

ASFALTO

y pavimentación

Número 16 · Volumen V · Primer trimestre · 2015

número **16**



INTRAME

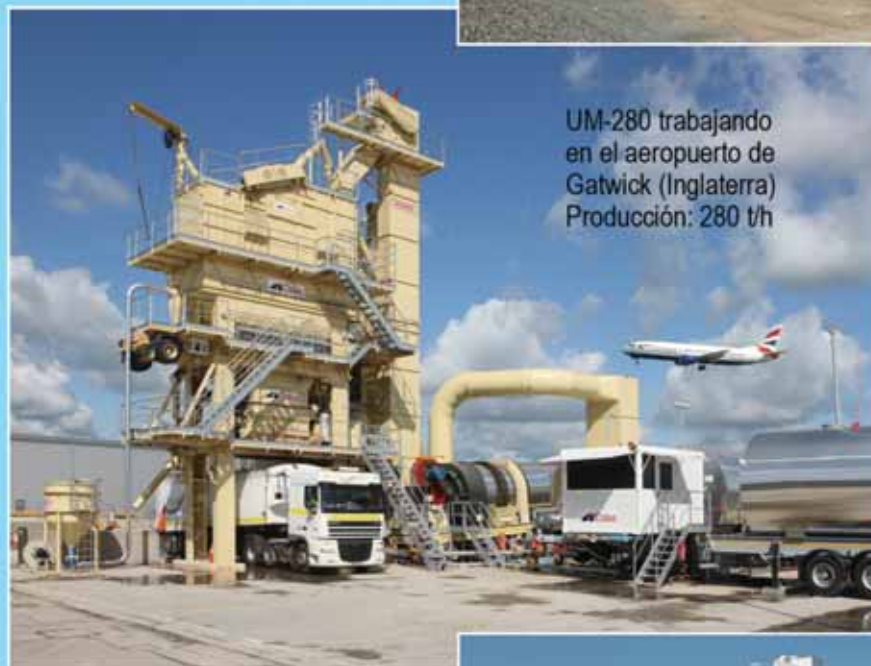
PLANTAS ASFÁLTICAS ▶ DEL TIPO ESTACIONARIO

Producciones de 80 a 400 t/h.

Equipos de reciclado en frío y en caliente como accesorios.



InNova 350 trabajando
en Polonia
Producción: 350 t/h



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

◀ PLANTAS ASFÁLTICAS ULTRA-MÓVILES

Producciones de 80 a 400 t/h.

Todas las unidades
principales montadas
sobre ruedas

Equipos móviles de reciclado
en frío y en caliente como
accesorios

PLANTAS ASFÁLTICAS ▶ MODULARES

Producciones de 80 a 400 t/h.

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

INTRAME

Industrial de Transformados Metálicos S.A.

Oficina Comercial:

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



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



Número 16 · Volumen V
Primer trimestre · 2015

ASFALTO Y PAVIMENTACIÓN

Director

Juan José Potti

Comité de Redacción

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

Secretario

Andrés Pérez de Lema

Coordinador

José Carlos Cámara

Secretaría

Lies Ober

Editorial Prensa Técnica, S. L.

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

Suscripción anual (4 números)

España: 10 €
Extranjero: 12 €

ISSN: 2174-2189

Depósito Legal: M21967-2011

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

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

Sumario

Número 16 · Volumen V · Primer trimestre · 2015

Editorial

El PG-3, un documento de referencia

05

Tribuna

José Antonio Soto

07

El módulo dinámico de la mezcla bituminosa: importancia, evaluación y estimación

Ángel Mateos Moreno, Jorge B. Soares

09

Comportamiento al fuego de mezclas bituminosas a escala real: Proyecto Pavirex

Marisol Barral, Ramón Romera, Fernando Garrido,
Celestino González, Inmaculada Álvarez, Mª Eugenia Muñoz,
Antxon Santamaría, Zita Palmillas, Ignacio Pérez,
Sara Villanueva

21

La revisión del PG-3. Implicaciones para el sector de las mezclas bituminosas

José Luis Peña

37

Los cambios normativos en el nuevo PG-3

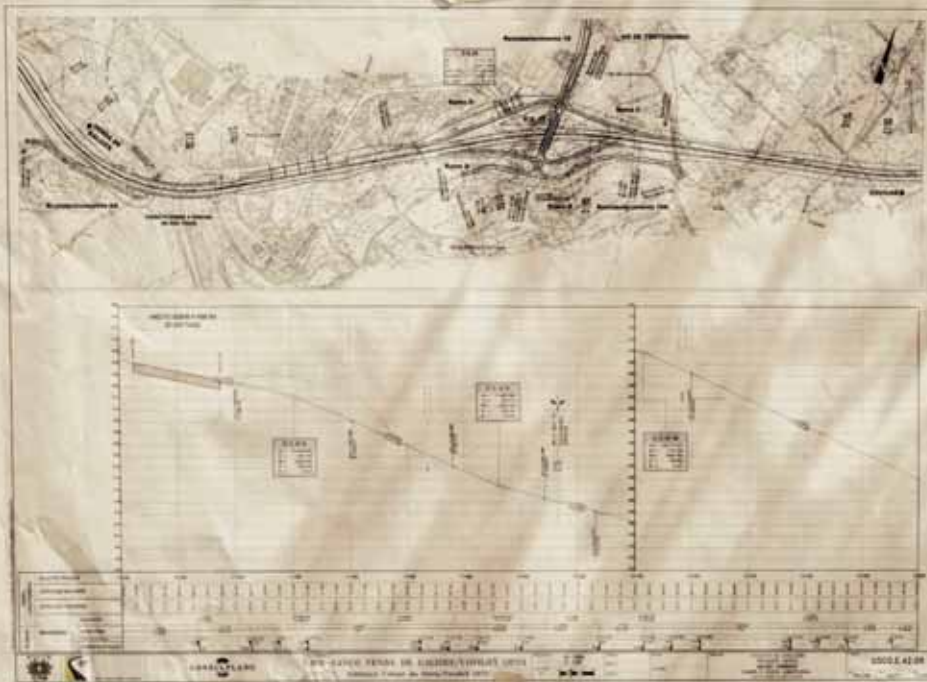
Lucía Miranda Pérez

45

Secciones fijas

Descripción de ensayos para mezclas bituminosas,
Normativa, Noticias, Calendario, Mirando al pasado,
Redes sociales, Lecturas recomendadas,
Afirmaciones asfálticas

49



1/4 de obra es obra nuestra

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

Tel.: 91 714 67 00 - Fax: 91 714 68 71 - E-mail: buzon.espana@galpenenergia.com



El PG-3, un documento de referencia

 El 3 de enero de 2015 se publicó en el BOE la actualización de determinados artículos del pliego de prescripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes (PG-3). En ella se incluyen modificaciones que han venido siendo aplicadas en los últimos tiempos, pero también algunas otras que pueden tener gran repercusión en la evolución de la técnica de construcción de carreteras en España en los próximos años.

Pero antes de entrar en el comentario sobre algunas de estas modificaciones realizadas en el documento y en su valoración, parece conveniente situar el PG-3 en su contexto.

Este documento es un punto de encuentro fundamental entre los diferentes actores que participan en la construcción de carreteras, incluyendo referencias que son utilizadas desde la elaboración del proyecto hasta su ejecución, control y abono de los trabajos realizados. Es el pliego que se ha venido empleando en los últimos 50 años como referencia en todo tipo de contratos de obras de carreteras, tanto públicos como privados, en todo tipo de administraciones públicas (municipios, diputaciones, comunidades autónomas, empresas públicas...) y para la realización de obras que tienen necesidades muy diferentes.

Es por ello el PG-3 un documento que se observa y analiza desde muy diferentes puntos de vista y con necesidades a cubrir muy dispares, por lo que es muy complejo adecuarlo a todas las partes implicadas. Hay quien busca en él una referencia para la elaboración de proyectos. Algunos, una receta estricta para la realización de las diferentes unidades de obra o incluso una herramienta de riguroso control. Otros buscan un marco normativo amplio, con flexibilidad que permita la realización de los trabajos con cierta libertad de acción. En definitiva, un documento que se analiza desde tan diversos puntos de vista es muy difícil que cubra todas las expectativas de todos los actores participantes en el proceso.

La revisión del PG-3 afecta a un gran número de artículos del pliego; esta editorial se va a centrar principalmente en comentar algunos aspectos de las modificaciones realizadas en los artículos relacionados con las mezclas bituminosas y sus materiales constituyentes.

Desde un punto de vista general, los artículos del pliego mantienen una estructura similar a la que ya poseía en

revisiones anteriores, con unas especificaciones muy claras sobre las materias primas a emplear, sobre los productos a fabricar, así como sobre determinadas características de las instalaciones y los procesos de fabricación y puesta en obra; finalmente, se indican las especificaciones que deben cumplir las unidades de obra ejecutadas empleando los materiales y el proceso descrito. Por este motivo, en algunas ocasiones se le considera un documento que encorseta el proceso en exceso, sin dar demasiado pie a las innovaciones. Se podría ir a un esquema de pliego más abierto, que fijara únicamente las características finales de las unidades de obra, dejando más libre el resto del proceso. Pero, teniendo en cuenta la importancia que tiene el proceso de ejecución tanto en las características finales del producto como en su durabilidad, se puede pensar que dejar más abierto el proceso tendría que venir acompañado de un incremento en la responsabilidad del contratista, que debería asegurar no sólo las características finales del producto, sino también su durabilidad, lo que afectaría al entorno legal que legisla la relación entre la administración y los contratistas.

Entrando en detalles la nueva redacción del pliego ha abierto la puerta a algunas de las innovaciones que se han ido desarrollando en los últimos años en el sector; principalmente destacan la posibilidad de emplear un porcentaje mayor de material procedente de fresado de mezclas bituminosas en caliente o emplear mezclas bituminosas semicalientes (definidas como aquellas que permiten disminuir la temperatura de mezclado en, al menos, 40°C respecto a la mezcla equivalente).

Esta es una gran noticia y un paso absolutamente necesario para el empleo de este tipo de tecnologías. Incorporarlas al pliego da la posibilidad de aplicarlas, sin ningún tipo de reticencias. Pero no es suficiente para su empleo generalizado. Tal y como se ha visto con algunas técnicas innovadoras en el momento de su aparición (como podría ser el reciclado en caliente de capas bituminosas, cuyo empleo en España es minoritario, a pesar de existir un marco normativo desde el año 2001) la normalización y la inclusión en los pliegos generales no son herramientas suficientes para impulsarlas. Deben venir acompañadas de otros tipos de ac-

tuaciones, para que dichas tecnologías se incluyan en los nuevos proyectos y/o se pueda facilitar la incorporación en obras en ejecución.

Otro de los puntos importantes del pliego, que aunque no varía en demasía con respecto a las últimas redacciones del mismo se puede considerar importante, es el que se refiere a las penalizaciones y bonificaciones por mala o buena ejecución y resultados finales de los trabajos realizados, así como también por las características de los áridos empleados. Existe una gran diferencia entre las posibilidades de aplicar una penalización o una bonificación. Las penalizaciones se pueden aplicar siempre, mientras que las bonificaciones es necesario que se incluyan en los proyectos a priori; generalmente ésto último no se produce y, por lo tanto, a pesar de estar considerada su posibilidad, no es factible su aplicación habitualmente. Este es otro de los temas en el que el PG-3 no puede actuar sólo, sino dentro del marco legislativo global, impulsando estas medidas (que son muy positivas para la calidad final de los trabajos) a través de su inclusión en los proyectos.

Otro aspecto que ha variado en la redacción del pliego de forma significativa es la referencia al marcado CE tanto de los materiales constituyentes como de las mezclas bituminosas. La exigencia del mismo queda mucho más clara en la redacción actual, sin ambigüedades. Además, poseer el marcado CE podría reducir el número de ensayos de forma considerable, aunque este punto (como otros) queda en manos de la Dirección de las obras.

Aunque en el futuro vayan a existir infinidad de documentos analizando con más profundidad las modificaciones más concretas sobre los materiales y los procesos que se han realizado en el pliego, y sus consecuencias, no se pueden ol-

vidar cuestiones tan importantes como las producidas en el artículo que se refiere a los microaglomerados en frío, o también cuestiones más concretas como el incremento del contenido de ligante en las capas de base, la inclusión para determinados ensayos de laboratorio del método de compactación con la máquina giratoria, o la incorporación del ensayo de corte para controlar la adherencia entre capas (cuyas consecuencias y resultados se deberán analizar en el futuro). Quizás se echa en falta un artículo dedicado a las mezclas tipo SMA, cuyo empleo es cada vez mayor.

En definitiva, tras la publicación de la nueva revisión del PG-3, con sus luces y sus sombras, se abren una serie de posibilidades que deben ser aprovechadas, principalmente en el campo de la innovación tanto de los productos como de los procesos, teniendo en cuenta que su normalización e inclusión en el pliego general no es suficiente para el impulso de las nuevas tecnologías, sino que es necesaria una acción coordinada en diferentes ámbitos de la administración.

#12

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“Las mezclas SMA reducen la emisión de ruido a la vez que proporcionan una rodadura estable y de larga duración” (EAPA)

#INGENIERÍA

Las Comunicaciones Libres en las Jornadas de ASEFMA



José Antonio Soto
Vocal de la revista
Asfalto y Pavimentación

Año tras año, desde la primera Jornada Técnica del año 2005, han sido muchas las Comunicaciones Técnicas presentadas por sus autores a lo largo de las diferentes Jornadas. Todo esto supone, siempre, un gran esfuerzo para los equipos técnicos que han trabajado en su desarrollo y un coste económico para sus empresas, hasta conseguir que estas comunicaciones tengan el mayor nivel posible y conseguir que su idea o trabajo sea un referente para otros en el futuro.

Sin embargo, independientemente del beneficio promocional que pueda tener la empresa o la universidad a la que pertenezcan sus autores, estas ideas se diluirán en el tiempo si nadie las considera útiles para su aplicación en carreteras y se perderá el fruto de ese esfuerzo.

Se ha escrito mucho y bien sobre mezclas asfálticas con polvo de neumático, mezclas a baja temperatura, nuevos ligantes bituminosos, reciclados de pavimentos, aditivos del betún, se han analizado y cuestionado los diferentes ensayos de las mezclas según las nuevas normas europeas así como otros no normalizados que podrían facilitarnos el estudio de nuevas mezclas ... la lista se haría interminable.

Han sido años de sembrar nuevas ideas, nuevas tecnologías, de comunicar a las Administraciones que contamos con unos conocimientos que podrían ser muy útiles si se aplicasen en la construcción de carreteras, mejorando la seguridad de éstas, su impacto ambiental, haciendo más económica su construcción y aumentando su vida de servicio en buenas condiciones.

Analicemos algunos de los principales temas expuestos, hasta ahora, en las Jornadas Técnicas de ASEFMA.

Podríamos empezar por el Betún Caucho, impulsado por el M° de Medioambiente y muy bien acogido por el M° de Fomento. Se creó un grupo de trabajo muy potente co-

ordinado por el CEDEX en el que estaban empresas del sector asfáltico, de neumáticos y constructoras más representativas. Se editó un Manual sobre el trabajo realizado en donde se recogían todos los tipos de betún caucho, ensayos, mezclas en donde se podían utilizar y posteriormente se incluyeron en el Pliego General entre los posibles ligantes bituminosos para su uso en carreteras.

La pregunta a todos los técnicos que colaboraron, que presentaron y continúan presentando trabajos sobre mezclas con NFUs, a los organizadores de eventos en donde el protagonista es el polvo de neumáticos e incluso a las Administraciones de carreteras ¿se sienten compensados sus esfuerzos con obras en donde se han aplicado esa técnica? ¿Ven futuro en donde se puedan aplicar? ¿Consideran que las administraciones están receptivas a su aplicación como ligantes en sus carreteras?

Ojalá que todas las respuestas fuesen afirmativas, eso significaría la mejor recompensa al esfuerzo de todos.

Pasemos a las Mezclas a Baja Temperatura (Templadas y Semicalientes). De estas técnicas se viene hablando durante muchos años y también fueron muy bien acogidas por la mejora medioambiental que supone, en cuanto a emisiones y bajo consumo de energía. Se han desarrollado betunes aditivados con los que se puede bajar la temperatura de fabricación de las mezclas hasta en 40°C, las Mezclas Templadas con emulsión en las que la temperatura de mezcla es inferior a 100°C, la espuma betún, la utilización de ceras, zeolita y algunos sistemas patentados con áridos húmedos. Como vemos un sinfín de soluciones para ahorrar energía y disminuir las emisiones de gases nocivos.

