) trabajan juntas por segundo año consecutivo en la organización de un seminario sobre seguridad vial en el marco de las iniciativas para 2007 de la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI).

Se trata del curso Seguridad Vial: Infraestructuras y Tráfico, que se celebra entre el 22 y el 26 de octubre en La Antigua (Guatemala). Dicho curso pretende analizar la relación existente entre el uso de las telecomunicaciones y la seguridad vial en todos sus frentes, ya sea la infraestructura, los vehículos o los usuarios. Con esta premisa, se desarrollará todo un programa técnico cuyo objetivo último es mejorar la gestión de la circulación y con ello, la seguridad vial en los países de Iberoamérica.

El seminario, que se realiza también con la colaboración de la FUNDACIÓN MAPFRE, consta de 30 horas lectivas, y está orientado a ingenieros civiles y técnicos, responsables de conservación y explotación, responsables de tráfico y profesionales con capacidad de decisión en materia de infraestructuras de carreteras.

Éste es el cuarto curso sobre seguridad vial que la DGT, el IVA y la AEC organizan conjuntamente en Iberoamérica y el segundo que se celebra en La Antigua.

Para más información:

Nieves Ugalde.
Tlf. 91 577 99 72
nugalde@aecarretera.com 

Responsabilidad Social Individual (RSI)

Luis Ayuso
Publicista



Ya está dicho que es costumbre pensar en la bondad y otras virtudes en términos de equiparación con la falta de fortaleza.

Consecuentemente, por contraposición, también es costumbre calificar el nivel de eficacia y, por tanto, el de la admiración que nos merecen hombres y mujeres dirigentes, a través de su grado de dureza, falta de límites en la ambición y su capacidad para disimular y abatir a aquéllos que corren a su lado en la sana competición que es la vida. Esta visión se ha extendido en los últimos años aventada por la literatura y la cinematografía; y aunque casi siempre con un final reparador, nada que ver con lo que, sin duda, es más normal y general, esto es, el fruto de la inteligencia, el coraje, el trabajo y la decisión para anticiparse y asumir riesgos frente a las dudas o la falta de estatura del rival.

Esta desvirtuación de valores, emparentada con el maquiavelismo y aplaudida por muchos, tiene la capacidad de crear, en las sociedades de cualquier tiempo, ambientes de agria tensión y conductas reprobables, así como situaciones límite originadas por la arbitrariedad de la posición de poder, que no contribuyen a resolver los conflictos derivados de la confluencia legítima de intereses distintos, provocando el enrarecimiento y, en ocasiones, la quiebra de la convivencia.

Añadiremos, sin embargo, que, si no caemos en la ingenuidad de pensar que todo ser humano está dispuesto a entender hasta qué punto puede llegar a ser leal, razonable y justificado el comportamiento del que ha ganado merecidamente un puesto destacado y decisorio, o la responsabilidad moral que éste adquiere, precisamente

por eso, de contribuir a la dignidad y justa satisfacción de otros menos favorecidos, habremos de afirmar que no se debe menospreciar, sino todo lo contrario, lo positivo que puede llegar a resultar la firmeza en la defensa de la equidad y el bien común.

En esa firmeza han de estar presentes los derechos y las obligaciones, los compromisos, la implicación, las circunstancias, las repercusiones, el respeto...; en definitiva, la búsqueda del entendimiento, el no olvidar que estamos acompañados y que lo que somos, representamos, decidimos y hacemos, siempre se evidencia en relación a personas y cosas que nos rodean.

Estos planteamientos pueden tacharse de utópicos o de juveniles, pero no lo serán si hacemos del modelo de conducta íntegra un activo intangible de garantía y prestigio, si ponemos voluntad en perfeccionar las relaciones humanas, si reformamos o cambiamos lo necesario para afrontar cada nuevo reto.

Lo perfecto no existe, la naturaleza humana no lo es. Debemos, pues, mantenernos en alerta constante para corregirnos, y preocuparnos por ensalzar y dar la más alta jerarquía y valor social a las virtudes.

Por eso, al referirnos al nuevo, y felizmente en auge, concepto de RESPONSABILIDAD SOCIAL CORPORATIVA (RSC), es importante no olvidar que en él se encierra la suma de la RESPONSABILIDAD SOCIAL INDIVIDUAL (RSI) de un conjunto de personas. La implantación en las empresas de la RSC y el beneficio de las buenas prácticas y comportamientos que se desprenden de la misma merecen público reconocimiento e incentivarse, aunque, dicho sea de paso, sería muy saludable distinguir aque-




llos casos en que se utiliza como un mero gesto de elegancia social de moda, o esos otros que precisan subir de peso la actividad en este campo para equilibrarlo con el de la comunicación.

Pero la RSC no solo debería vincularse verticalmente con el campo social en el que se hace o decide hacerse presente cada corporación empresarial - ¿también política? -, sino que, además y transversalmente, tal vez sería positivo, aunque no estoy seguro de si posible, que la RSC incorporase las relaciones de concurrencia de las mismas corporaciones con el ánimo de contribuir a armonizarlas, mejorarlas y evitar, por ejemplo, algunos recientes espectáculos que todos podemos recordar, que, sin duda, empiezan perjudicando la reputación de las empresas contendientes, luego la del sector y, finalmente, la de la clase empresarial y, por extensión, la de otros ámbitos.

La primera responsabilidad social de la empresa es la de ejercer su actividad eficientemente y generar los recursos necesarios que le permitan cumplir con sus compromisos internos y externos. Señalada esta obviedad y la de que ello mismo carecería de sentido si creemos que a largo plazo termina siendo incompatible con su pro-

pia sostenibilidad, interesa insistir en que la RSC sea un código obligado de conducta y actuación general realmente vivo, que evolucione e incorpore nuevos criterios y actuaciones que lo enriquezcan; como también que su influencia se extienda en todas las direcciones.

Es imprescindible y beneficioso crear nuevos escenarios, éste de la RSC lo es, y además ganar el entusiasmo de los actores intervinientes, que somos todos, con una forma renovada de interpretar cada uno su RSI, en sintonía con las necesidades, deseos e inquietudes actuales de la sociedad globalizada. Es el horizonte de excelencia hacia el que hay que caminar con gran ánimo para fundamentar el futuro o, dicho de forma más emocional y trascendente, para salvarnos, en cualquiera de los dos sentidos que creo puede tener esta última palabra: el religioso para unos, y el ético para otros, pero sobre los que no merece la pena debatir porque tengo la opinión de que son paralelos, y hasta convergentes.

Seamos valientes e innovadores, colaboremos, pues, con la bondad de los objetivos de la RSC y ampliemos y consolidemos las políticas que en ella caben, asumiendo decididamente nuestra RESPONSABILIDAD SOCIAL INDIVIDUAL (RSI). 

EDICIONES DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA



Anuario de la Carretera 2007

Fecha: Octubre 2007
Idioma: Español
PVP: 50 € (IVA incluido)
P.V. Socios: Gratuito 1^{er} ejemplar.
Segundos ejemplares: 30 €

El primer Anuario de la Carretera 2007 nace con el propósito de convertirse en una herramienta de consulta de referencia para todos los profesionales del ámbito viario. Así, una primera parte está dedicada a ofrecer las grandes cifras del sector. Por otro lado, con la finalidad de ofrecer información comercial detallada, el documento contiene una sección en la que empresas y organismos han incluido los productos y servicios que ofrecen. Finalmente, se ofrece un directorio de todas las administraciones públicas con competencias en carreteras.



VII Congreso Nacional de Firmes

Nº de páginas: 675
Fecha: Mayo 2006
Idioma: Español
PVP: 80 €
P.V. Socios: 64 €

El Congreso Nacional de Firmes vuelve a la carretera. Como en anteriores citas, la VII Edición de este encuentro reunió a más de 500 técnicos de todo el país, demostrando así que los firmes asfálticos están de plena actualidad. Para esta ocasión, los organizadores han previsto una estructura innovadora en la que las comunicaciones libres tienen un papel protagonista. De esta forma, el VII Congreso Nacional de Firmes, celebrado el pasado mes de mayo en Ávila, ha podido alcanzar un alto grado de pluralismo y riqueza técnica. La AEC ha reunido todas las conferencias expuestas en la capital abulense en un libro y un CD.



I Congreso Nacional de Medio Ambiente en Carreteras (Cd-Rom)

Fecha: Mayo 2006
Idioma: Español
PVP: 60 €
P.V. Socios: 48 €

La influencia de las infraestructuras viarias en el medio ambiente es un asunto con una importancia creciente en el sector viario. Por ello, no es de extrañar que cuando se habla de carreteras cada vez sea más frecuente abordar todo lo relacionado con el campo medioambiental. Y es que estas consideraciones están adquiriendo tal peso que conceptos como respeto e impacto medioambiental alcanzan en algunos casos el mismo estatus que factores como seguridad, capacidad y eficiencia. Todos estos temas y muchos más se trataron el pasado mes de abril en Santander durante el I Congreso Nacional de Medio Ambiente en Carreteras. A modo de interesante documento de consulta, la AEC edita un CD con todas las conferencias presentadas en este encuentro.



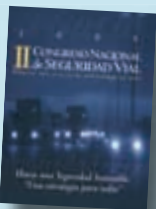
XIX Vyodeal. Carreteras, Territorio y Accesibilidad

Nº de páginas: 368
Fecha: Abril 2007
Idioma: Español
PVP: 40 €
P.V. Socios: 32 €

Las carreteras de la Administración Local son la única vía de comunicación para más de la mitad de los municipios españoles. Para evitar que esta realidad caiga en el olvido, la AEC celebra desde hace varias décadas el Symposium Nacional de Vías y Obras de la Administración Local. La última edición se celebró en Huesca del 16 al 20 de abril de 2007. En este volumen se recopilan 15 ponencias y 12 comunicaciones libres presentadas en el Congreso. Con ello, este documento constituye una excelente obra de consulta para todos aquellos técnicos especializados en las vías de la red secundaria.

II Congreso Nacional e Seguridad Vial hacia una Seguridad Sostenible

Nº de páginas: 574
Fecha: Dic. 2006
Idioma: Español
PVP: 67 €
P.V. Socios: 54 €



Reducir el número de accidentes de tráfico y la gravedad de sus consecuencias fue el objetivo fundamental del II Congreso Nacional de Seguridad Vial, celebrado en Murcia. Este libro recoge las 22 ponencias, 12 comunicaciones libres y dos mesas redondas que tuvieron lugar durante su celebración. A través de ellas trató de demostrarse que la seguridad vial depende no sólo de las infraestructuras sino también del propio usuario, prestando especial atención a aquéllos más vulnerables como son peatones, ciclistas y motoristas. Asimismo las distintas intervenciones dieron fe de que la reducción de las altas tasas de siniestralidad en las carreteras sólo es posible si hay una implicación real por parte de todos.

XXVI Semana de la Carretera. Carreteras para el Transporte de Mercancías

Nº de páginas: 363
Fecha: Sep. 2006
Idioma: Español
PVP: 52 €
P.V. Socios: 42 €



La XXVI Semana de la Carretera ha puesto sobre la mesa de debate la situación de las infraestructuras viarias en el ámbito del transporte de mercancías. El incremento de la actividad comercial entre España y el resto de la Unión Europea hace necesario un análisis en profundidad del escenario actual para proponer nuevas soluciones. Por ello, expertos en transportes e infraestructuras se reunieron en Zaragoza, entre el 26 y el 29 de septiembre, haciendo posible la edición de este libro, que recoge las ponencias impartidas durante el congreso. En ellas se trataron temas tan importantes como la sostenibilidad de la red, la conservación o la seguridad vial.