Y...más de lo mismo, algunas obras en donde se han probado los diferentes productos y técnicas, pero proyectos originales importantes muy pocos.

Termino con la técnica de los Reciclados, también muy valorada desde el punto de vista medioambiental. Con los reciclados ahorramos áridos, betún y gastos en transporte. Nos permiten seguir manteniendo rasantes evitando levantar señales y barreras de seguridad.

Se ha invertido en plantas en caliente para poder utilizar una alta tasa de fresado, se han realizado reciclados templados con emulsión bituminosa con tasas elevadas, con la con-

Las Comunicaciones Libres en las Jornadas de ASEFMA

siguiente adaptación de plantas y tampoco son muchas las obras con las que poder presumir. Seguimos siendo de los países que menos reciclan sus carreteras a pesar del buen comportamiento de las obras en donde se ha utilizado el Reciclado en Frío, técnica a la espera de que se admita para un uso superior al permitido hasta ahora.

Si analizamos lo expuesto, a la vista de las comunicaciones presentadas en el último Congreso de ASEFMA, podemos comprobar que el sector continúa activo en el desarrollo de nuevos productos y tecnologías que harán subir la calidad de nuestras carreteras.

Se han presentado comunicaciones, a veces, que a los más escépticos puede parecerles ciencia-ficción pero que po-

drían ser la semilla para futuras técnicas utilizables en las carreteras del futuro.

En estos momentos, estoy convencido, que ya hay equipos trabajando en nuevos proyectos para presentar en la próxima jornada de 2015, con la esperanza e ilusión de contribuir a mejorar nuestras carreteras.

Y desde aquí hago una Propuesta de Futuro: todos los años se elige y se premia la mejor comunicación de las presentadas por sus autores, entregándoles una placa de reconocimiento. ¿Qué tal si, además de la placa, se les permitiera aplicar en una carretera, de cualquier Administración, los conocimientos de esa investigación, con el compromiso de exponer resultados en futuras Jornadas?

#13

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“Las mezclas asfálticas permiten su reutilización, lo cual es técnica, económica y socialmente conveniente” (Editorial, número 14)

#SOSTENIBILIDAD_Y_MEDIO_AMBIENTE



20 – 25 Abril 2015

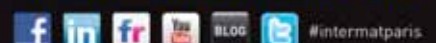
Paris-Nord Villepinte - Francia

INTERMAT
Paris

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

EXPERIENCIA
INNOVACIÓN
NETWORKING

www.intermatconstruction.com



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

an event by
comexposium
The Event

El módulo dinámico de la mezcla bituminosa: importancia, evaluación y estimación

El módulo dinámico es una de las propiedades más importantes de la mezcla bituminosa. En este artículo se resalta la importancia de esta variable en el diseño analítico y en la auscultación estructural de los firmes, y su utilidad como especificación fundamental en el diseño de mezclas bituminosas. Se analiza la dependencia conjunta de la temperatura y la frecuencia y se introduce la expresión sigmoideal de la curva maestra. Se presentan así mismo los resultados de la evaluación de los modelos predictivos de Witczak y de Hirsch para una serie de mezclas bituminosas típicamente empleadas en España en capas de base e intermedias. Finalmente, se propone un modelo empírico que permite estimar el módulo dinámico a partir del contenido de huecos de la mezcla bituminosa y de la viscosidad del betún a 20 °C.

Palabras clave: mezcla bituminosa; módulo dinámico; diseño mecánico-empírico; curva maestra.

The dynamic modulus is one of the most significant properties of bituminous mixes. This paper highlights the importance of this variable in analytical design and structural monitoring of pavements, and its utility as fundamental specification in the design of bituminous mixes. The joint planning of temperature and frequency is being analyzed and the sigmoidal function of the master curve is being introduced. At the same time, the results of the predictive models of Witczak and Hirsch are presented as to a series of bituminous mixes typically employed in Spain in base and sub-base courses. And finally, this paper proposes an empirical model which allows the estimation of the dynamic modulus based on the voids content of the bituminous mix and bitumen viscosity at 20°C.

Palabras clave: bituminous mix; dynamic modulus; mechanistic-empirical design; master curve.

Ángel Mateos Moreno, angel.mateos@cedex.es
Centro de Estudios del Transporte del CEDEX

Jorge B. Soares, jsoares@det.ufc.br
Universidade Federal do Ceará

1. Introducción

El módulo dinámico, $|E^*|$, es una de las propiedades más relevantes de la mezcla bituminosa, ya que determina su respuesta tenso-deformacional frente a acciones termo-mecánicas externas. Se define como la relación entre los picos de tensión y deformación bajo carga armónica (Fig. 1). Puede emplearse para predecir la respuesta estructural del pavimento frente a las cargas del tráfico, así como las tensiones desarrolladas bajo deformaciones impuestas por los agentes ambientales y los asientos de las capas subyacentes. La práctica totalidad de los métodos de diseño analítico de firmes se ba-

san en esta variable (1) (2), en particular los procedimientos mecánico-empíricos recursivo-incrementales de última generación como AASHTOWare Pavement ME Design (3), típicamente conocido como MEPDG, y CalME (4). En línea con esta relevancia, el módulo dinámico es una de las especificaciones de tipo fundamental contempladas por la UNE-EN

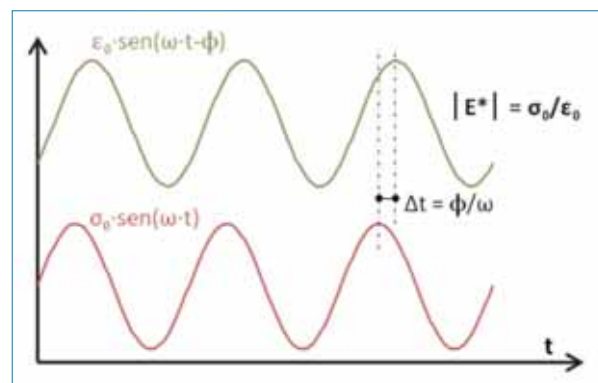


Fig. 1. Módulo dinámico de la mezcla bituminosa, $|E^*|$.

El módulo dinámico de la mezcla bituminosa: importancia, evaluación y estimación

13108-1 (5) para las mezclas del tipo hormigón bituminoso y además es uno de los ensayos candidatos para complementar al diseño volumétrico de Superpave (6).

Objetivo

El presente artículo tiene como fin resaltar la importancia del módulo dinámico de la mezcla bituminosa y dar unas directrices generales que faciliten su evaluación en laboratorio y su empleo en la práctica diaria del diseño de firmes.

2. Importancia del módulo dinámico de la mezcla bituminosa

2.1 Importancia del módulo dinámico en el marco del diseño analítico

El diseño analítico concibe al firme como una estructura multicapa sometida a las cargas del tráfico y a los agentes ambientales. Las tensiones y deformaciones calculadas bajo los ejes de los vehículos pesados se emplean para estimar la vida de servicio de cada material mediante la aplicación de un modelo de deterioro, tal como refleja el esquema de la Fig. 2, representativo de un firme flexible. El cálculo de la respuesta estructural se realiza típicamente mediante un modelo elástico lineal. Este modelo define la rigidez de las capas mediante el correspondiente módulo de Young, para el que se emplean los valores más representativos de cada material teniendo en cuenta el nivel tensional, la velocidad de aplicación de la carga y la tem-

peratura. Los valores más empleados para las mezclas bituminosas son los módulos dinámicos a una frecuencia representativa de la velocidad de circulación del tráfico pesado, típicamente del orden de 10 Hz. Es costumbre en España el empleo de módulos que van desde los 4000 MPa de las mezclas drenantes y discontinuas hasta los 11000 MPa de las mezclas de alto módulo, pasando por los 5000-7000 MPa de las mezclas tipo hormigón bituminoso gruesas, semidensas y densas (7). No es habitual considerar la influencia del tipo de betún en la rigidez (por ejemplo, 50/70 versus 35/50), probablemente debido a la falta de herramientas prácticas para ello.

La importancia del módulo dinámico en los procedimientos analíticos de última generación va aún más allá, ya que no sólo se emplea para predecir la respuesta del firme bajo las cargas del tráfico, sino que interviene directamente en los modelos de deterioro. Además, en mayor o menor medida, tanto MEPDG como CalME consideran al módulo dinámico como una variable que evoluciona durante la vida de servicio a consecuencia del envejecimiento del betún y de la fatiga y densificación de la mezcla bituminosa bajo las cargas del tráfico (8). Ambos procedimientos requieren la definición de la curva maestra del módulo dinámico de las mezclas empleadas en el pavimento, lo que permite determinar su rigidez para cualquier combinación de frecuencia y temperatura. Téngase en cuenta que la naturaleza incremental de estos procedimientos de diseño implica el cálculo de la respuesta estructural bajo condiciones cambiantes de temperatura (a lo largo del día y a lo largo del año) y para diferentes velocidades de circulación del tráfico pesado.

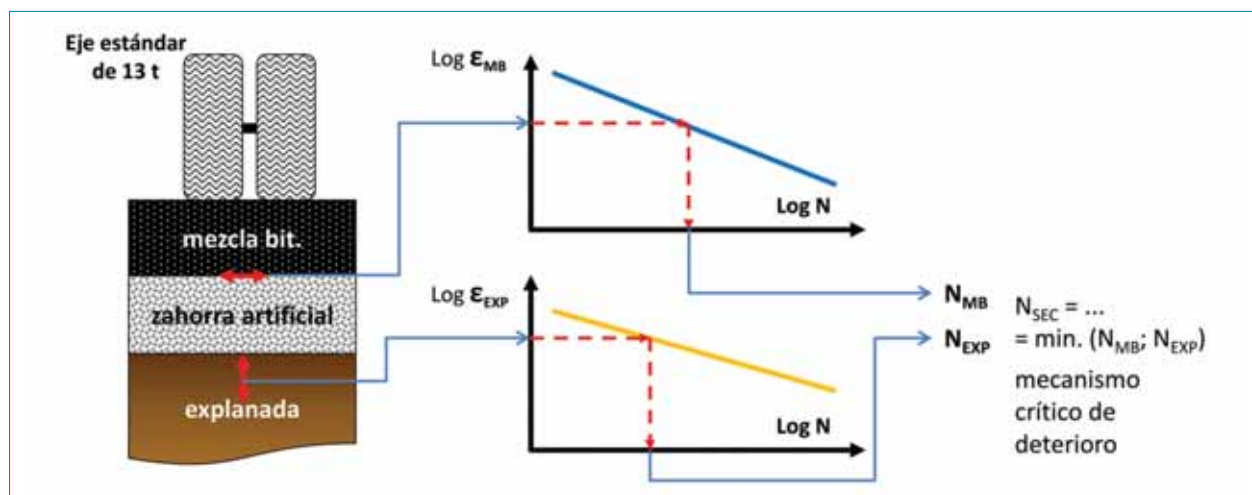


Fig. 2. Planteamiento del diseño analítico convencional de un firme flexible.

2.2 Importancia del módulo dinámico en el marco del diseño de mezclas bituminosas

El ensayo de módulo dinámico es uno de los recomendados a resultados del proyecto NCHRP 9-19 "Superpave Support and Performance Models Management" (9) para complementar al procedimiento Superpave de diseño de mezclas bituminosas. La mayor limitación de este procedimiento es, precisamente, la ausencia de un ensayo mecánico relacionado con el comportamiento de la mezcla en servicio, al estilo del ensayo de estabilidad y flujo Marshall. Otros ensayos recomendados en el marco del proyecto NCHRP 9-19 fueron el Flow Number y el Flow Time (10), en relación con las roderas, y el ensayo de rotura en tracción indirecta, en relación con la fatiga. El módulo dinámico fue recomendado en relación con ambos mecanismos de deterioro, si bien parece claro que es su correlación con las roderas que se desarrollan a alta temperatura lo que hace de este ensayo uno de los más relevantes en el diseño de las mezclas bituminosas. También parece claro que, a día de hoy, uno de los mayores obstáculos para su implementación práctica es la ausencia de unos valores de referencia exigibles, si disponibles para otros ensayos alternativos como los dos citados anteriormente, Flow Number y Flow Time, la rueda de Hamburgo o el Asphalt Pavement Analyzer (11). Uno de los hitos más relevantes en el empleo del módulo dinámico como especificación relacionada con el comportamiento (performance related specification), es el software E* SPT SpecificationCriteria Program (12). Este software emplea el modelo de roderas de MEPDG, en base al cual establece el módulo mínimo que ha de tener una mezcla bituminosa con el fin de limitar este mecanismo de deterioro a un valor predeterminado. El software tiene en cuenta las condiciones climáticas de la carretera, el tráfico previsto y el espesor de mezclas bituminosas del pavimento.

En el marco de la normativa europea, el ensayo de módulo dinámico es uno de los requisitos de tipo fundamental contemplados para los hormigones bituminosos. Sin embargo, la temperatura para la cual se establece su determinación en la UNE-EN 13108-20:2007 (13), 15 ó 20 °C, resulta demasiado baja como para reflejar la susceptibilidad a las roderas y, probablemente, demasiado alta como para reflejar la susceptibilidad a la fatiga. En este marco, su aplicación más oportuna parece en relación con la definición de un tipo específico de mezcla bituminosa, más que en relación con un mecanismo de deterioro en

particular. Es el caso del requisito de módulo resiliente (pariente cuasi-empírico del módulo dinámico) recogido por el art. 542 del PG-3 (14) para las mezclas de alto módulo.

2.3 Importancia del módulo dinámico en el marco de la auscultación de firmes

La deflexión de un firme bajo una carga predeterminada depende no sólo de la rigidez del pavimento bituminoso, sino también de la rigidez del resto de las capas del firme y la explanada. No obstante, la elevada rigidez de la mezcla bituminosa en comparación con los suelos y los materiales granulares, así como su ubicación superficial, hacen que la deflexión de los firmes se vea especialmente influenciada ésta, más que por cualquier otro material, quizá con la excepción de las capas tratadas con cemento. Así mismo, la mezcla bituminosa es el material del firme que más disminuye su rigidez como consecuencia del daño acumulado, quizá –nuevamente– con la excepción de las capas tratadas con cemento. Por ello, una correcta interpretación de la deflexión en las auscultaciones estructurales pasa por una estimación realista de las deflexiones del firme con un pavimento bituminoso sin fatigar. Se puede cuantificar el deterioro del pavimento a partir de la comparación de ambos valores de la deflexión (medida versus teórica sin fatiga) o, mejor aún, a partir de la comparación de la rigidez aparente del pavimento bituminoso con la que correspondería si las mezclas bituminosas no estuvieran fatigadas. La primera puede estimarse mediante las técnicas de cálculo inverso mientras que la segunda requiere conocer el módulo dinámico de las mezclas bituminosas para la frecuencia representativa de la carga aplicada por el deflectómetro. Se incluye a título de ejemplo la Fig. 3, que muestra

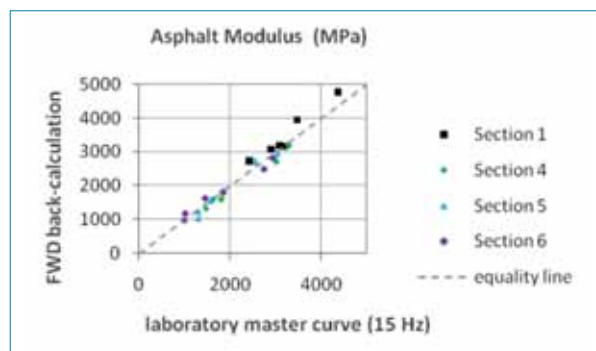


Fig. 3. Concordancia entre auscultación estructural y ensayos de laboratorio; figura tomada de (17).

El módulo dinámico de la mezcla bituminosa: importancia, evaluación y estimación

la concordancia existente entre ambos valores en pavimentos sin fatigar. De ahí la importancia del módulo dinámico de las mezclas bituminosas y el interés en poder estimarlo con cierta fiabilidad.

3. Manejo práctico del módulo dinámico

El módulo dinámico depende de la temperatura de la mezcla bituminosa y de la frecuencia de la carga aplicada. Esta doble dependencia haría engorroso su manejo si no fuera porque, en realidad, ambas variables tienen un efecto equivalente sobre la rigidez: un aumento de la frecuencia es equivalente a una disminución de la temperatura y viceversa. Esta equivalencia, recogida en el principio de superposición tiempo-temperatura, permite definir el módulo dinámico en términos de una única variable, la frecuencia reducida.