Proyecto, Conservación y Gestión de Firmes

Nº de páginas: 248
Fecha: Mayo 2006
Idioma: Español
PVP: 40 €
P.V. Socios: 32 €



En el proyecto y diseño de un firme de carretera se tienen cada vez más en cuenta los aspectos relacionados con su mantenimiento y conservación. En esta publicación se han recogido conjuntamente los aspectos relativos al proyecto y la conservación de las carreteras. En primer lugar, se presentan los métodos de dimensionamiento y se analizan los mecanismos que producen su deterioro. A continuación, se exponen los diferentes procedimientos y equipos usados en la evaluación del estado del firme y de las técnicas de conservación. Por último, se analizan los diferentes tipos de programas de gestión de firmes.

BOLETÍN DE PEDIDO

Nombre persona o empresa:
 ¿Es socio?..... Tel:..... Fax:.....

DATOS PARA LA FACTURA

Nombre persona o empresa: N.I.F.:
 Dirección:
 Ciudad:Provincia:..... C.P.

DATOS PARA EL ENVÍO

Los mismos datos anteriores (señale con una cruz, si procede)
 Nombre persona o empresa:
 N.I.F.:
 Dirección:.....
 Ciudad: Provincia: C.P.

Gastos de envío:

Cant.	Título	P.V.P.	V.Socios	Parcial
NI' 4	Monografías: Maquinaria para la ejecución de pavimentos de hormigón	15,63	12,62	
NI' 5	Monografías: Plantas de fabricación de hormigón y grava-cemento	21,88	17,43	
NI' 7	Monografías: Tractor de orugas. Trabajos con hoja de empuje y ríper	25,00	19,83	
NI' 8	Monografías: Mototraillas	25,00	19,83	
NI' 9	Monografías: Dúmperes y tractovagones	25,00	19,83	
NI' 10	Monografías: Motoniveladora	25,00	19,83	
NI' 11	Monografías: Palas cargadoras de neumáticos y orugas	25,00	19,83	
XVI VYODEAL:	"La gestión de las carreteras locales. Necesidades y Recomendaciones"	40,63	36,06	
	Documentos técnicos del XVI VYODEAL	75,01	62,51	
	Documento suelto del XVI VYODEAL	21,88	15,03	
XVII VYODEAL	"Las carreteras y el desarrollo local"	42,25	37,50	
	Documentos XVII VYODEAL (7 números)	78,00	65,00	
	Documentos técnicos del XIV VYODEAL (3 números)	37,50	31,25	
	Tratado de estabilización y reciclado de capas de firmes con emulsión asfáltica	30,05	23,74	
	Gestión y financiación de las infraestructuras del transporte terrestre	46,88	37,26	
I Congreso Andaluz de Carreteras:	Construcción de carreteras en climas semia	93,76	75,13	
	Documentos técnicos del XV VYODEAL (4 números)	51,09	39,07	
	Documento técnico suelto del XV VYODEAL	18,75	12,62	
	Jornadas sobre la política del transporte y el cambio climático	37,50	31,25	
XXIII Semana de la carretera.	La nueva era de la gestión privada de las..	43,75	40,63	
	"Recomendaciones para su aplicación a las redes de ctas. de las CCAA y.."	46,88	37,26	
CD 1er Simposio Internacional sobre	Estabilización de Explanadas y reciclado..	30,00		
Jornadas Técnicas "El Mundo ATIS.	La difusión de Información al viajero"	31,25	25,24	
XXIV Semana de la Carretera.	V Encuentro Nacional de la Carretera	50,00	45,00	
Innovaciones Técnicas en la	Construcción de Carreteras. La Maquinaria y su Legislación	31,25	25,24	
III Congreso Andaluz de Carreteras	(CD Rom incluido)	120	100	
VI Congreso Nacional de Firmes.	"Normalización e Innovación"	60	48	
XXV Semana de la Carretera VI	Encuentro Nacional de la Carretera	52	42	
"Una Red de Transporte Sostenible"	I Congreso Nacional de Seguridad Vial	41,6	33,28	
Nuevos Sistemas de Gestión y	Financiación de Infraestructuras del Transporte	50	40	
La vida de los puentes		60	48	
XVIII Vyodeal. Hacia una mejor	explotación de las carreteras	40	32	
	Documentos técnicos XVIII Vyodeal nº 24, 25, 26 y 28	40/ud	32/ud	
	Documentos técnicos XVIII Vyodeal nº 27	60	48	
II Congreso Nacional de Seguridad	Vial. Hacia una seguridad sostenible: "una estrategia para todos" (CD 30€)	67	54	
I Jornada de Participación	Ciudadana en la planificación de infraestructuras	62	49,60	
I Congreso Nacional de Medio	Ambiente en Carreteras	60	48	
VII Congreso Nacional de Firmes		80	64	
XXVI Semana de la Carretera.	"Carreteras para el transporte de mercancías"	52	42	
Proyecto, Conservación y	Gestión de Firmes	40	32	
XIX Vyodeal "Carreteras,	Territorio y Accesibilidad"	40	32	
	Documento Técnico del Vyodeal Nº29: Drenaje y pequeñas obras de fábrica para carreteras locales	40	32	
	Documento Técnico del Vyodeal Nº30: Plan de Seguridad Vial para una red de carreteras locales	40	32	
	Libro del XIX VYODEAL + Documentos 29 y 30	100	80	
	Anuario de la Carretera 2007	50	-	
Gastos de envío				
TOTAL				

Una vez recibido este boletín de pedido, se le comunicará el importe más los gastos de envío.

Forma de pago:

Contra-reembolso.

- Talón adjunto a nombre de la ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA.
- Transferencia al BANCO CENTRAL HISPANO (C/. Goya, 25 - 28001 MADRID)
- Código de cuenta: 0049-0271-30-2811165823. (Adjuntar copia de la orden de transferencia)

Enviar el Boletín de Pedido a:

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA
 Goya, 23 - 4º Dcha. - 28001 MADRID • Tel.: 91 577 99 72 • Fax: 91 576 65 22
 e-mail: aec@aecarretera.com



ADMINISTRACIÓN CENTRAL

- Dirección General de Carreteras (Ministerio de Fomento)
- Dirección General de Tráfico (Ministerio del Interior)

ASOCIACIONES

- Agrupación de Fabricantes de Cementos de España (OFCEMEN)
- Asociación de Empresas Constructoras de Ambito Nacional (SEOPAN)
- Asociación de Empresas de Conservación y Explotación de Infraestructuras (ACEX)
- Asociación de Empresas de Tecnologías del Suelo y Subsuelo (Aetess)
- Asociación de Fabricantes de Señales Metálicas de Tráfico (AFASEMETRA)
- Asociación de Ingenieros, Funcionarios de Administración Local
- Asociación de Sociedades Españolas Concesionarias de Autopistas, Túneles, Puentes y Vías de Peaje (ASETA)
- Asociación Española de Empresas Constructoras de Obra Pública (AERCO)
- Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC)
- Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas (ASEFMA)
- Asociación Española de Fabricantes de Sistemas Metálicos de Protección Vial (SIMEPROVI)
- Asociación Española de Operadores de Productos Petrolíferos (AOP)
- Asociación Nacional de Fabricantes de Cales y Derivados de España (ANCADE)
- Asociación Nacional de Fabricantes de Luminarias (ANFALUM)
- Asociación Nacional de Industriales de Pantallas y Dispositivos Antirruído (ANIPAR)
- Asociación Mutua Motera
- Asociación Patronal de Empresas de Tráfico (PEMTRA)
- Asociación Técnica de Carreteras
- Confederación Española de Transporte de Mercancías (CETM)
- Confederación Nacional de Autoescuelas (CNAE)
- Federación de Áridos (FdA)
- ITS España

AUTOMÓVILES

- Toyota España S.L.U.

AUTOPISTAS

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| • ABERTIS | • Accesos de Madrid |
| • ACEGA | • ACESA |
| • AUCALSA | • AUCAT |
| • AUCOSTA | • AUDASA |
| • AUDENASA | • AULESA |
| • AUMAR | • AUSUR |
| • AUTEMA | • Autoestradas de Galicia |
| • Autopista Eje Aeropuerto | • Autopista Madrid Levante |
| • Autopista Madrid Sur | • Autopista del Sol |
| • Autopista Madrid-Toledo | • AVASA |
| • Castellana de Autopistas | • Cintra |
| • CIRALSA | • Europistas |
| • HENARSA | • IBERPISTAS |
| • TABASA | • Túnel del Cádiz |
| • Túnel del Sóller | • Túneles de Artxanda |

AYUNTAMIENTOS

- Barcelona
- Madrid
- Valladolid

CÁMARAS DE COMERCIO

- Cámara Oficial de Comercio e Industria de Huesca

CENTROS DE INVESTIGACIÓN Y EDUCACIÓN

- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- E.U. de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas
- Fundación Agustín de Betancourt

COLEGIOS PROFESIONALES

- Colegio de Ingenieros, Caminos, Canales y Puertos
- Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas

COMUNIDADES AUTONOMAS

- | | |
|----------------------------------|---|
| • Ciudad Autónoma de Melilla | • Comunidad Autónoma de la Región de Murcia |
| • Comunidad Autónoma de La Rioja | • Diputación General de Aragón |
| • Comunidad de Madrid | • Generalitat Valenciana |
| • Generalitat de Catalunya | • Gobierno de Cantabria |
| • Gobierno de Canarias | • Gobierno de Navarra |
| • Gobierno de Navarra | • Gobierno Vasco |
| • Junta de Andalucía | • Junta de Castilla y León |
| • Junta de Castilla - La Mancha | • Principado de Asturias |
| • Servei Català de Transít | • Xunta de Galicia |

CONCESIONARIAS DE INFRAESTRUCTURAS

- Concesiones de Madrid, S.A.
- Ruta de los Pantanos, S.A.
- Itinere Infraestructuras S.A.
- OHL Concesiones.

CONSTRUCTORAS

- Acciona Infraestructuras S.A.
- Aldesa Construcciones S.A.
- Azvi, S.A.
- COMSA S.A.
- Construcciones Sevilla Nevado, S.A.
- Constructora Hispánica, S.A.
- Corsán - Corviam, Constructora S.A.
- Construcciones Araplaza, S.A.
- CRECOC
- Dragados, S.A.
- DUSE
- Elsamex, S.A.
- Elsan Pacsa, S.A.
- FCC Construcción, S.A.
- Ferrovial - Agroman, S.A.
- Grupo Sedesa
- JOCA, Ingeniería y Construcciones, S.A.
- Midascon, S.L.
- Panasfalto, S.A.
- Pavimentos Asfálticos de Castilla, S.A.
- Pavimentos Asfálticos de Salamanca, S.L.
- PROBISA, Tecnología y Construcción, S.A.
- Rodio Cimentaciones Especiales, S.A.
- Salvador Rus López Construcciones, S.A.U.
- Sorigué, S.A.
- Stachys, S.A.U.
- Tebycon, S.A.
- Torrescámara y Cía, S.A.
- TRABIT
- Vias y Construcciones, S.A.
- Virton, S.A.