3.1 Principio de superposición del tiempo y la temperatura

La rigidez de las mezclas bituminosas disminuye al aumentar la temperatura y al disminuir la frecuencia de la carga aplicada. Este hecho es conocido desde hace décadas. También se conoce desde hace décadas la naturaleza reológica de este

material, que implica la existencia de una equivalencia entre ambas variables. En términos mecánicos, para la mezcla es indistinto aumentar (/reducir) la temperatura que comprimir (/extender) la escala temporal. Este hecho se muestra en el ejemplo de la Fig. 4, que refleja la deformación medida en una probeta de mezcla bituminosa bajo el mismo escalón de carga aplicado a distintas temperaturas. La deformación que experimenta la mezcla a 40°C (por ejemplo), es la misma que la que experimentaría a 20°C si comprimiésemos la escala de tiempo dividiéndola por aproximadamente 20. Del mismo modo, la que experimenta a 10°C es la que experimentaría a 20°C si expandiésemos la escala de tiempo multiplicándola por aproximadamente 10. El factor de escala temporal, a_T , es conocido como factor de correspondencia tiempo-temperatura, y es una función que depende únicamente de la temperatura y es característica de cada mezcla bituminosa. La variable tiempo pasa a denominarse “tiempo reducido” tras la aplicación del factor a_T : $t_{red} = t/a_T$. Esta variable puede interpretarse como el tiempo desde el punto de vista del reloj interno de la mezcla bituminosa. Para este material, el tiempo corre muy despacio a altas temperaturas y muy rápido a bajas temperaturas; por eso en el primer caso tiene más tiempo para deformarse que en el segundo, lo que para un observador externo –nosotros– se interpreta como una menor rigidez.

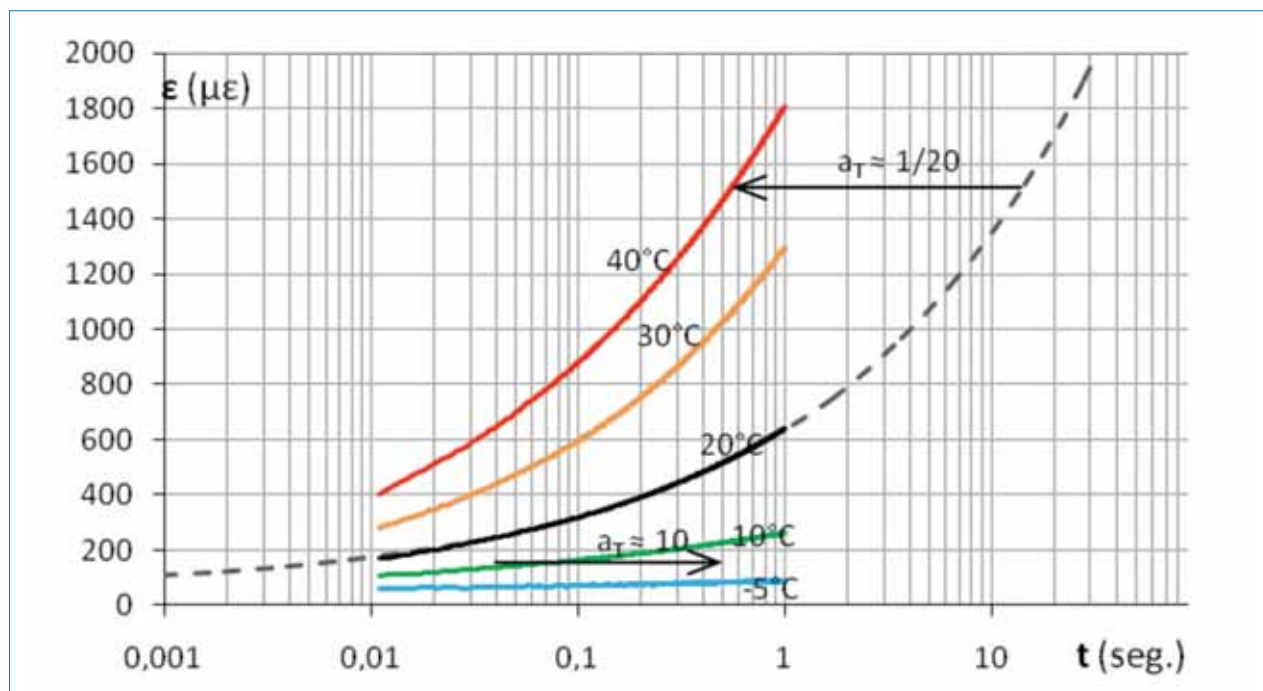


Fig. 4. Ensayo de fluencia a distintas temperaturas.

3.2 La curva maestra del módulo dinámico

El ejemplo de la Fig. 5 muestra el módulo dinámico medido en una probeta de mezcla bituminosa a diferentes temperaturas y frecuencias. Los datos reflejan la susceptibilidad de este material respecto a ambas variables, temperatura y frecuencia. El principio de correspondencia tiempo-temperatura también puede apreciarse en esta figura. Téngase en cuenta que una extensión o una compresión de la escala temporal implica un desplazamiento en la escala logarítmica, y por eso los conjuntos de módulos medidos a las diferentes temperaturas pueden desplazarse horizontalmente hasta converger en una única curva, la curva maestra del módulo dinámico. Ésta es, en definitiva, el módulo dinámico de la mezcla bituminosa a una temperatura de referencia que, normalmente, es de 20°C. Se han propuesto diferentes expresiones para la misma, si bien la más ampliamente aceptada es la expresión sigmoïdal reflejada en la ecuación [1]. Nótese que la frecuencia reducida es, simplemente, el resultado de aplicar el principio de correspondencia tiempo-temperatura a la frecuencia real: $f_{red} = f \cdot a_T$.

$$\log(|E^*|) = \delta + \frac{\alpha}{1 + e^{\beta + \gamma \cdot \log(f_{red})}} \quad [1]$$

siendo,

f_{red} : frecuencia reducida $\log(f_{red}) = \log(f) + \log(a_T)$

f : frecuencia (Hz)

a_T : factor de correspondencia tiempo-temperatura; 20°C es la temperatura de referencia, T_{ref} , para la cual $a_T = 1$

δ α β γ : parámetros del modelo

Nota: log se refiere a logaritmo decimal

Cada uno de los parámetros de la curva maestra tiene un significado físico (Fig. 6). δ representa el módulo mínimo de la mezcla bituminosa (10^δ), esto es, la asíntota inferior de la curva. $\delta + \alpha$ representa el módulo máximo ($10^{\delta + \alpha}$), la asíntota superior. β , conocido como parámetro de localización, determina la posición horizontal del punto de inflexión de la curva sigmoïdal. Finalmente, γ representa la pendiente máxima de la curva, que tiene lugar en el punto de inflexión. Respecto al factor a_T , se han propuesto dife-

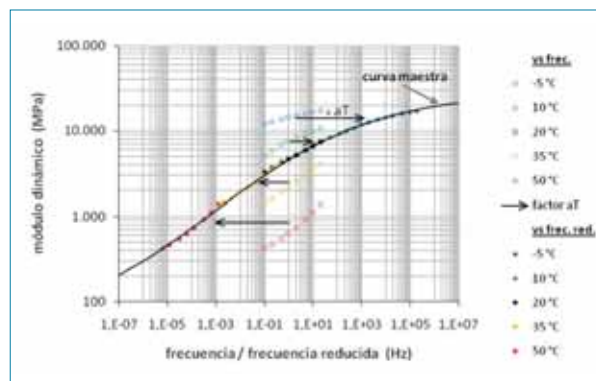


Fig. 5. Determinación de la curva maestra del módulo dinámico.

rentes expresiones, algunas basadas en las fórmulas de Arrhenius y Williams-Landel-Ferry. No obstante, en la práctica se obtienen los mismos resultados empleando una sencilla expresión log-lineal, $\log(a_T) = k \cdot (T - T_{ref})$, que depende de un único parámetro, k . Este parámetro se obtiene, junto con los cuatro de la curva maestra, mediante un proceso iterativo cuyo fin es la minimización del error de ajuste (véase Fig. 5). La herramienta Solver de Excel resulta idónea para ello. Este procedimiento resulta mucho más sencillo que el recogido en la norma UNE-EN 12697-26:2012 (15), anexo G. Además, la formulación de la curva maestra en el dominio de la frecuencia presenta dos grandes ventajas frente a la formulación en el dominio de la temperatura que emplea la norma EN: la primera es la bondad del ajuste alcanzado sistemáticamente con la función sigmoïdal y la segunda es el claro significado físico de los parámetros de dicha función. Exactitud y simplicidad, en definitiva, es lo que persigue la formulación sigmoïdal en términos de la frecuencia reducida.

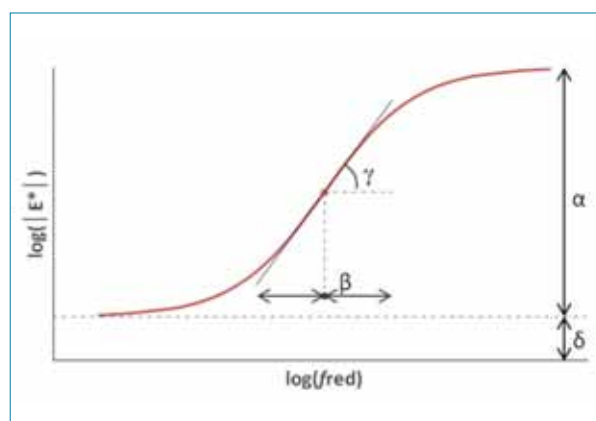


Fig. 6. Curva maestra del módulo dinámico.

El módulo dinámico de la mezcla bituminosa: importancia, evaluación y estimación

4. Medida del módulo dinámico en laboratorio

Existen dos normas de referencia para determinar el módulo dinámico de la mezcla bituminosa en el laboratorio: la EN 12697-26 y la AASHTO T342 (16). Esta última aplica una carga senoidal en compresión sobre una probeta cilíndrica, mientras que la norma europea contempla otras alternativas: flexión sobre diferentes tipos de probetas así como tracción-compresión sobre especímenes cilíndricos. El denominador común a todas las alternativas es la carga cíclica armónica. Es muy importante mantener el nivel de deformaciones lo más bajo posible en este ensayo, a ser posible no superar $\pm 35 \mu\epsilon$. La EN recomienda no superar $50 \mu\epsilon$, mientras que la AASHTO recomienda aplicar entre 50 y $150 \mu\epsilon$. De lo contrario, podríamos entrar en el rango de comportamiento no-lineal del material, donde el concepto de módulo dinámico no es aplicable, dañando al mismo tiempo la probeta por fatiga. Respecto al tipo de carga, parece claro que la opción de la norma europea sobre probetas cilíndricas, tracción-compresión, causa menos deterioro al material ya que las deformaciones no se van acumulando durante el ensayo, cosa que sí ocurre cuando la carga es de compresión. Otra diferencia importante entre ambas normas reside en el requisito de la norma AASHTO de esperar de 2 a 30 minutos entre el ensayo de dos frecuencias consecutivas. Ambas normas establecen rangos de frecuencias de ensayo de 0.1 a 25/50 Hz. En la práctica, conviene aplicar una serie de razón aproximada 2, empezando por 0.1 Hz y alcanzando el máximo posible compatible con la potencia de la máquina de ensayo; por ejemplo: 0.1 / 0.2 / 0.5 / 1 / 2 / 5 / 10 / 20 Hz. Respecto al rango de temperaturas, la norma AASHTO establece $[-10; 54 \text{ }^{\circ}\text{C}]$ y la norma EN $[-15; 30 \text{ }^{\circ}\text{C}]$, con el fin de determinar la curva maestra, en ambos casos a intervalos de unos $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Dicho intervalo parece razonable, ya que es conveniente que las series de módulos obtenidas a dos temperaturas consecutivas se solapen ligeramente al conformar la curva maestra (véase Fig. 5). Respecto al límite superior de $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ establecido por la norma EN, es debido a los problemas de fluencia y no linealidad que tienen lugar al superar la mezcla bituminosa dicha temperatura. Es claro que el módulo dinámico será una propiedad intrínseca del material sólo a temperaturas intermedias y bajas; a altas temperaturas, la relación entre los picos de tensión y deformación deja de ser una constante para pasar a depender del nivel tensional. No obstante, los traba-

jos desarrollados en la Pista de Ensayo de Firmes a Escala Real del CEDEX han mostrado una excelente concordancia entre la respuesta estructural medida en los firmes y la predicha empleando el módulo dinámico de la mezcla bituminosa incluso a temperaturas por encima de $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Dicha concordancia se manifestaba en términos de deflexión bajo la carga del deflectómetro de impacto (17) y en términos de respuesta estructural medida con sensores bajo el paso de los vehículos simuladores del tráfico (18).

La norma EN 12697-26, en su anexo F, contempla la posibilidad de determinar el módulo dinámico a partir del ensayo de tracción indirecta. Es preciso resaltar que la fórmula empleada en este ensayo, $|E^*| = F \cdot (u + 0.27) / (z \cdot b)$, implica tener que asumir el coeficiente de Poisson, ν . Esto podría parecer relativamente simple, de hecho la propia norma recomienda un valor de 0.35 en caso de no medirlo, pero en realidad es mucho más complejo. Como mínimo, ν dependerá de la temperatura y de la frecuencia. Además, resulta casi inevitable dañar por fatiga al espécimen en este ensayo, lo que se puede traducir en coeficientes de Poisson incluso por encima de 0.5. La dilatación que experimentan los materiales con fuerte esqueleto mineral, como las mezclas bituminosas, al ser sometidos a niveles tensionales relativamente altos implica del mismo modo coeficientes de Poisson mucho más elevados de lo que cabría esperar de un material elástico. De esta forma, al asumir $\nu = 0.30 - 0.35$, tal como se hace habitualmente, se tiende a infraestimar el módulo del material.

5. Estimación del módulo dinámico

No es habitual disponer de la curva maestra de las mezclas empleadas en un pavimento, ya que se trata de un ensayo relativamente costoso. Por otro lado, en el campo del diseño analítico de firmes se requiere el empleo del módulo dinámico antes de la construcción del propio pavimento o refuerzo. Por ello, diferentes autores han propuesto modelos que permiten estimar esta propiedad de las mezclas bituminosas a partir de su composición y de las propiedades mecánicas de sus constituyentes, esqueleto mineral y betún.

5.1 Modelos de estimación del módulo dinámico

Probablemente el modelo más empleado a día de hoy sea el conocido como "ecuación predictiva del módulo dinámico de

Witczak", desarrollado en el marco de la guía MEPDG (19). Este modelo empírico se basa en la expresión sigmoïdal de la ecuación [1], expresión que de hecho fue popularizada por Witczak. El modelo propone las expresiones para los parámetros de la curva sigmoïdal recogidas en las ecuaciones [2].

$$\begin{aligned} \delta &= 3.750063 + 0.02932 \cdot \rho_{200} - 0.001767 \cdot (\rho_{200})^2 - 0.003841 \cdot \rho_a - 0.038097 \cdot VA - 0.002708 \cdot VFA \\ \alpha &= 3.871977 - 0.0021 \cdot \rho_a + 0.007938 \cdot \rho_{200} - 0.000017 \cdot (\rho_{200})^2 + 0.00547 \cdot \rho_{200} \\ \beta &= -0.601115 - 0.391532 \cdot \log(\eta_{ref}) \\ \gamma &= -0.11333 \\ \log(E^*) &= 1.253882 \cdot (\log(\delta) - \log(\eta_{ref})) \end{aligned} \quad [2]$$

siendo,

ρ_{200} : porcentaje de árido que pasa por el tamiz No. 200 (#0.075 mm)

ρ_4 : porcentaje de árido retenido por el tamiz No. 4 (#4.75 mm)

ρ_{38} : porcentaje de árido retenido por el tamiz 3/8" (#9.5 mm)

ρ_{34} : porcentaje de árido retenido por el tamiz 3/4" (#19 mm)

η : viscosidad del betún (10^6 Poises)

η_{ref} : viscosidad del betún (10^6 P) a la temperatura de referencia (20 °C)

VA: porcentaje de huecos de la mezcla

VFA: porcentaje de huecos rellenos de betún

Nota: los parámetros δ α β γ se emplean en la ecuación [1] para obtener $|E^*|$ en psi

El modelo clásico de Witczak está basado en la viscosidad del betún, una de las principales propiedades determinadas en la caracterización clásica de estos materiales. Sin embargo, a raíz de la adopción de la metodología SHARP en los Estados Unidos, basada en ensayos de tipo fundamental como el del reómetro de corte dinámico, la disponibilidad de datos de viscosidad en dicho país es mucho más limitada. Por otro lado, a las temperaturas de servicio parece más razonable emplear en la fórmula predictiva el módulo dinámico del betún, G^* , en lugar de su viscosidad: el primero es una propiedad fundamental del material, mientras que la segunda es sólo un indicador de su rigidez. Por ello, Witczak y sus colaboradores desarrollaron –en el marco del proyecto NCHRP 1-40D– una nueva fórmula predictiva basada en el parámetro

G^* (20). El modelo se basa nuevamente en la expresión sigmoïdal de la ecuación [1], para cuyos parámetros proponen las expresiones recogidas en las ecuaciones [3].

$$\begin{aligned} \delta &= -0.349 + 0.734 \cdot (G^*)^{-0.0002} \cdot \left[6.65 - 0.032 \cdot \rho_{200} + 0.0027 \cdot (\rho_{200})^2 + 0.011 \cdot \rho_a - 0.0001 \cdot (\rho_a)^2 \right. \\ &\quad \left. + 0.006 \cdot \rho_{38} - 0.00014 \cdot (\rho_{38})^2 - 0.08 \cdot VA - 1.06 \cdot VFA \right] \\ \alpha &= 2.36 + 0.03 \cdot VA + 0.71 \cdot VFA + 0.012 \cdot \rho_{200} - 0.0001 \cdot (\rho_{200})^2 - 0.01 \cdot \rho_a \\ \beta &= -0.7814 + 0.8834 \cdot \log(\delta) \\ \gamma &= -0.3785 \end{aligned} \quad [3]$$

siendo,

δ : ángulo de fase del betún, en grados sexagesimales
el resto de parámetros tiene el mismo significado que en las ecuaciones [2]

Nota: los parámetros δ α β γ se emplean en la ecuación [1] para obtener $|E^*|$ en psi, si bien la frecuencia reducida se sustituye por G^* en psi; por algún motivo, la frecuencia que ha de emplearse en este modelo para estimar G^* es $2 \cdot \pi$ veces inferior a la frecuencia para la cual se estima el módulo de la mezcla bituminosa

Un tercer modelo ampliamente aceptado es el de Hirsch (21). Se trata de una adaptación del modelo original del mismo nombre, que fue desarrollado en los años sesenta. Al igual que el modelo original de Hirsch, se basa en la conocida como "ley de las mezclas". De acuerdo con esta ley, las características de un material compuesto pueden deducirse a partir de las características de sus materiales constituyentes, teniendo en cuenta las proporciones relativas de los mismos. Su expresión es la reflejada en la ecuación [4].

$$|E^*| = P \cdot [E_a \cdot (1 - VMA) + 3 \cdot G^* \cdot VFA \cdot VMA] + (1 - P) \cdot \left[\frac{1 - VMA}{E_a} + \frac{VMA}{VFA \cdot 3 \cdot G^*} \right]^{-1} \quad [4]$$

siendo,

G^* : módulo de rigidez transversal del betún para la frecuencia y temperatura consideradas

E_a : módulo del esqueleto mineral ($4.2 \cdot 10^6$ psi $\approx$ 29.000 MPa)

VMA: huecos en el esqueleto mineral, expresados como ratio

VFA: huecos rellenos de betún, expresados como ratio

El módulo dinámico de la mezcla bituminosa: importancia, evaluación y estimación

Pc: factor de contacto del esqueleto mineral, obtenido mediante la siguiente ecuación (G^* en psi)

$$P_c = \frac{\left(20 + \frac{VFA \cdot 3 \cdot G^*}{VMA}\right)^{0.58}}{650 + \left(\frac{VFA \cdot 3 \cdot G^*}{VMA}\right)^{0.58}}$$

Nota: salvo por la expresión Pc, se trata de una ecuación adimensional

5.2 Modelo de estimación del módulo dinámico calibrado a partir de mezclas españolas

Todo modelo empírico –como los de Witczak– o semi-empírico –como el de Hirsch– requiere una evaluación previa antes de ser aplicado a unas condiciones distintas de aquéllas empleadas en su calibración. Dicha evaluación fue llevada a cabo para las mezclas bituminosas típicamente utilizadas en España en capas de base e intermedias (22). Esta evaluación mostró que el modelo de Witczak basado en G^* sobrestimaba el módulo dinámico en un 95% de media. Por el contrario, el error cuadrático medio de los modelos de Hirsch y de Witczak basado en η fue, respectivamente, del 20.6% y del 21.1%. Estos valores no son muy superiores a los obtenidos por los autores de los modelos en el propio proceso de calibración. No obstante, se observaba un patrón claro en dichos errores, de forma que ambos modelos infraestimaban el módulo dinámico para bajas frecuencias reducidas (altas temperaturas) mientras que el de Witczak, además, lo sobrestimaba a altas frecuencias reducidas (bajas temperaturas). Así mismo, se observaba una reducida sensibilidad respecto a la composición volumétrica de la mezcla bituminosa, aspecto ya mostrado por otras investigaciones (23). Otra limitación importante de ambos modelos es que requieren una información reológica del betún de la que habitualmente no se dispone en España: la viscosidad y el módulo de rigidez transversal, G^* , ambos en función de la temperatura. Por todo ello, Mateos y Soares (22) desarrollaron un nuevo modelo empírico, cuya expresión es la recogida en las ecuaciones [5]. Este modelo requiere una información mínima de la reología del betún. La calibración se realizó a partir de una base de datos que contenía los módulos dinámicos, medidos en compresión, de un amplio abanico de hormigones bituminosos típicamente empleados en España en capas de base e

intermedias. El modelo presentó un R^2 del 98.7% en la escala logarítmica (96.0% en la escala aritmética) y un error cuadrático medio del 12.5% en la escala aritmética.

$$\delta = 1.572$$

$$\alpha = 2.894$$

$$\beta = 1.609 + 9.316 \cdot VA - 0.3352 \cdot \log(\eta_{ref})$$

$$\gamma = -0.2094 + 0.09201 \cdot \beta$$

$$\log(a_T) = -0.1304 \cdot (T - 20)$$

[5]

siendo,

δ α β γ : parámetros de la curva maestra, ecuación [1]; resulta $|E^*|$ en MPa

VA: huecos de la mezcla, expresados como ratio

η_{ref} : viscosidad del betún en centipoises (cP) a 20 °C; en caso de no disponer de este dato, puede estimarse a partir de la penetración, P (mm/10), a 25 °C, mediante la ecuación empírica:

$$\log(\eta_{ref}) = 12.91 - 2.412 \cdot \log(P)$$

[6]

T: temperatura (°C)

Nota: log se refiere a logaritmo decimal

Ejemplo de aplicación

Supongamos una mezcla semidensa genérica con betún 50/70. Ha de asumirse un contenido de huecos, por ejemplo del 5%, y una penetración del betún. Es preciso resaltar que la penetración del betún ha de ser la que corresponde a la mezcla bituminosa cuya rigidez se está estimando, no la del betún original. Si se trata de estimar la rigidez de la mezcla tras la construcción, se puede adoptar la penetración del betún tras el ensayo de envejecimiento rolling. Supongamos que sea éste el caso que nos ocupa. Si se asume una penetración inicial de 60 y una pérdida por envejecimiento durante la fabricación de la mezcla del 35% (la máxima pérdida que el art. 211 del PG-3 (24) permite para un betún 50/70 es del 47%), resulta una penetración de 39 mm/10. Aplicando la ecuación [6] resulta $\log(\eta_{ref}) = 9.072$. Si se tratase de estimar la rigidez de la mezcla envejecida, tras una serie de años en servicio, ha-

bríamos de suponer una pérdida adicional de penetración respecto a 39 mm/10. Continuando con el ejemplo que nos ocupa, podemos calcular los parámetros β y γ de la curva maestra: $\beta = 1.609 + 9.316 \cdot 0.05 - 0.3352 \cdot 9.072 = -0.9661$; $\gamma = -0.2094 + 0.09201 \cdot (-0.9661) = -0.2983$. Una vez conocidos los cuatro parámetros de la curva maestra, podemos obtener el módulo dinámico para cualquier combinación de frecuencia y temperatura. Por ejemplo, para 15 °C y 8 Hz.

$$\log(a_T) = -0.1304 \cdot (15 - 20) = +0.6520$$

$$\log(f_{red}) = \log(8) + 0.6520 = 1.555$$

$$\log(|E^*|) = 1.572 + \frac{2.894}{1 + e^{-2.894(1 - 0.2983/1.111)}} = 3.907$$

$$|E^*| = 8075 \text{ MPa}$$

Corrección por huecos en el esqueleto mineral (VMA)

El esqueleto mineral de la mezcla bituminosa influye en el módulo dinámico, si bien los esfuerzos experimentales para relacionar las propiedades de dicho esqueleto (en particular su granulometría) con los parámetros de la curva maestra no han arrojado resultados concluyentes hasta la fecha. La única propiedad sobre la que existe unanimidad respecto a la forma en que influye sobre el módulo dinámico es el contenido de huecos en el esqueleto mineral (VMA): un mayor contenido de huecos resulta en un menor módulo y viceversa (21) (25). Para tener en cuenta esta variable en el marco de la fórmula predictiva de la ecuación [5], se propone emplear: $\alpha = 3.168 - 2.158 \cdot \text{VMA}$. Por ejemplo: si suponemos que el esqueleto mineral tiene un 13.5% de huecos, resulta $\alpha = 3.168 - 2.158 \cdot 0.135 = 2.877$. Manteniendo los parámetros δ , β y γ anteriores y aplicando de nuevo la ecuación [1], resulta un módulo de 7824 MPa. Como valores de referencia para VMA, pueden adoptarse los recomendados por Advanced Asphalt Technologies (11), que son reflejados en la Tabla 1. Los valores mínimos de esta tabla coinciden con los indicados por Superpave (AASHTO M323-13).

Corrección por susceptibilidad térmica del betún (VTS)

La base de datos empleada para la calibración de la ecuación [5] incluye betunes de los tipos 15/25, 50/70 y PMB

Tabla 1. Valores de referencia para VMA en mezclas tipo hormigón bituminoso.

Tamaño máximo nominal (mm)	Mínimo VMA	Máximo VMA
4.75	16%	18%
9.5	15%	17%
12.5	14%	16%
19	13%	15%
25	12%	14%
37.5	11%	13%

45/80-65 (antiguo BM-3c). Sin embargo, el rango de variación de la susceptibilidad térmica de dichos betunes fue relativamente estrecho, estando el parámetro VTS entre -2.85 y -2.75. VTS "viscosity temperature susceptibility" es la pendiente de la conocida relación lineal que existe entre el doble logaritmo de la viscosidad (cP) y el logaritmo de la temperatura en grados Rankine ($TR = 491.67 + 9/5 \cdot T(^{\circ}C)$). Con el fin de ampliar el campo de aplicación de la ecuación [5], se propone añadir el término "-0.1536 \cdot (VTSI - 2.824)" a la fórmula de γ . En caso de no disponer de datos de viscosidad a diferentes temperaturas, VTS puede estimarse a partir de la viscosidad a 20 °C (ecuación [6]) y asumiendo que la viscosidad para la temperatura de reblandecimiento (anillo y bola) del betún es de 13.000 Poises (26). Así por ejemplo, si la temperatura anillo y bola del betún del 50/70 anterior fuese de 50 °C y experimentase un incremento de 8 °C durante el proceso constructivo (el art. 211 del PG-3 limita este incremento a un máximo de 10 °C), obtendríamos $VTS = [\log(\log(13 \cdot 105)) - \log(9.072)] / [\log(491.67 + 9/5 \cdot 58) - \log(491.67 + 9/5 \cdot 20)] = -3.238$. Al calcular VTS se ha tenido en cuenta que a 20 °C, $\log(\eta) = 9.072$, y a 58 °C, $\eta = 13 \cdot 105$ cP. El nuevo parámetro γ valdría: $-0.2983 - 0.1536 \cdot (3.238 - 2.824) = -0.3619$. Ahora, el módulo dinámico, para 15 °C y 8 Hz, resulta 8638 MPa.

Es preciso indicar que ambas correcciones, en función de VMA y VTS, han sido establecidas ampliando la base de datos del módulo dinámico con mezclas y ensayos realizados en otros países. En particular, la corrección por huecos en el esqueleto mineral empleó ensayos realizados por Shen y Yu (25) en el estado de Washington, mientras que la corrección por susceptibilidad térmica empleó módulos dinámicos medidos en la Universidad Federal de Ceará (27). Es evidente

El módulo dinámico de la mezcla bituminosa: importancia, evaluación y estimación

que la robustez de ambas correcciones para las mezclas españolas será inferior a la de la ecuación [5].

6. Conclusiones

El módulo dinámico es una de las propiedades más importantes de las mezclas bituminosas, ya que determina la respuesta tenso-deformacional de este material bajo las cargas del tráfico, los agentes ambientales y los asentamientos de las capas subyacentes. Constituye una variable necesaria en el diseño analítico de firmes, y una referencia de gran utilidad en el diseño de mezclas bituminosas y en la auscultación estructural de pavimentos.

La rigidez de las mezclas bituminosas depende de la temperatura y de la frecuencia, si bien ambas variables tienen un efecto equivalente. De esta forma, el módulo dinámico puede expresarse en función de una única variable, la frecuencia reducida, que engloba los efectos de temperatura y frecuencia. La expresión de esta dependencia se conoce como curva maestra del módulo dinámico, para la cual se emplea con frecuencia una función de tipo sigmoideal definida por cuatro parámetros.

El módulo dinámico puede medirse en laboratorio. Los ensayos más habituales son en compresión, de acuerdo con la norma AASHTO T 342, o en tracción-compresión, de acuerdo con la norma EN12697-26, ambos realizados sobre especímenes cilíndricos. No obstante, no es habitual disponer de la curva maestra medida en laboratorio, de forma que se han propuesto diferentes expresiones empíricas o semi-empíricas que permiten predecirla en función de las propiedades y proporciones de los materiales constituyentes de la mezcla bituminosa. Tres de los modelos predictivos más ampliamente aceptados son los de Witczak y el de Hirsch. El modelo de Witczak basado en el módulo de rigidez transversal del betún sobreestimó en un 95% el módulo dinámico de una serie de mezclas bituminosas típicamente empleadas en capas intermedias y de base en España. Por el contrario, el modelo de Hirsch y el de Witczak basado en viscosidad resultaron en predicciones razonables, con errores cuadráticos medios del orden del 20%. No obstante, ambos modelos mostraron patrones de error de tipo sistemático.

En este artículo se propone un modelo empírico que permite estimar el módulo dinámico de la mezcla bituminosa a partir del contenido de huecos y de la viscosidad del betún a 20 °C.

El modelo presentó un error cuadrático medio del 12.5%, y es aplicable a los hormigones bituminosos típicamente empleados en España en las capas intermedia y de base. Se incluyen así mismo correcciones para tener en cuenta el contenido de huecos en árido y la susceptibilidad térmica del betún.

Agradecimientos

Los estudios reflejados en este artículo conllevan una importante labor experimental de laboratorio. Los autores desean expresar su agradecimiento a los trabajadores que lo hicieron posible.

Referencias

- (1) Instrucción para el diseño de firmes de la red de carreteras de Andalucía (2007). Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- (2) Norma de secciones de firme de la Comunidad Valenciana (2009). Conselleria d'Infraestructures i Transport.
- (3) Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice (2008). American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington, D.C.
- (4) CalME Version 1.0 (2010). California Department of Transportation, Sacramento.
- (5) UNE-EN 13108-1:2007. Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso.
- (6) Bonaquist, R. (2011). NCHRP Report 702: Precision of the Dynamic Modulus and Flow Number Tests Conducted with the Asphalt Mixture Performance Tester. Transportation Research Board.
- (7) Dimensionamiento analítico de firmes. Curso práctico (2010). CEDEX e Intevia. 5ª Edición.
- (8) Mateos, A., Ayuso, J. P., & Jáuregui, B. C. (2012). Evolution of Asphalt Mixture Stiffness Under Combined Effects of Damage, Aging, and Densification Under Traffic. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2304(1), 185-194.
- (9) Witczak, M.W., Kaloush, K.E., Pellinen, T., El-Basyouny, M., and Von Quintus, H. (2002). NCHRP Report 465: Simple Performance Test for Superpave Mix Design. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- (10) Witczak, M. (2005). NCHRP Report 547: Simple Performance Tests: Summary of Recommended Methods and

Database. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.