DIPUTACIONES, CABILDOS Y CONSELLS

- | | | | |
|----------------|---------------|----------------------|--------------|
| • Alava | • Alicante | • Almería | • Avila |
| • Badajoz | • Barcelona | • Burgos | • Cáceres |
| • Cádiz | • Ciudad Real | • Córdoba | • Gerona |
| • Gran Canaria | • Granada | • Guadalajara | • Guipúzcoa |
| • Huelva | • Huesca | • Ibiza y Formentera | • León |
| • Lugo | • Málaga | • Mallorca | • Menorca |
| • Orense | • Pontevedra | • Salamanca | • Segovia |
| • Sevilla | • Soria | • Tarragona | • Tenerife |
| • Teruel | • Toledo | • Valencia | • Valladolid |
| • Vizcaya | • Zaragoza | | |

ESTABILIZACIÓN DE FIRMES

- Asfaltécnica, Tecnología de Firmes, S.A.
- Asfaltómeros, S.A.
- Firmes Ecologicos Soltec, S.A.

GESTIÓN DE INFRAESTRUCTURAS

- Giasa, Gestión de Infraestructuras de Andalucía, S.A.

INGENIERÍA Y CONSULTORÍA

- | | |
|---|---|
| • Aeop, S.A. | • Auditores de Seguridad Vial |
| • B.B. & J. Consult, S.A. | • CPS Ingenieros, Obra Civil y Medio Ambiente, S.L. |
| • Euroconsult, S.A. | • GEOCISA |
| • Eyser, Estudios y Servicios S.A. | • GESSING |
| • Geoteyco, S.A. | • GINPROSA |
| • GETINSA Ingeniería, S.L. | • IBERINSA |
| • G.O.C. | • Ingeconsult Ingeniería, S.A. |
| • INECO | • INTECSA-INARSA |
| • Inocsa | • IVA-LEYING, S.A. |
| • Inzamac Asistencias Técnicas, S.A. | • Norcontrol Soluziona. |
| • Labama Ingeniería, S.L. | • Prointec, S.A. |
| • Payject XXI | • SAM_RO |
| • PYCSA, Proyecto y Control, S.A. | • SERCAL, S.A. |
| • Sener, Ingeniería y Sistemas, S.A. | • TAIRONA CONSULTORES, S.L. |
| • Steer Davies Gleave, LTD. | • Técnicas y Proyectos, S.A. (TYPSA) |
| • Técnicas Reunidas Initec Infraestructuras | • VIANOVA Systems Spain S.L. |
| • TEMA Grupo Consultor, S.A. | |

MAQUINARIA DE OBRA PÚBLICA

- Emsa
- TEMAC

NEUMÁTICOS

- Neumáticos Michelin, S.A.

PETRÓLEOS

- Asfaltos y Construcciones UCOP, S.A.
- Asfaltos Naturales del Campezo, S.A.
- Bitumex, S.A.
- BP OIL España
- Color Vial, S.L.
- GALP Energía
- Nynas Petróleo, S.A.
- PABASA
- PROAS
- Productos Bituminosos de Galicia, S.A.
- Repsol YPF Lubricantes y Especialidades, S.A.
- SOCOTHERM SPA.

PRODUCTOS QUÍMICOS - ADITIVOS

- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| • Campi y Jove, S.A. | • Composan Construcción, S.A. |
| • Kao-Corporation, S.A. | • SIKA, S.A. |
| • Tecus Plásticos, S.L. | |

SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE Y REGULACIÓN DE TRÁFICO

- | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|
| • ACISA | • APLITEC, S.L. |
| • Canal de Comunicaciones Unidas, SAU | • Crespo y Blasco S.A. |
| • GMV Sistemas, S.A. | • FCC, S.A. |
| • INDRA SISTEMAS, S.A. | • IKUSI |
| • Odeco Group. | • Kapsch TrafficCom AB (COMBITECH) |
| • SEVIDETEC, S.L. | • Rosell Electrónica, S.L. |
| • SISTEM, S.A. | • SICE |
| | • Telvent Tráfico y Transporte S.A. |

SEGUROS Y ASISTENCIA

- ADA, Ayuda del Automovilista, S.A.
- Automovilistas Europeos Asociados.
- RACC, Real Automóvil Club de Catalunya.
- RACE, Real Automóvil Club de España.

SEGURIDAD VIAL

- Instituto de Seguridad Vial de la FUNDACIÓN MAPFRE

SEÑALIZACIÓN

- 3M España, S.A.
- API Movilidad
- Asebal, S.L.
- DÍEZ Y CÍA, S.A.
- EUCOMSA, S.A.
- GIVASA
- GRUPISAW
- IBERSEÑAL, S.L.
- Industrias Saludes, S. A. U.
- Jerol Vial, S.L.
- MOSA
- Nippon Carbide Industries España, S.A.
- Norte Industrial, S.A.
- Postigo Obras y Servicios, S.A.
- PROSEÑAL
- REYNOBER, S.A.
- Rótulos Ayllón, S.A.
- S.A. de Señalizaciones NYD
- Señalizaciones Villar, S.A.
- Somar Málaga, S.A.
- Sovitec Ibérica, S.A.
- Tecnivial, S.A.
- TESA, Técnica de Embalajes, S.A.
- Tevaseñal, S.A.
- Traffic Vial S.L.
- Transfer, Sociedad de Marcas Viales, S.L.

SERVICIOS AUXILIARES DE LA CONSTRUCCIÓN

- HIASA

VARIOS

- | | |
|------------------------------|---|
| • BCA Autosubastas | • Carlson Wagonlit España, S.L. |
| • Comunicación y Diseño S.L. | • Organización de Consumidores y Usuarios (OCU) |
| • ETRASA | |

CARRETERAS



REVISTA TÉCNICA DE LA ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE LA CARRETERA

Cepsa Proas, Productos Asfálticos, S.A.

DOMICILIO: **C/ Ribera del Loira, 50**
 C.P.: **28042**
 CIUDAD: **Madrid**
 TELÉFONO: **91 337 71 27**
 FAX: **91 337 71 32**



SUMINISTROS

MATERIALES

Másticos para sellado de juntas

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Betunes asfálticos
 Betunes asfálticos modificados

Emulsiones asfálticas
 Emulsiones de betunes modificados

Construcciones y Obras Llorente, S.A.