- (11) Advanced Asphalt Technologies, LLC (2012). NCHRP Report, 673: A manual for the design of hot mix asphalt with commentary. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- (12) Witczak, M. (2005). NCHRP Report 580: Specification Criteria for Simple Performance Tests for Rutting. Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- (13) UNE-EN 13108-20:2007. Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 20: Ensayos de tipo.
- (14) art. 542 PG-3. Mezclas bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso.
- (15) UNE-EN 12697-26:2012. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 26: Rigidez.
- (16) AASHTO T 342-11. Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures.
- (17) Mateos, A., Ayuso, J. P., Jáuregui, B. C., & Fernández, P. J. O. M. (2012). Lessons learned from the application of CalME asphalt fatigue model to experimental data from CEDEX test track. *Advances in Pavement Design through Full-scale Accelerated Pavement Testing*, 483.
- (18) Mateos, A., Ayuso, J. P., & Jáuregui, B. C. (2013). Evaluation of Structural Response of Cracked Pavements at CEDEX Transport Research Center Test Track. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2367(1), 84-94.
- (19) Andrei, D., Witczak, M. W., & Mirza, M. W. (1999). Development of a revised predictive model for the dynamic (complex) modulus of asphalt mixtures. Development of

the 2002 Guide for the Design of New and Rehabilitated Pavement Structures, NCHRP.

- (20) Bari, J., & Witczak, M. W. (2006). Development of a New Revised Version of the Witczak E* Predictive Model for Hot Mix Asphalt Mixtures (With Discussion). *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 75.
- (21) Christensen Jr, D. W., Pellinen, T., & Bonaquist, R. F. (2003). Hirsch model for estimating the modulus of asphalt concrete. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 72.
- (22) Mateos Moreno, A., & Soares, J. B. (2015). Validation of a dynamic modulus predictive equation on the basis of Spanish asphalt concrete mixtures. *Materiales de Construcción*, Vol. 65, Issue 317.
- (23) Schwartz, C. W. (2005). Evaluation of the Witczak dynamic modulus prediction model. *Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC (No. 05-2112).
- (24) art. 211 PG-3. Betunes asfálticos.
- (25) Shen, S., & Yu, H. (2011). An investigation of dynamic modulus and flow number properties of asphalt mixtures in Washington state. *United States Department of Transportation*, Washington, D.C.
- (26) Mirza, M. W., & Witczak, M. W. (1995). Development of a Global Aging System for Short and Long Term Aging of Asphalt Cements. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 64.
- (27) Onofre, F. C. (2012). Avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas produzidas com ligantes asfálticos modificados por ácido polifosfórico e aditivos poliméricos, enfatizando a resistência à deformação permanente. M.Sc. Thesis. Universidade Federal do Ceará.

#14

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

**“Las mezclas bituminosas han permitido construir y conservar carreteras durante décadas de forma cada vez más eficiente”
(Alberto Bardesi; carta de presentación de Eurobitume)**

#HECHOS_ECONÓMICOS



Abrimos paso a nuevas ideas

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



Comportamiento al fuego de mezclas bituminosas a escala real: Proyecto Pavirex

La longitud de los túneles construidos en Europa, para su uso en transporte, supera los 15.000 km. Si tenemos en cuenta este dato, resulta obvio que es preciso dedicar grandes esfuerzos para mejorar la seguridad de los usuarios. Uno de los riesgos reales es el inicio de un escenario de fuego, con las consecuencias tanto de vidas humanas derivadas de un posible descontrol del mismo como económicas. La adecuada construcción del pavimento puede contribuir a minimizar las consecuencias del desastre, tanto en cuanto a la respuesta frente al fuego como en la toxicidad de los humos generados. La respuesta del pavimento frente al fuego está ligado a una circunstancia excepcional, que puede alcanzar dimensiones de catástrofe, por lo que cualquier mejora puede traducirse en la salvación de vidas humanas. En la presente comunicación se presentan los resultados obtenidos en el estudio del comportamiento al fuego de las mezclas asfálticas realizado dentro del proyecto PAVIREX, subvencionado por el Ministerio de Economía y Competitividad en su convocatoria Innpackto 2011. Se aborda el análisis del comportamiento frente al fuego de mezclas bituminosas convencionales y mejoradas a diferentes niveles: a escala de laboratorio, mediante el uso del cono calorimétrico, normalizado según la norma ISO 5660¹ y mediante un ensayo de propagación diseñado específicamente para el estudio. Con los materiales que mejores resultados han dado en esta primera fase se ha realizado una prueba a escala real con diferentes cargas de fuego en el Túnel experimental de San Pedro de Anes (Siero- Asturias). La conclusión más importante radica en la constatación de que no existe, en ninguno de los casos estudiados, una propagación del incendio a través de la mezcla bituminosa. Se detecta únicamente una degradación superficial de la mezcla en aquellas zonas en las que, debido a una fuente externa de calor (>400°C), llega a arder.

Palabras clave: comportamiento al fuego, mezclas bituminosas, Pavirex, retardantes a la llama, Túnel experimental de San Pedro de Anes.

Most roads and tunnels in Europe use asphalt mixtures as upper layer due to their excellent properties, but the fire performance of these materials has been always a subject of discussion. In this paper the study of the fire performance of different asphalt mixes (conventional and modified with different additives) is reported. The study was carried out at laboratory and full scale. Asphalt mixtures were evaluated at laboratory level using two different tests: The cone calorimeter test, as described in the ISO 5660, and a new test developed to study fire propagation in asphalt mixtures slabs. Then, the best rated modified mixture and the conventional one were tested at full scale using different fire loads in the San Pedro de Anes test tunnel (Asturias, Spain). The main conclusion obtained from the different tests carried out during this four years project is that there is no fire propagation over asphalt mixtures, but a surface degradation in those zones were, due to an external heat source (> 400 °C), asphalt burns. Results showed in this paper have been obtained in the development of the PAVIREX project, granted by the Spanish "Ministerio de Economía y Competitividad", call "Innpacto 2011".

Keywords: fire performance, asphalt mixtures, Pavirex project, flame retardant, San Pedro de Anes test tunnel.

Marisol Barral, mbarral@campezo.com
Ramón Romera,
Campezo Obras y Servicios, S. A.

Fernando Garrido, fernando.garrido@tunneltest.com)
TST

Celestino González, Inmaculada Álvarez,
celes@gjt.uniovi.es
Universidad de Oviedo

M^a Eugenia Muñoz, mariaeugenia.munoz@ehu.es
Antxon Santamaría,
Zita Palmillas,
POLYMAT, UPV/EHU

Ignacio Pérez, ignacio.perez@cepsa.com
CEPSA-PROAS

Sara Villanueva, sara.villanueva@tecnalia.com
TECNALIA

Comportamiento al fuego de mezclas bituminosas a escala real: Proyecto Pavirex

1. Introducción

La negativa repercusión que los accidentes tienen en la vida social constituye una grave preocupación, por sus consecuencias humanas, sociales y económicas. En el caso concreto de los túneles, cuando se trata de mejorar la seguridad en su interior se incide, prioritariamente, en aspectos tales como la ventilación, iluminación, sistemas de comunicación o sistemas de evacuación, sin duda aspectos de gran importancia. Sin embargo, uno de los aspectos a los que no se ha dado la suficiente importancia hasta hace algunos años es, a la utilización de pavimentos que mejoren la seguridad en su interior, en caso de escenarios de fuego desencadenados como consecuencia de accidentes producidos en el interior del túnel ^{2, 3, 4}.

La adecuada construcción del pavimento, puede contribuir a minimizar las consecuencias del desastre, como por ejemplo en la posible propagación del fuego o en la toxicidad de los humos. Esta misma preocupación se puede trasladar a otras infraestructuras de similares características a los túneles, como por ejemplo naves industriales con elevada carga de fuego teórica o la pavimentación de parkings soterrados en los que el código técnico de la edificación establece una clasificación en EUROCLASES, para los revestimientos de suelos de dicha infraestructura ⁵.

El firme de la mayoría de las carreteras y túneles está compuesto por mezclas bituminosas, ya que es el material que presenta un mejor comportamiento, especialmente en categorías de tráfico pesado. Ahora bien, la utilización de formulaciones convencionales puede ser modificada por ejemplo, mediante la sustitución de una parte de las cargas convencionales por diversas cargas, que actúan como retardantes a la llama, de cara a mejorar la reacción al fuego de las mezclas bituminosas.

Teniendo en cuenta estos antecedentes, dentro del proyecto PAVIREX, se ha estudiado esta problemática en profundidad, trabajando en dos líneas diferentes:

- Estudiar el comportamiento al fuego de las mezclas asfálticas convencionales para comprobar así su idoneidad como capas de rodaduras en túneles.
- Mejorar, de forma paralela, el comportamiento al fuego de las mezclas asfálticas mediante la utilización de distintos aditivos retardantes a la llama.

Para mejorar el comportamiento al fuego de las mezclas asfálticas se han utilizado distintos tipos de retardantes como hidróxidos de aluminio y magnesio, ácido polifosfórico o diferentes fosfatos y polifosfatos. Estos materiales se han utilizado unas veces modificando los ligantes bituminosos y otras directamente en las mezclas bituminosas en sustitución del polvo mineral.

En todos los casos se ha estudiado la influencia de los distintos aditivos tanto en el comportamiento al fuego de los materiales diseñados como en su comportamiento como ligantes o mezclas bituminosas que deben mantener unas prestaciones adecuadas para su uso en pavimentos de carretera.

Los estudios de comportamiento al fuego se han realizado a dos niveles:

- A nivel de laboratorio y a dos escalas según el tamaño de la muestra: uno, que denominaremos a pequeña escala, mediante el uso del cono calorimétrico normalizado según la norma ISO 5660 ¹ con probetas de dimensiones de 100 x 100 x 10 mm y otro, a escala media, de creación propia que consiste en la aplicación de una llama directa sobre probetas de mezcla bituminosa, de dimensiones de 410 x 260 x 50 mm para poder comprobar la posible propagación de la llama en estos materiales.
- A escala real, en un túnel especialmente diseñado para poder realizar este tipo de ensayos de manera controlada, sometiendo tanto a mezclas convencionales como mezclas mejoradas a distintas cargas de fuego, incluida la combustión de un coche sobre las mismas.

Dada la magnitud de los trabajos realizados durante el desarrollo del proyecto en esta comunicación nos vamos a centrar únicamente en la descripción de los resultados obtenidos en estos estudios de comportamiento al fuego en los que se han obtenido resultados muy interesantes.

2. Mezclas bituminosas ensayadas

El tipo de mezcla bituminosa estudiada ha sido una mezcla AC16 surf 50/70 S sílice. Como aditivo retardante a la llama se ha seleccionado, tras un completo estudio previo, un fosfinato. Se han ensayado distintas composiciones de retardante en la mezcla bituminosa como sustitución parcial del filler, con el fin de optimizar la formulación. Estas composiciones de re-

tardante a la llama sobre la mezcla bituminosa han sido del 0,7%, 1,0% y 1,4%. Así mismo, se ha analizado la muestra sin aditivar, que llamaremos “blanco”.

3. Estudio de la reacción al fuego de mezclas bituminosas diseñadas a nivel de laboratorio

3.1 Estudio a pequeña escala - Ensayo con el cono calorimétrico

Como se ha citado anteriormente, el equipamiento que se ha empleado para evaluar la respuesta frente al fuego de las mezclas bituminosas que se han diseñado a lo largo del proyecto ha sido el cono calorimétrico.

El cono calorimétrico es un equipo muy versátil ya que aporta mucha información sobre la reacción al fuego de distintos materiales y permite reproducir las condiciones de distintos escenarios de incendios (cargas de fuego de 0 a 100 kW/m²) midiendo en un sólo ensayo parámetros tales como el *tig* (segundos) *time to Ignition*, tiempo al cual tiene lugar la ignición (segundos); *HRR Heat Release Rate*, velocidad de desprendimiento de calor (kW/m²); *pHRR* máximo calor liberado (kW/m²); *t_{peak}* (segundos) tiempo al cual tiene lugar el desprendimiento máximo de calor, *pHRR*; *THR Total Heat Release*, Calor total liberado (MJ/m²) y *MARHE Maximum Average of Heat Emission*, velocidad máxima del calor medio emitido (kW/m²), entre otros. Una representación esquemática del equipo se muestra en la Figura 1. A continuación se describen los aspectos más importantes en cuanto a las condiciones del ensayo realizado con este equipo:

Preparación de las mezclas bituminosas:

- Las mezclas bituminosas ensayadas fueron preparadas en el laboratorio a partir de probetas paralelepípedas de

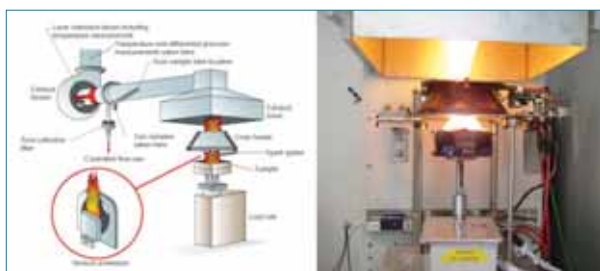


Figura 1: Representación esquemática del cono calorimétrico.

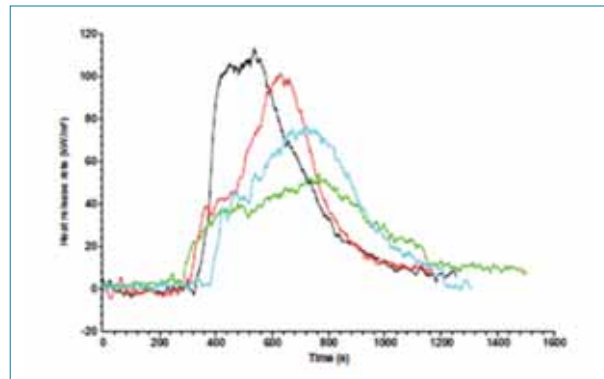


Figura 2: Evolución de la velocidad de desprendimiento de calor (HRR) frente al tiempo para el blanco (curva negra), y las aditivadas con retardante a la llama al 1,4% (curva azul), al 1,0% (curva verde) y al 0,7 % (curva roja).

iguales dimensiones que las que se utilizan para el ensayo de rodadura, posteriormente fueron cortadas a las dimensiones de 100 x100 mm con un espesor de aproximadamente 10 mm, de manera que no se sobrepasen los 250 g de peso máximo.

- Las muestras antes de ensayarlas se han acondicionado a masa constante a una temperatura de 23 ± 2 °C y a una humedad relativa de 50 ± 5 %, de acuerdo a la norma ISO 554⁶. Se considera que se alcanza la masa constante cuando dos operaciones de pesado sucesivas, llevadas a cabo en un intervalo de 24 h, no difieren en más de 0,1% de masa de la pieza de ensayo o 0,1 g.

Condiciones del ensayo:

- Los ensayos se han realizado por triplicado para cada formulación siendo los valores mostrados en la tabla la media aritmética de los tres ensayos.
- Para la realización de los ensayos se ha seleccionado un flujo de calor de 40 kW/m².
- El flujo de calor de radiación del cono se ha calculado a una distancia de 25 mm desde la base del cono radiante hasta la superficie de la muestra.

Tal y como se observa en las curvas donde se representa la velocidad de desprendimiento de calor (HRR) frente al tiempo (Figura 2) las proporciones de retardante a la llama más efectivas son: la del 1,0% (curva verde) y 1,4% (curva azul). En el primer caso, el valor máximo de la velocidad de desprendimiento de calor (HRR_{peak} , 53.9 kW/m²) es el me-

Comportamiento al fuego de mezclas bituminosas a escala real: Proyecto Pavirex



Figura 3: Cámara NBS

nor de todas las formulaciones estudiadas, aunque la ignición tiene lugar antes (283 segundos). En el segundo caso, aunque el valor máximo de desprendimiento de calor (HRR_{peak} , 76.59 kW/m^2) es más alto que en el caso anterior, la ignición es más tardía (378 segundos), hecho que es beneficioso para el ensayo a gran escala. A la vista de los resultados, son las formulaciones con 1,0% y 1,4% de fosfinato las que se ensayarán a gran escala.