DOMICILIO: **C/ Aluminio, 17**
 C.P.: **47012**
 CIUDAD: **Valladolid**
 TELÉFONO: **983 21 81 91**
 FAX: **983 21 81 92**



E-MAIL: **construccion@collosa.es**

CAPITAL SOCIAL: **2.000.000 euros**

ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Internacional**

FACTURACIÓN: **de 60,11 a 300,51 millones euros**

SUMINISTROS

MAQUINARIA Y EQUIPOS

Vialidad invernal

MATERIALES

Mezclas asfálticas en caliente
 Mezclas asfálticas en frío
 Mezclas asfálticas con ligantes modificados
 Mezclas drenantes

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Materiales granulares

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN

Conservación Integral
 Movimiento de tierras
 Pavimentación con mezclas asfálticas en caliente
 Pavimentación con mezclas asfálticas en frío
 Pavimentación con mezclas de ligantes asfálticos modificados
 Pavimentación con mezclas drenantes
 Puentes
 Reciclado de pavimentos

Riegos asfálticos
 Riegos con ligantes modificados

CONSULTORÍA E INGENIERÍA

Evaluación de firmes
 Inventario de carreteras
 Proyectos de rehabilitación

CONTROL DE CALIDAD

En laboratorio

Corsan-Corviam, S.A.

DOMICILIO: **C/ Caballero Andante, 8**
 C.P.: **28021**
 CIUDAD: **Madrid**
 TELÉFONO: **91 449 30 00**
 FAX: **91 449 33 33**



E-MAIL: **info@corsan-corviam.es**

ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Regional, Nacional e Internacional**

FACTURACIÓN: **de 601,01 a 1.202,02 millones euros**

SUMINISTROS

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Emulsiones asfálticas
 Emulsiones de betunes modificados

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN

Conservación Integral
 Consolidación de terrenos
 Drenajes
 Estructuras

Fresado de pavimentos
 Impermeabilización
 Juntas prefabricadas de puentes
 Limpieza
 Movimiento de tierras
 Pavimentación con hormigón hidráulico
 Pavimentación con mezclas asfálticas en caliente
 Pavimentación con mezclas asfálticas en frío
 Pavimentación con mezclas de ligantes asfálticos modificados
 Pavimentación con mezclas drenantes

Pavimentación con mezclas hidráulicas
 Perforación de túneles
 Protección de taludes
 Puentes
 Reciclado de pavimentos
 Rehabilitación de puentes
 Restitución de servicios
 Riegos asfálticos
 Riegos con ligantes modificados
 Sellado
 Voladuras

ELSAN-PACSA, S.A.

DOMICILIO: **C/ Enrique Larreta 10**
C.P.: **28036**
CIUDAD: **Madrid**
TELÉFONO: **91 384 74 00**
FAX: **91 767 11 94**
WEB: **www.elsan-pacsa.com**



ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Nacional**

FACTURACIÓN: **de 60,11 millones a 300,51 millones de euros**

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

SERVICIOS URBANOS

Conservación y Mantenimiento

- Parques, jardines y mobiliario urbano
- Tratamiento de cubiertas y fachadas
- Conservación de galerías
- Conservación de pasos a distinto nivel y estructuras

- Conservación de alcantarillados
- Conservación de pavimentos
- Conservación de bocas de riego
- Conservación de redes hidráulicas

Rehabilitación y Remodelación

- Obra Civil:
Urbanización; Viales; Pavimentación; Puentes; Pasarelas; Aparcamientos; Aceras
- Hidráulicas y medioambientales:
Instalaciones de riego; Hidrantes; Acometidas; Tuberías y canalizaciones; Parques y jardines; Alumbrado; Mobiliario urbano

CONSERVACIONES VIARIAS

Servicios Varios

- Conservaciones integrales
- Conservaciones preventivas

- Refuerzos de firmes

- Reparaciones de pavimentos

Servicios Industriales

- Producción asfáltica en las plantas de:
Arganda (Madrid) 350 tn/n
Valencia 250 tn/n
Seseña (Toledo) 200 tn/n

SERVICIOS A LA INFRAESTRUCTURAS

A las infraestructuras de obra civil

- Mantenimiento y conservación de infraestructuras

- Servicios a las infraestructuras:
Canales; Presas; Regadíos; Acequias

- Costas
Paseos Marítimos

- Conducciones y canalizaciones
- Urbanizaciones industriales
- Redes horizontales de gas

A las infraestructuras del medio natural

- Hidrológico – forestal
- Cauces y márgenes de ríos
- Márgenes de carreteras

- Costas:

- Recuperación medioambientales

- Infraestructuras agrarias

- Reforestaciones

- Infraestructuras de residuos:

- Soterramiento de contenedores

- Transporte neumático de basuras y otros

productos

- Tratamiento de residuos:

- Sellado de vertederos

- Descontaminación de suelos

A las infraestructuras de edificación

- Mantenimiento inmobiliario

- Edificación modular

- Remodelación y rehabilitación

- Redes verticales de gas

- Instalaciones interiores de gas

Servicios viarios portuarios y aeroportuarios

- Handling

- Sistemas ITS

- Áreas y estaciones de servicios

- Áreas de descanso

Elsamex, S.A.

DOMICILIO: **C/ San Severo, 18**
C.P.: **28042**
CIUDAD: **Madrid**
TELÉFONO: **91 329 44 77**
FAX: **91 329 40 57**



ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Nacional - Internacional**

FACTURACIÓN: **De 60,11 a 300,51 millones euros (10.001 a 25.000 millones pts)**

SUMINISTROS

MAQUINARIA Y EQUIPOS:

Aplicación de pinturas para señalización horizontal
Auscultación de firmes
Barredoras
Bombas
Cintas Transportadoras
Cisternas para riesgos asfálticos
Cisternas para transportes de líquidos
Compactadoras
Compresores
Control de calidad
Control de vegetación
Control y gestión de tráfico
Cortadoras de juntas
Depósitos de almacenamiento
Evaluación de firmes
Evaluación de la señalización
Extendedoras de mezclas asfálticas
Extendedoras de mezclas hidráulicas
Fresadoras de pavimentos
Geotecnia
Gravilladoras
Grúas
Inventario
Laboratorio
Limpieza
Machacadoras
Maquinaria para compactación
Maquinaria para dragados
Maquinaria para excavación
Maquinaria para explanación
Maquinaria para transporte de tierras
Movimiento de tierras
Pavimentadoras de hormigón hidráulico

Plantas de fabricación de áridos
Plantas de fabricación de betunes
Plantas de fabricación de emulsiones asfálticas
Plantas de fabricación de mezclas asfálticas en caliente
Plantas de fabricación de mezclas asfálticas en frío
Plantas de reciclado de pavimentos
Silos
Topografía
Vehículos industriales para el transporte
Vialidad invernal

MATERIALES:

Andamios
Apoyo para puentes
Balizas
Barreras
Juntas para tableros de puentes
Mezclas asfálticas en caliente
Mezclas asfálticas en frío
Mezclas asfálticas con ligantes modificados
Mezclas drenantes
Mezclas hidráulicas
Pinturas para señalización
Reflectantes para señalización vertical
Reflectantes para señalización horizontal

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Aditivos para asfaltos
Aditivos para cementos
Betunes asfálticos
Betunes asfálticos modificados
Emulsiones asfálticas
Emulsiones de betunes modificados

NEUMÁTICOS

Maquinaria pesada
Vehículos industriales
Vehículos ligeros

SEGURIDAD VIAL Y GESTIÓN DE TRÁFICO:

Alumbrado
Balizamiento
Barreras antirruído
Información variable
Intelligent traffic system
Pantallas antideslumbrantes
Pavimentos especiales
Pórticos y Banderolas
Señalización horizontal
Señalización vertical
Sistemas de control de tráfico

VIARIOS:

Aparcamiento
Casetas de obra
Material de dibujo
Revistas técnicas
Ropa de trabajo
Seguros

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN:

Conservación Integral
Consolidación de terrenos
Drenajes
Estructuras
Fresado de pavimentos
Impermeabilización
Juntas prefabricadas de puentes
Limpieza
Movimiento de tierras
Pavimentación con hormigón hidráulico
Pavimentación con mezclas asfálticas en caliente
Pavimentación con mezclas asfálticas en frío
Pavimentación con mezclas de ligantes asfálticos modificados
Pavimentación con mezclas drenantes
Pavimentación con mezclas hidráulicas
Protección de taludes
Puentes
Reciclado de pavimentos
Rehabilitación de puentes
Restitución de servicios
Riegos asfálticos
Riegos con ligantes modificados
Sellado
Voladuras

CONSULTORÍA E INGENIERÍA:

Auscultación de firmes
Auscultación de estructuras
Control y gestión de tráfico
Evaluación de firmes
Evaluación de la señalización
Geotecnia
Gestión de carreteras
Inventario de carreteras
Inventario de señalización
Proyectos de acondicionamiento
Proyectos de estructura de fábrica
Proyecto de estructuras metálicas
Proyectos de rehabilitación
Proyectos de trazados

CONTROL DE CALIDAD

En obra
En laboratorio
En planta
Ensayo de materiales
Medio Ambiente

CONTROL DE VEGETACIÓN

Impacto ambiental
Medición de índices de ruido

Paisajismo
Plantaciones vegetales
Protección y revegetación de taludes
Paneles antirruído

SEGURIDAD VIAL Y GESTIÓN DE TRÁFICO:

Alumbrado público
Balizamiento
Barreras
Control y gestión de tráfico
Estadística
Estudios de accidentalidad
Pantallas antideslumbrantes
Pavimentos especiales
Señalización horizontal
Señalización variable
Señalización vertical
Sistemas de control de tráfico

Kao Corporation, S.A.

DOMICILIO: **C/ Puig dels Tudons, 10**

C.P.: **08210**

CIUDAD: **Barberà del Vallès (Barcelona)**

TELÉFONO: **93 739 93 00**

FAX: **93 739 93 77**

E-MAIL: **Kao@Kao.es**

ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Internacional**

FACTURACIÓN: **de 60,11 a 300,51 millones euros**

SUMINISTROS

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Productos químicos



Postigo Obras y Servicios, S.A.

DOMICILIO: **C/ Juan de la Cierva, 9**

C.P.: **46940**

CIUDAD: **Manises (Valencia)**

TELÉFONO: **96 154 51 41**

FAX: **96 153 33 72**

E-MAIL: **psadir@grupo-postigo.es**

CAPITAL SOCIAL: **1.806.000,00 euros**

ÁMBITO DE ACTUACIÓN: **Nacional**

FACTURACIÓN: **hasta 60,10 millones euros**

SUMINISTROS

MATERIALES

Balizas
Barreras

SEGURIDAD VIAL Y GESTIÓN DEL TRÁFICO

Balizamiento
Barreras antirruído
Información variable
Pantallas antideslumbrantes
Pórticos y banderolas
Señalización horizontal
Señalización vertical

VARIOS

Mobiliario urbano

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN

Obra civil
Recuperación de trazados: Vías verdes y caminos naturales.
Pasarelas peatonales.
Restauración paisajística
Conservación integral
Estructuras

CONSULTORÍA E INGENIERÍA

Evaluación de la señalización
Gestión de carreteras
Inventario de carreteras
Inventario de señalización
Proyectos de acondicionamiento
Proyecto de estructuras metálicas

MEDIO AMBIENTE

Control de vegetación
Impacto ambiental
Medición de índices de ruido
Paisajismo
Plantaciones vegetales
Protección y revegetación de taludes
Paneles antirruído



Probisa Tecnología y Construcción S.A.