3.2 Toxicidad y opacidad de los humos de las mezclas bituminosas

Tras caracterizar las distintas formulaciones en el cono calorimétrico, se han preparado probetas con las mismas proporciones pero con distintas dimensiones, $75 \times 75 \text{ mm}$ con un espesor de aproximadamente 16 mm para no sobrepasar la masa máxima de 250 g, para ser ensayadas en la cámara NBS a un flujo de 50 kW/m^2 y sin llama directa (condiciones semejantes a las que va a sufrir la mezcla bituminosa en el ensayo del TST).

La cámara NBS (Figura 3) es un dispositivo que determina, a partir del parámetro de densidad óptica específica, D_s , la cantidad de humos que se generan durante la combustión de un material en el interior de una cámara cerrada, cuando éste está sometido a una fuente de calor radiante. Los parámetros que se determinan son:

- D_s (4min), densidad óptica específica a los 4 minutos
- VOF4, oscurecimiento durante los 4 primeros minutos
- D_{smax} , densidad óptica específica máxima

Tras la caracterización de las muestras, lo que se observa es (Tabla 1):

- El “blanco” y la muestra con un 1,0% del retardante, no arden (tig). La combustión es parcial y por ello el valor de densidad óptica máxima (D_{smax}) para estas dos formulaciones es el más alto (humos más opacos).
- Las muestras que contienen 0,7% y 1,4% del retardante, arden. La combustión es total y en ambos casos la densidad óptica máxima (D_{smax}) es menor (humos menos opacos).
- La muestra sin retardante, es la que tiene una menor opacidad de humos a tiempos bajos (menor valor de D_s al minuto 4 y VOF4). Se comporta mejor en los primeros minutos de ensayo. Sin embargo luego alcanza un valor de densidad óptica máximo (D_{smax}) muy alto a tiempos más cortos que el resto de formulaciones.
- Por otra parte, en el resto de formulaciones, la presencia del retardante empeora la opacidad de los humos en los primeros minutos de ensayo (mayor valor de D_s en el minuto 4 y VOF4, durante los 4 primeros minutos).

En resumen, podemos decir que, en estas condiciones de ensayo, la muestra “blanco” y la que contiene un 1,0% de retardante, presentan un mayor valor de densidad óptica máxima (D_{smax}), siendo menor este valor para las muestras que contienen un 0,7 y 1,4% de retardante. Por otra parte, la introducción del retardante en las distintas formulaciones incide negativamente en la densidad óptica a tiempos bajos, durante los 4 primeros minutos (VOF4) y en el minuto 4 de ensayo (D_s 4 min), siendo estos valores más altos.

A continuación se muestra en la Figura 4 la evolución de la densidad óptica específica con el tiempo para hacer más visual los resultados. Como se puede ver las formulaciones sin retardante y con un 1,0% son las que presentan mayores valores de densidad óptica específica.

Con el fin de determinar la naturaleza de los gases que se producen durante la combustión de estas cuatro mezclas se ha acoplado a la cámara NBS un equipo de espectroscopía infrarroja, FTIR, con el cual se han tomado muestras en el

Tabla 1: Principales valores correspondientes a los parámetros de opacidad realizados a las muestras aditivadas y sin aditivar, en la cámara NBS con un flujo de 50 kW/m² y sin llama.

Formulación	t _g (s)	t _{fo} (s)	Ds (4min)	Ds _{max}	Tiempo Ds _{max} (s)	VOF 4
sin retardante	-	-	29,12	608,03	797	28,3
0,7% retardante	389	FINAL	41,5	343,5	780	44,9
1,0% retardante	-	-	45,1	619,79	1200	41,4
1,4% retardante	no reg	FINAL	45	410,67	914	46,5

interior de la cámara a los 4, 8 y 20 minutos de ensayo. Las probetas han sido ensayadas con y sin llama directa a un flujo de 50 kW/m². Siendo los resultados obtenidos los que se observan en el gráfico de barras (Figura 5). En esta gráfica está representado el valor del Índice Convencional de Toxicidad, CITg, de cada una de las formulaciones a distintos tiempos (4, 8 y 20 minutos) y en dos condiciones diferentes de ensayo (con y sin llama). Este índice, es función de la concentración de cada gas en el interior de la cámara y de la concentración de referencia para este gas, Ci (límite para las personas expuestas a los componentes gaseosos. Peligro inmediato para la vida o la salud). Siendo ocho, el número de gases que se determinan (CO₂, CO, HBr, HCl, HCN, HF, NO₂ y SO₂) e indicando peligrosidad cuando el valor de CITg es igual a 1:

$$CITg = 0,0805 \times 10^{-6} \sum ci / Ci$$

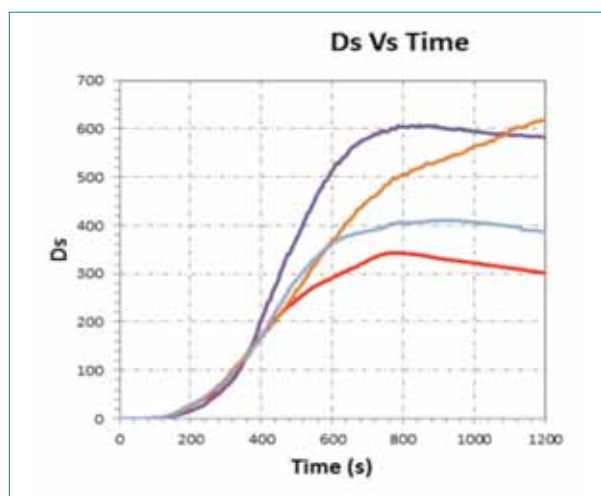


Figura 4: Evolución de la Densidad óptica específica, Ds, frente al tiempo en el ensayo NBS para la mezcla bituminosa sin el aditivo ignífugo (curva morada), y las aditivadas con 0,7 % (curva roja), 1,0% (curva naranja) y 1,4% (curva azul).

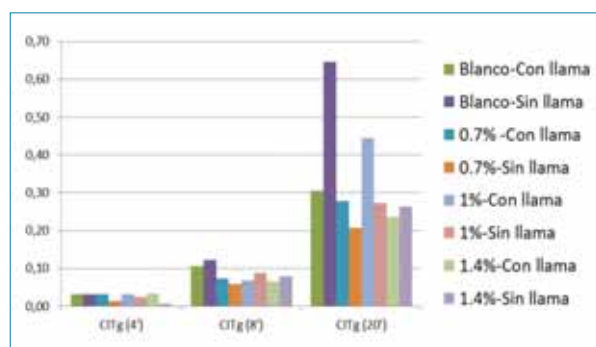


Figura 5: Valores de CITg obtenidos al combustionar en la cámara NBS+FTIR a un flujo de 50 kW/m² con y sin llama las mezclas bituminosas sin el aditivo ignífugo, y las aditivadas con 1,4, 1,0 y 0,7 % de retardante a la llama.

- En todos los casos se observa que el Índice Convencional de toxicidad (CITg) es inferior a la unidad (situación de peligrosidad).
- En nuestro caso, los gases que mayor contribución han tenido al valor de CITg han sido: CO₂, CO y SO₂.
- El valor de CITg a los 4 minutos es prácticamente el mismo para todas las formulaciones excepto para la formulación con el 1,4% de retardante que presenta un menor valor cuando el ensayo se realiza sin llama.
- El “blanco” es la que presenta un valor mayor de CITg a los 8 minutos, tanto si el ensayo se realiza con o sin llama.
- Cuando el ensayo se realiza sin llama, la fórmula que mayor valor de CITg proporciona a los 20 minutos es de nuevo el del “blanco”. Sin embargo, cuando el ensayo se realiza con llama, es la fórmula con 1,0% de aditivo la que presenta un peor comportamiento.

En conclusión, se puede decir que, aunque ninguna de las formulaciones alcanza un valor de Índice Convencional de Toxicidad, CITg, igual a uno (indicando peligrosidad), es la

Comportamiento al fuego de mezclas bituminosas a escala real: Proyecto Pavirex

fórmula de referencia (sin llama) y la que contiene un 1,0% de retardante (con llama) las que presentan un peor comportamiento a tiempos largos de ensayo (20 minutos). Siendo las diferencias entre las formulaciones muy pequeñas a tiempos cortos (4 y 8 minutos).

3.3 Estudio a escala media - Ensayo de creación propia

Se pensó en diseñar un ensayo sencillo y económico con la idea de simular lo que posteriormente se iba a realizar a escala real, con muestras de un mayor tamaño que permitieran apreciar si existe o no propagación del fuego a lo largo de la superficie de la probeta. Así mismo, aplicar distintas cargas de fuego directas sobre la mezcla bituminosa a través de un soplete alimentado con gas butano (protocolo de ignición en este caso a través de una llama directa en contacto con la mezcla bituminosa).

En todos los ensayos lo que se ha registrado son medidas continuas de temperatura con sensores de temperatura de tipo K.

Tras un arduo trabajo de puesta a punto del ensayo, realizando distintas pruebas con distintos materiales se llegó a establecer la siguiente metodología de trabajo como la más adecuada por ser susceptible de ser extrapolada a incendios a gran escala.

Procedimiento del ensayo

- Dimensiones de las probetas de mezclas bituminosas 410 mm x 260 mm con un espesor de 5 cm.
- Caudal de gas butano 114 mg/s ya que la potencia de fuego determinada a partir de ensayos con muestra patrón refractaria alcanzada fue de 0,8 MW/m².
- Distribución de los sensores de temperatura a lo largo de la superficie de la probeta (ver figura 6) y en profundidad (a 2,5 cm y 5 cm de profundidad).
- Colocación de una carga de 50 kPa ubicada próxima a la zona de fuego en la cara superior.
- En este ensayo se analiza la distribución de la temperatura tanto en superficie como a lo largo del espesor de la probeta bituminosa, aplicando calor en un extremo de la misma mediante llama directa de butano. Además de la colocación de sensores para el registro de temperatura,

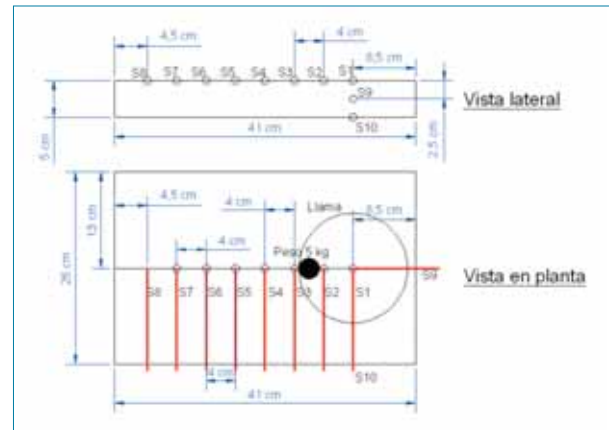


Figura 6: Distribución de los sensores de temperatura en superficie y en profundidad.

se ubica un peso de 50 kPa cerca del foco de calor simulando las cargas existentes sobre la mezcla bituminosa.

Los ensayos, en este caso, se han realizado sobre las tres formulaciones optimizadas según los resultados del cono calorimétrico, es decir, sobre muestras de mezcla bituminosa AC16S sílice sin aditivar (blanco), sobre la mezcla aditivada con un 1,0% de retardante y sobre la aditivada 1,4%.

La Figura 7 muestra el fuego aplicado durante el ensayo en la probeta "blanco", y el aspecto final de la muestra tras el ensayo. La presencia de diferentes tonalidades en la probeta se puede apreciar mejor en esta última imagen.

En la Figura 8 se muestra la evolución de la temperatura en los distintos sensores colocados en la superficie y en profundidad de la probeta durante el ensayo.

En la Figura 9 se muestran dos fotografías, después de los ensayos de las muestras bituminosas aditivadas con los dos porcentajes del 1,0% y del 1,4% de retardante.

La Figura 10 muestra los resultados para las tres mezclas y para el sensor de temperatura colocado en superficie, bajo la llama (gráfico de la izquierda). Se observa que se alcanzan



Figura 7: Muestra de AC16S sílice sin aditivar "blanco", durante el ensayo (izda.) después del ensayo (dcha.)

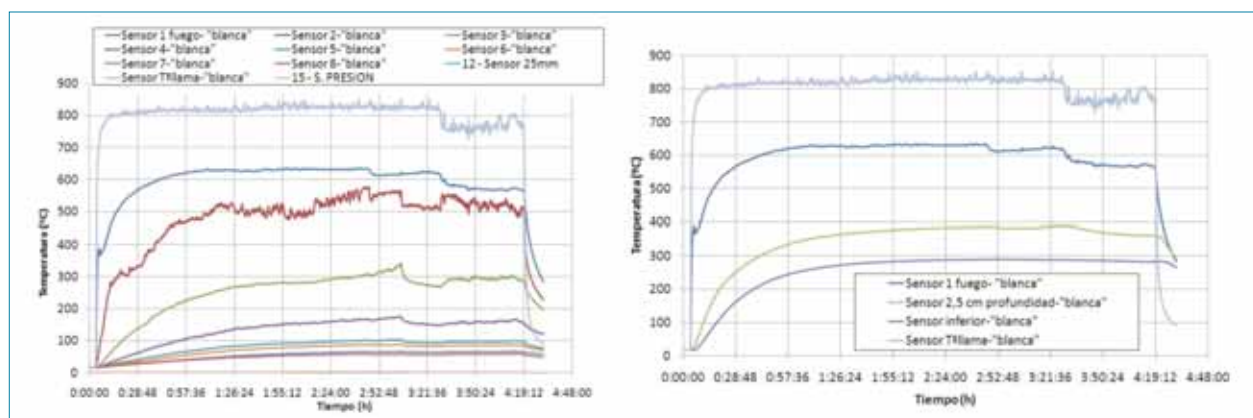


Figura 8: Evolución de la temperatura de los sensores colocados en la superficie (izq.) y en profundidad (dcha.) de la probeta "blanco".



Figura 9: Muestra de AC16S sílice tras el ensayo aditivada al 1,0% (izda.) y con el 1,4% (dcha.)

mayores temperaturas en la probeta con un 1,0% de aditivo (por encima de 700°C), siendo bastante próximos los resultados para la probeta del 1,4% de aditivo (valores próximos a 700°C) y menor temperatura para la probeta "blanco" (sobre 635°C de máxima).

En el sensor de temperatura nº 2, ubicado a 4 cm de distancia del que está bajo la llama, los mayores registros de temperatura se producen en la probeta con un 1,4% de aditivo (con temperaturas próximas a 600 °C), y la probeta con

un 1,0% de aditivo presenta valores de temperatura próximos a 500 °C. La probeta "blanco" alcanza valores de temperatura intermedios entre las probetas con aditivo.

Como puede apreciarse en el Figura 10 (gráfico inferior), a 16 cm de distancia del foco las temperaturas tienden a igualarse en las tres probetas y han descendido ya al entorno de 100 °C.

Para el caso de los sensores más alejados del foco de calor, ubicados en el extremo opuesto (sensor 6, 7 y 8), las mayores temperaturas se registran en la probeta "blanco", aunque en la parte final del ensayo se igualan bastante en las tres probetas, si bien las temperaturas en esta parte de la muestra no pasan de 90 °C. Por tanto, en la parte superficial de la probeta, las temperaturas próximas al foco de calor son mayores en las probetas que tienen aditivo; en el centro de la muestra y hacia el extremo opuesto al fuego se registran mayores temperaturas en la probeta "blanco".

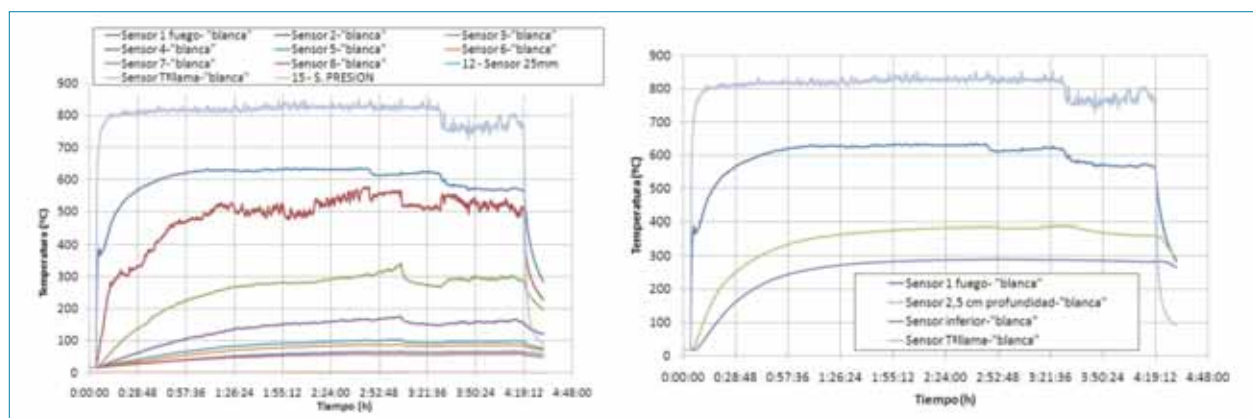


Figura 10: Temperatura vs tiempo del sensor bajo llama (izq.) y del sensor a 16 cm (nº 5) del foco de llama (dcha.) para las tres muestras de mezcla bituminosa: sin aditivar "blanco" (curva roja), 1,0% (curva azul) y 1,4% (curva verde) de aditivo.

Comportamiento al fuego de mezclas bituminosas a escala real: Proyecto Pavirex

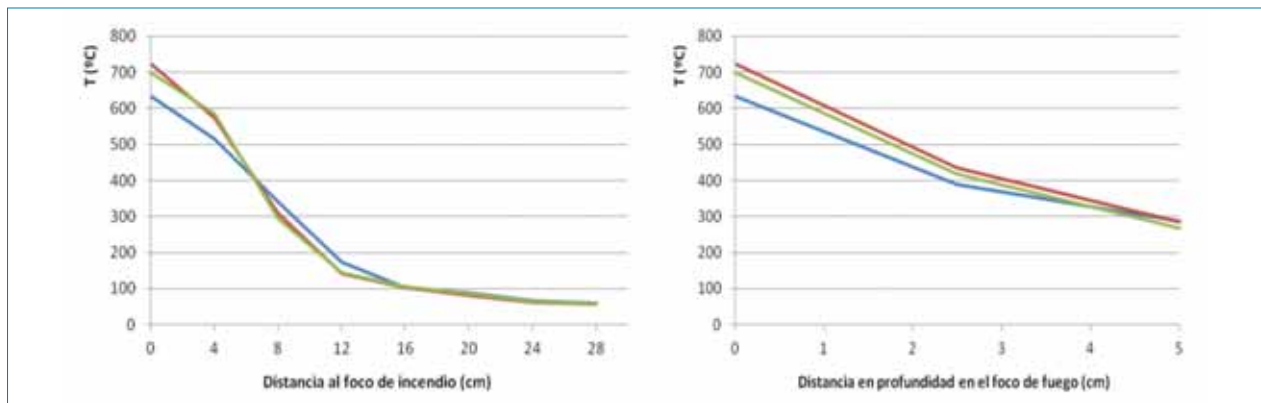


Figura 11: Temperaturas de equilibrio registradas en los distintos sensores de temperatura superficiales y en profundidad para las tres mezclas: blanco (curva azul), 1,0% de retardante (curva roja), 1,4% de retardante (curva verde).

En cuanto a los sensores interiores, el que está ubicado bajo la llama a 2,5 cm de profundidad las mayores temperaturas registradas corresponden a la probeta del 1,0% de aditivo (sobre 430 °C), siendo las más bajas las de la probeta “blanco” (390 °C).

El sensor inferior bajo la llama, en la cara inferior de la muestra, presenta valores muy similares (entre 280 y 290 °C) entre la probeta “blanco” y la probeta del 1,0% de aditivo, que se corresponden con los mayores valores de temperatura registrados en la parte inferior de la probeta.

En la Figura 11 se resumen las temperaturas de equilibrio alcanzadas en cada sensor para las tres mezclas asfálticas objeto de ensayo.

En resumen, se observa que el blanco alcanza menores temperaturas de equilibrio (633 a 514 °C) cuanto más próximo está del foco de incendio que las mezclas aditivadas (722 a 573 °C), y lo mismo ocurre en cuanto a las temperaturas de equilibrio alcanzadas a lo largo del espesor de la probeta en el foco de incendio. Este comportamiento puede deberse a que en el blanco se produce una combustión más temprana de ciertos componentes orgánicos, lo que hace que la temperatura no aumente tanto.

Sin embargo, el blanco llega a mayores temperaturas superficiales de equilibrio (340-104 °C) a medida que se aleja del foco de incendio, a partir de unos 7 cm de distancia del foco que es cuando se produce el cambio hasta los 16 cm de distancia respecto al foco de incendio. Posteriormente el comportamiento es muy similar en las tres mezclas (temperaturas sobre los 100 °C).

En cuanto a las dos mezclas con retardante 1,0% y 1,4%, no se aprecian diferencias sustanciales en su comportamiento

ni tanto en superficie como en profundidad, quizás en este último caso se registran menores temperaturas de equilibrio en la mezcla con el 1,4% de retardante. En cuanto al aspecto superficial se observa que las mezclas con aditivo crean una capa superficial de aspecto brillante que no se detecta en la mezcla “blanco”.

4. Ensayos a escala real realizados en el túnel experimental de TST

Los tres tipos de mezclas bituminosas estudiadas a escala media de laboratorio (blanco, 1,0% y 1,4% de retardante) se han ensayado posteriormente a escala real en un centro de ensayos especializado (Tunnel Safety Testing).

4.1 Descripción del Túnel experimental de la empresa TST

El Centro, así como sus instalaciones, pertenecen a la Fundación Barredo, dependiente del Gobierno del Principado de Asturias, y es operado, en régimen de concesión, por la empresa Tunnel Safety Testing, S. A, de capital privado.

En este caso concreto se ha utilizado el túnel de ensayos, que se trata de un falso túnel de hormigón, semienterrado, de dimensiones equivalentes a las de un túnel carretero de dos carriles, y que incorpora además dos estaciones de ventilación, una galería de emergencia y servicio inferior (ver Figura 12), así como tres salidas de emergencia. Tiene una longitud total de 600 m y mide 8,1 m de alto por 9,5 m de ancho. La galería de emergencia mide 4 m de ancho por 2,50 m de alto. Está dotado de una máxima flexibilidad en cuanto

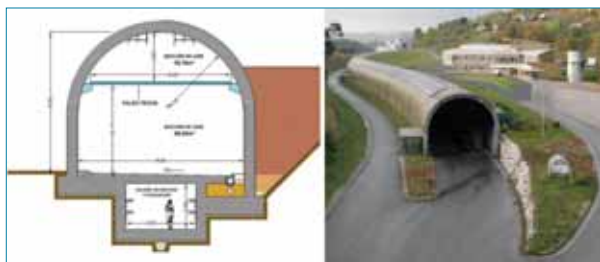


Figura 12: Sección del túnel de ensayos.

a su ventilación, de manera que puedan ensayarse los distintos sistemas de ventilación más usuales y modernos.

En este túnel pueden realizarse diferentes tipos de ensayos, pero en este estudio se ha utilizado para realizar ensayos de resistencia al fuego de materiales constructivos para túneles como son las mezclas bituminosas, en condiciones reales.

El sistema de control y adquisición de datos del túnel es una parte fundamental de la instalación, y se utiliza tanto para el control y regulación de los distintos sistemas de ventilación, como para la adquisición y registro de datos e imágenes durante los ensayos. Se trata de un sistema descentralizado basado en 13 Estaciones de Monitorización y Control (EMCs), localizadas en la galería de servicio cada 40-50 m, además de dos unidades para control de las estaciones de ventilación. Todas las unidades se comunican con la estación de control central mediante un anillo cerrado de fibra óptica.

4.2 Tipología de ensayos a escala real

Los ensayos se llevaron a cabo en el mes de enero del año 2014 a lo largo de una semana con diferentes cargas de fuego.

Las mezclas bituminosas se prepararon en la planta Asfáltica de Campezo Obras y Servicios S.A. ubicada en Quintana del Puente (Palencia). Se prepararon un total de 16 placas de mezcla bituminosa de un espesor de 5 cm. Todas ellas se extendieron sobre unas placas de hormigón alveolar con unas dimensiones determinadas para su posterior traslado y manipulación en el túnel. Las dimensiones de las placas de mezcla bituminosa fueron: 12 placas de 1,2 x 3 m (para cada ensayo se utilizaron dos placas por lo que la superficie de la mezcla ensayada fue de 14,4 m²). Para el ensayo con el automóvil, se utilizaron 4 placas de una superficie de 1,2 x 4 m cada una de ella.

Las cargas de fuego fueron de distintos tipos; se ensayaron mezclas con dos torretas de nueve pallets de madera se-

cos (dimensiones de cada pallet 0,80 x 1,20 m), estimando una carga de fuego de la torre de 9 pallets de aproximadamente 0,6 MW/m², en el lateral derecho se colocaron dos neumáticos de coche. Se hicieron ensayos con cargas de fuego solo neumáticos; un total de 16 neumáticos de coche y 7 neumáticos de camión, donde la carga de fuego estimada fue de 5-6 MW/m². Por último, se realizó un ensayo quemando un automóvil, donde la carga de fuego estimada fue de 0,5 a 0,8 MW/m².

La velocidad del aire en el interior del túnel, utilizada para la realización de los ensayos, fue de 3-4 m/s que equivale a 10,8-14,4 km/h, (velocidad crítica).

La duración de los ensayos fue entre 35-55 min dependiendo de la carga de fuego aplicada. Se terminaba el ensayo bien con la autoextinción de la llama o bien cuando el termopar colocado, bajo la carga de fuego o el siguiente mas próximo comenzaban a registrar bajada de temperatura y cuando esta era inferior a 200 °C se procedía a la extinción.

El protocolo de ignición utilizado fue colocar unos pequeños recipientes con combustible debajo de la carga de fuego que se prendían mediante la aplicación de una llama directa y controlada.

Para analizar el efecto del fuego sobre la mezcla bituminosa se ha llevado a cabo un control de temperaturas utilizando dos sistemas de medición:

- Sensores de temperatura (termopares): Se han instalado seis sensores, dos en cada uno de los emplazamientos de-

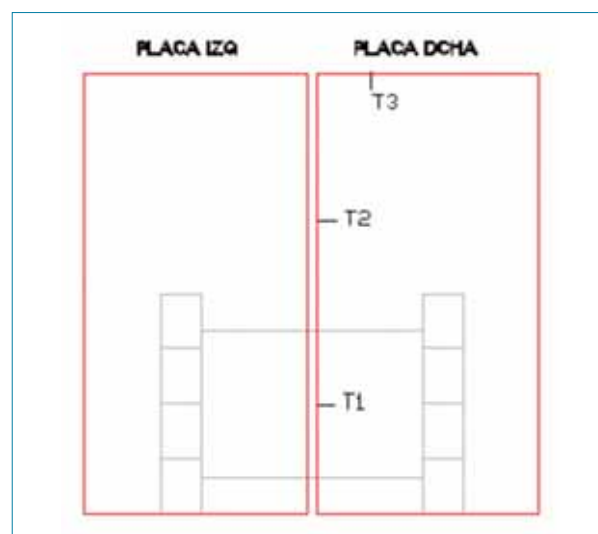


Figura 13: Disposición de los termopares.

Comportamiento al fuego de mezclas bituminosas a escala real: Proyecto Pavirex



Figura 14: Fotos de la disposición de la carga de fuego: torres de pallets y neumáticos sobre las placas de mezcla bituminosa.



Figura 15: Fotos durante en el ensayo de las distintas muestras ensayadas.

signados como T1, T2 y T3 en la figura 13, uno de ellos en superficie y otro a 2,5 cm de profundidad.

- Cámara termográfica: Con la que se ha grabado y registrado la evolución de las temperaturas a nivel de superficie durante todo el ensayo.

En la Figura 14 se muestra una serie de fotografías donde se puede ver la disposición del ensayo en función de las distintas cargas de fuego utilizadas. En todos los casos los sensores de temperatura se mantuvieron como se muestra en la Figura 13.

4.3 Resultados de los ensayos realizados con carga de fuego: dos torretas de nueve pallets

Se ensayaron con esta disposición y carga de fuego los tres tipos de mezclas bituminosas que hemos venido analizando a lo largo de esta comunicación, es decir, el AC16S sílice sin aditivo, con retardante a la llama al 1,0% y con el 1,4%. La carga de fuego estimada en este caso es de 1,2 MW/m². En la Figura 15 se muestra una serie de fotografías realizadas durante el ensayo.

A continuación en las figuras 16a, 17a y 18a se muestran los gráficos de la evolución de la temperatura en superficie durante el ensayo medidas con la cámara termográfica, además se presenta una fotografía tomada por dicha cámara en el instante de mayor temperatura registrada en el punto A. Y en las figuras 16b, 17b y 18b se muestran los resultados de la evolución de la temperatura en superficie y profundidad de los termopares colocados en las placas de mezcla bituminosa según el esquema de la Figura 13.

En este caso se alcanzan temperaturas máximas de hasta 350 °C, sin detectarse propagación del incendio a través de la mezcla bituminosa en ningún momento. Los mayores picos de temperatura se alcanzan entre los 5-15 min desde la ignición. Se observa que a los 10 min el punto C mas distanciado de la carga de fuego llega a alcanzar temperaturas de 300 °C debido a las llamas que se orientan en el sentido de

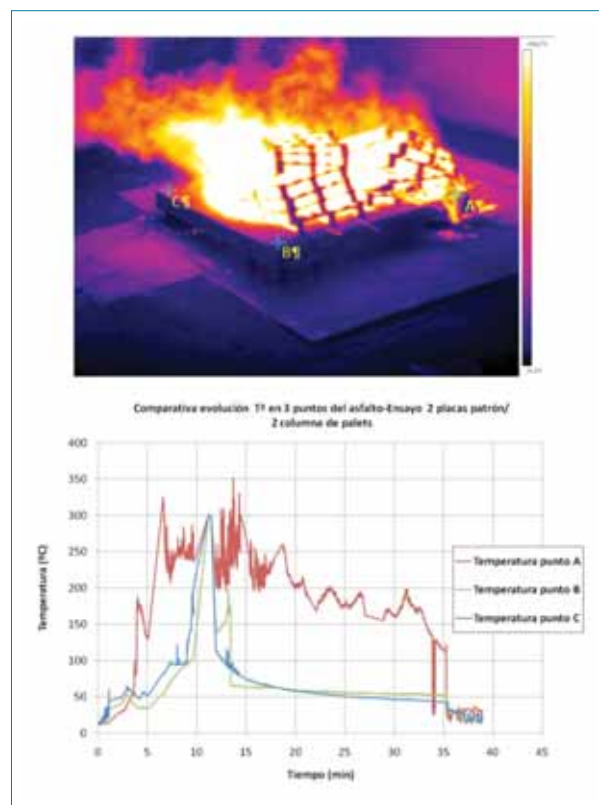


Figura 16a: Evolución de la temperatura superficial con la cámara termográfica del blanco. La foto termográfica se corresponde con el momento de mayor temperatura registrada en el punto A.

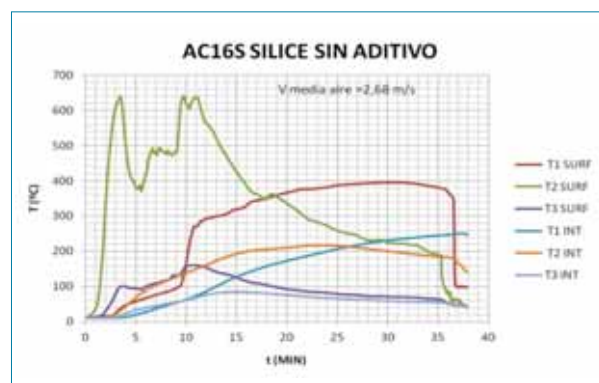


Figura 16b: Evolución de la temperatura superficial y en profundidad del blanco con los sensores de temperaturas ubicados en las placas de mezcla bituminosa según el esquema de la Figura 13.

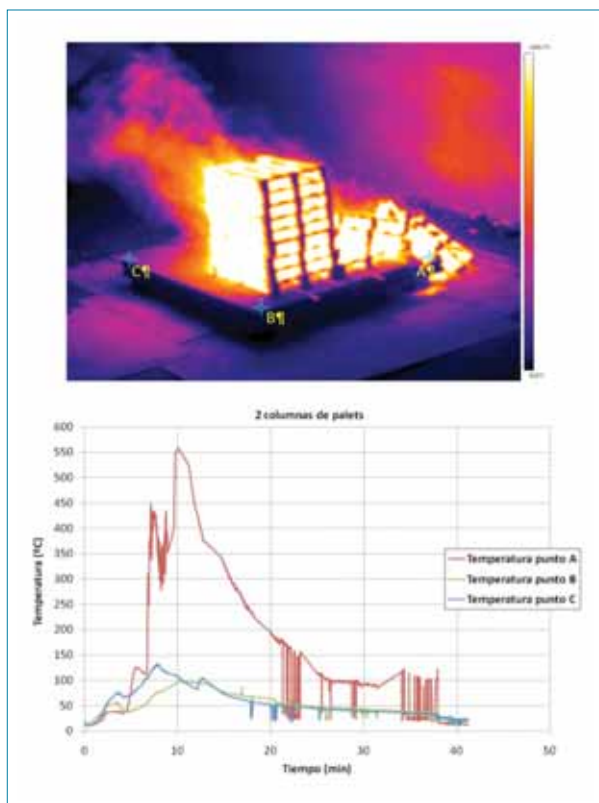


Figura 17a: Evolución de la temperatura superficial con la cámara termográfica de la mezcla con el 1,0% de aditivo. La foto termográfica se corresponde con el momento de mayor temperatura registrado en el punto A.