DOMICILIO: C/ Gobelos, 25-27 3ª plta.

C.P.: 28023

CIUDAD: La Florida (Madrid)

TELÉFONO: 91 708 29 54

FAX: 91 372 90 22

ÁMBITO DE ACTUACIÓN: Nacional - Internacional

FACTURACIÓN: de 60,11 a 300,51 millones euros



SUMINISTROS

MAQUINARIA Y EQUIPOS

Evaluación de firmes
Laboratorio
Plantas de fabricación de betunes
Plantas de fabricación de emulsiones asfálticas

MATERIALES

Másticos para sellado de fisuras
Másticos para sellado de juntas
Mezclas asfálticas en caliente

Mezclas asfálticas en frío
Mezclas asfálticas con ligantes modificados
Mezclas drenantes
Producción de Aridos

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Aditivos para asfaltos
Betunes asfálticos
Betunes asfálticos modificados
Emulsiones asfálticas

Emulsiones de betunes modificados
Materiales granulares
Productos químicos
Resinas

SEGURIDAD VIAL Y GESTIÓN DE TRÁFICO

Pavimentos especiales

VARIOS

Libros y Software para carreteras

EJECUCIÓN DE TRABAJOS

CONSTRUCCIÓN Y CONSERVACIÓN

Conservación integral
Consolidación de terrenos
Drenajes
Estructuras
Fresado de pavimentos
Impermeabilización
Juntas prefabricadas de puentes
Limpieza
Movimiento de tierras
Pavimentación con hormigón hidráulico
Pavimentación con mezclas asfálticas en caliente
Pavimentación con mezclas asfálticas en frío
Pavimentación con mezclas de ligantes asfálticos modificados
Pavimentación con mezclas drenantes e hidráulicas
Perforación de túneles

Protección de taludes
Puentes
Reciclado de pavimentos
Rehabilitación de puentes
Restitución de servicios
Riegos asfálticos
Riegos con ligantes modificados
Sellado
Voladuras

CONSULTORÍA E INGENIERÍA

Auscultación de firmes
Evaluación de firmes
Gestión de carreteras
Inventario de carreteras
Proyectos de acondicionamiento
Proyectos de estructura de fábrica
Proyectos de rehabilitación
Proyectos de trazados

CONTROL DE CALIDAD

En obra
En laboratorio y en planta
Ensayo de materiales

MEDIO AMBIENTE

Impacto ambiental
Paisajismo
Plantaciones vegetales
Protección y revegetación de taludes
Paneles antirruído

SEGURIDAD VIAL Y GESTIÓN DE TRÁFICO

Alumbrado público
Balizamiento
Barreras

Pantallas antideslumbrantes
Pavimentos especiales

OTROS CAPÍTULOS NO INCLUIDOS

Validación de diversos tipos de residuos

Repsol YPF Lubricantes y Especialidades S.A.

DOMICILIO: EDIFICIO TUCUMÁN, Glorieta Mar Caribe, I

C.P.: 28042

CIUDAD: Madrid

TELÉFONO: 91 753 97 10

FAX: 91 753 68 81

ÁMBITO DE ACTUACIÓN: Nacional



SUMINISTROS

COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES

Lubricantes

MATERIAS PRIMAS Y ADITIVOS

Betunes asfálticos
Betunes asfálticos modificados

Emulsiones asfálticas

Emulsiones de betunes modificados
Productos químicos

Mantenemos todo tipo de infraestructuras, respetando el medio ambiente



Desde enero de 2002, gestionamos y realizamos todas las actividades del Grupo OHL, en servicios urbanos, viarios y a las Infraestructuras, con un objetivo fundamental, **SER LÍDERES** en la aportación de las soluciones más avanzadas para la conservación, mantenimiento, rehabilitación y remodelación de elementos urbanos e interurbanos.

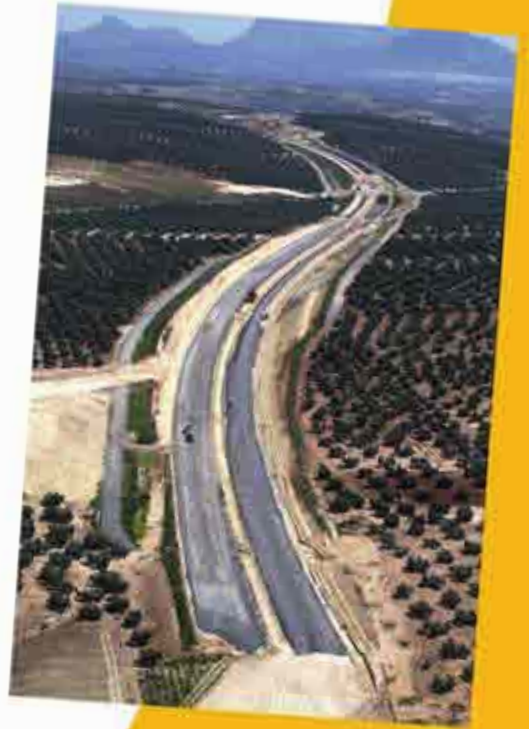
Podemos asegurar la consecución de este objetivo, al disponer de los mejores y más capacitados equipos humanos, de la más moderna maquinaria y de los más avanzados medios técnicos, que convergen en una filosofía común: "Máxima seguridad y calidad en la realización de los trabajos, y máximo respeto por el medio ambiente".



CARRETERAS, FERROCARRILES, PRESAS, PUERTOS, AEROPUERTOS, OBRA INDUSTRIAL, HOSPITALES, CENTROS COMERCIALES, MUSEOS, VIVIENDAS, HOTELES, UNIVERSIDADES...



Hacemos
GRANDES
hasta los SUEÑOS
más pequeños...



ferrovial

AGROMAN

CONSTRUIMOS SUEÑOS

www.ferrovial.com