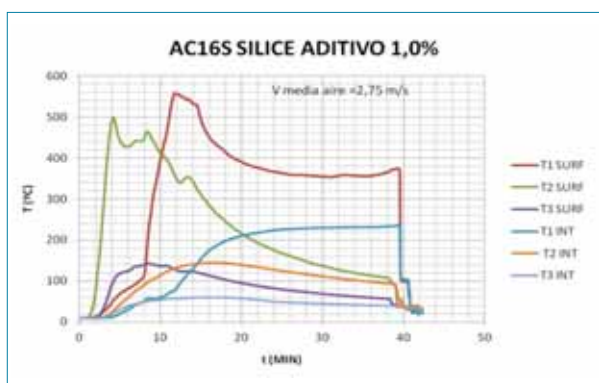


Figura 17b: Evolución de la temperatura superficial y en profundidad de la mezcla aditivada con el 1,0% con los sensores de temperaturas ubicados en las placas de mezcla bituminosa, según el esquema de la Figura 13.

la ventilación de aire en el túnel, como se puede apreciar en fotografía termográfica de la Figura 16a.

Analizando ahora los resultados de los sensores de temperatura colocados en las placas de mezcla bituminosa, se observa que el termopar superficial colocado a mayor distancia del foco de incendio (T3) no llega a alcanzar temperaturas supe-

riores a 180 °C y, el termopar que mayores temperaturas registra es el T2 superficial siendo estas temperaturas cercanas a los 650 °C entre 2-12 min de ensayo. En cuanto a los termopares colocados a mitad del espesor de la mezcla bituminosa y ubicados en las mismas posiciones de los T1, T2 y T3 superficiales, se observa que ninguno supera temperaturas superio-

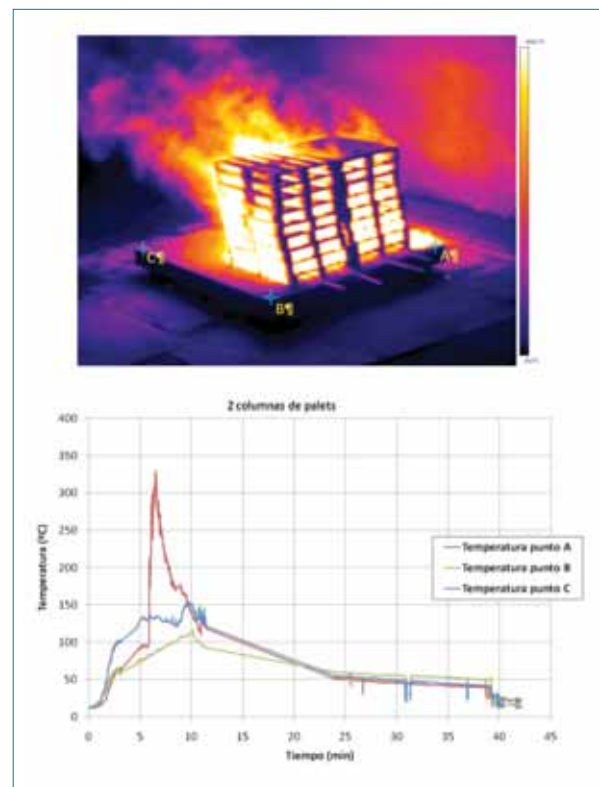


Figura 18a: Evolución de la temperatura superficial con la cámara termográfica de la mezcla con el 1,4% de aditivo. La foto termográfica se corresponde con el momento de mayor temperatura registrado en el punto A.

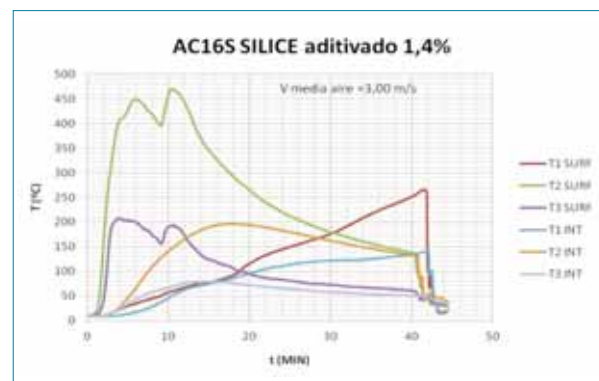


Figura 18b: Evolución de la temperatura superficial y en profundidad de la mezcla aditivada con el 1,4% con los sensores de temperaturas ubicados en las placas de mezcla bituminosa según el esquema de la Figura 13.

Comportamiento al fuego de mezclas bituminosas a escala real: Proyecto Pavirex

res a 250 °C, siendo el termopar T1 el que se encuentra colocado justo debajo del foco del incendio, el que se encuentra más próximo de éstas temperaturas a tiempo final del ensayo.

En las muestras aditivadas se observa que las temperaturas en superficie obtenida a través de la cámara termográfica, se mantienen por debajo de 150 °C a poca distancia del foco (punto B). La temperatura máxima registrada alcanza los 550 °C para la mezcla aditivada al 1,0% a los 10 min de desarrollo del ensayo y para la aditivada al 1,4% hasta 350 °C a los 6-7 min de desarrollo del ensayo.

Además, en las mezclas aditivadas se observa que la mayor temperatura superficial se alcanza en los primeros 5-10 min a poca distancia del foco (punto A) cayendo bruscamente seguidamente, en mayor medida para la mezcla aditivada al 1,4%. Sin embargo, la mezcla sin aditivar mantiene la temperatura promedio de 280 °C durante más tiempo hasta unos 15 min. disminuyendo posteriormente de forma paulatina.

Si ahora analizamos los sensores de temperatura ubicados en las placas de mezcla bituminosa, se observa que se alcanzan mayores temperaturas en las mezclas aditivadas con el 1,0% (máximas de unos 550 °C a los 12 min de ensayo en el T1). Para la muestra con aditivo al 1,4% se alcanzan máxima de 470 °C a los 10 min de ensayo en el T2. Los sensores colocados en profundidad no llegan a alcanzar temperaturas superiores a los 200 °C para la muestra con el 1,4% de aditivo ni a los 160 °C para la muestra con el 1,0% de aditivo. Por lo que esto demuestra que el daño es superficial como se puede observar en la fotografías de la Figura 19.

En la Figura 19 se presenta una serie de fotografías del estado del firme antes y después del incendio.

Se observa un deterioro superficial en el foco del fuego, al no verse propagación del mismo a lo largo de la plancha de mezcla bituminosa, el resto de la superficie se encuentra en perfecto estado.

Aunque es muy difícil extraer una conclusión unívoca debido a que si bien, la carga de fuego fue la misma para las

tres mezclas, el comportamiento de la carga durante el desarrollo del incendio fue distinto y en consecuencia las temperaturas registradas en los termopares de las placas variaron. Se podría concluir, que fijándonos en los datos registrados en el termopar T2 (el que mayores temperaturas registró), el orden de las temperaturas alcanzadas fue el siguiente: blanco > mezcla aditivada al 1,0% > mezcla aditivada al 1,4%. Estos resultados no se corresponden con los obtenidos a escala media de laboratorio, sin embargo los resultados aportados por el cono calorimétrico nos indicaban un mejor comportamiento de las mezclas que contenían un 1,4% de retardante. En cuanto a los tiempos se observa que el blanco alcanza la mayor temperatura en el termopar T2 a los 3 min de inicio del ensayo, seguidamente la mezcla con el 1,0% de aditivo y en último lugar la mezcla aditivada con el 1,4%.

4.4 Resultados de los ensayos realizados con carga de fuego: neumáticos

Para este ensayo se colocaron tres torres de seis neumáticos de coche cada una y sobre éstas se apoyaron cinco ruedas de camión distribuidas de forma simétrica en cada placa, tal y como se muestra en la Figura 14 (foto dcha.). Este ensayo se realizó, al igual que el resto, con dos placas pero en este caso una de ellas era de hormigón y la otra de una mezcla bituminosa aditivada con el 1,0% de retardante.

La evolución de las temperaturas en superficie registradas con la cámara termográfica durante la prueba se pueden ver en la Figura 20a y en la Figura 20b evolución de la temperatura de los sensores colocados en la placa de mezcla bituminosa según el esquema de la Figura 13.

En la Figura 20a se observa que a poca distancia del foco de incendio las temperaturas apenas superan en algún momento los 100 °C (punto B y C) colocados en la placa de hormigón. Sin embargo en el punto A sobre la mezcla asfáltica se llegan a registrar temperaturas superficiales de hasta 500 °C.

En la Figura 20b se observa que la máxima temperatura superficial registrada en la mezcla bituminosa llega a los 800 °C, mayores temperaturas que con la carga de fuego de torres de pallets (550 °C) debido a la mayor carga de fuego del sistema de neumáticos utilizado (5-6 MW/m²). De nuevo se observa que no existe propagación de las llamas y que los sensores colocados en profundidad no llegan a alcanzar temperaturas superiores a los 250 °C. Lo que se observó en el



Figura 19: Estado superficial de la mezcla bituminosa: antes del ensayo (izq.), después del ensayo de fuego, blanco (medio) y mezcla aditivada (dcha.)

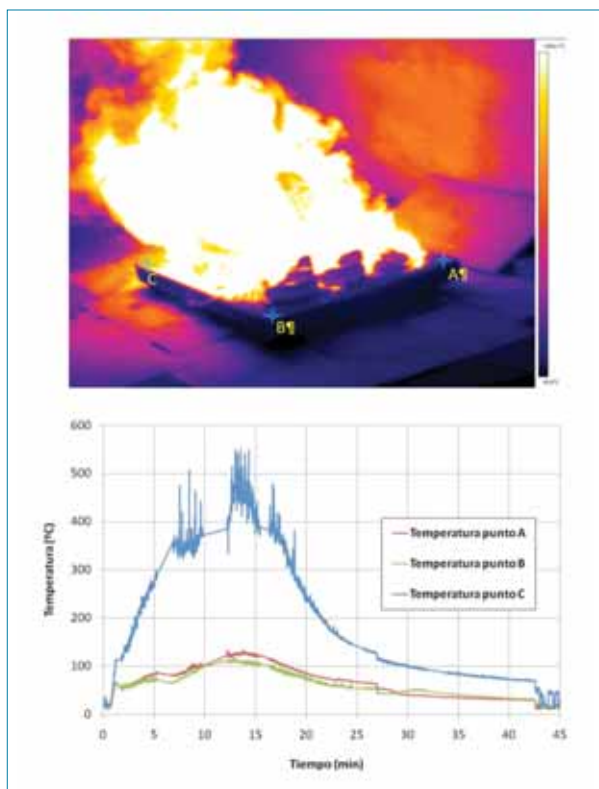


Figura 20a: Evolución de la temperatura superficial con cámara termográfica de la mezcla bituminosa AC16S aditivada con el 1,0% (placa más cercana a la pared) y hormigón (placa más alejada de la pared).

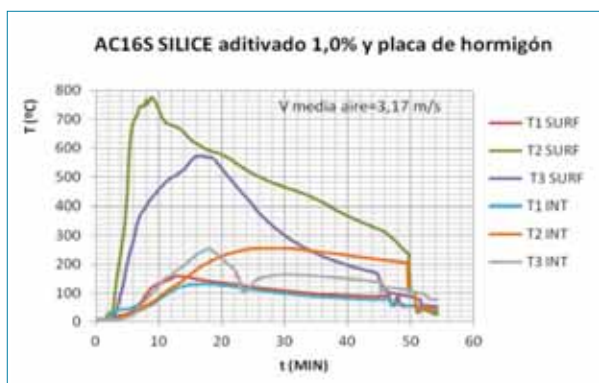


Figura 20b: Evolución de la temperatura superficial y en profundidad de la mezcla aditivada con el 1,0% y la placa de hormigón con los sensores de temperaturas ubicados en la placa de mezcla bituminosa según el esquema de la Figura 13.

ensayo fue proyecciones de pequeñas partículas de hormigón debido a la humedad interna del mismo, lo cual complicaría sustancialmente las labores de extinción del fuego.

En la Figura 21 se muestran unas fotografías del estado del hormigón y de la mezcla asfáltica después del ensayo. De nuevo el daño producido en la mezcla bituminosa es a nivel



Figura 21: Estado superficial de la mezcla bituminosa después del ensayo de fuego, mezcla aditivada (izq.) y placa de hormigón (dcha.)

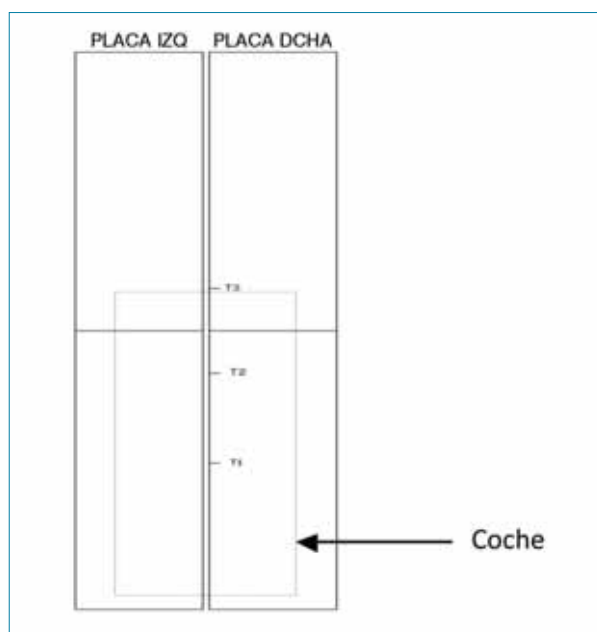


Figura 22: Esquema de la colocación de las placas de mezcla bituminosa, el coche y los sensores de temperatura.

superficial, no pudiendo decir lo mismo para el caso de la placa de hormigón ensayada.

4.5 Resultados de los ensayos realizados con carga de fuego: automóvil

La última prueba realizada consistió en la quema de un automóvil colocado sobre cuatro placas de mezcla bituminosa de 1,2 x 4 m con un porcentaje de aditivo retardante de 1,4 % cada una (véase esquema de la Figura 22). En este caso la carga de fuego estimada es de 0,5-0,8 MW/m².

Los sensores colocados en las placas de mezcla bituminosa detectaron durante la quema del coche los valores representados en la Figura 23. Como se puede ver la temperatura

Comportamiento al fuego de mezclas bituminosas a escala real: Proyecto Pavirex

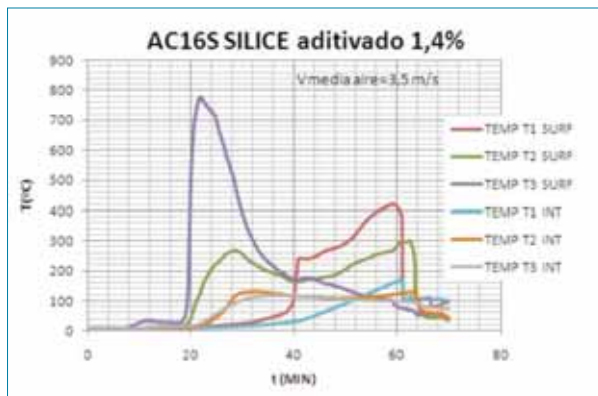


Figura 23: Sensores de temperatura en las placas de mezcla bituminosa o según la disposición de la Figura 22 en el ensayo con incendio de un coche.

máxima (casi 800 °C) se alcanza en el sensor T3 en superficie, aunque después la temperatura de este sensor baja muy bruscamente hasta unos 150 °C. Esto se debe a que el sensor T3 se encontraba colocado junto a la zona delantera del coche, cuyos neumáticos fueron los primeros en empezar a arder e incluso a explotar. El resto de sensores evolucionan de forma diferente entre sí a medida que se va quemando

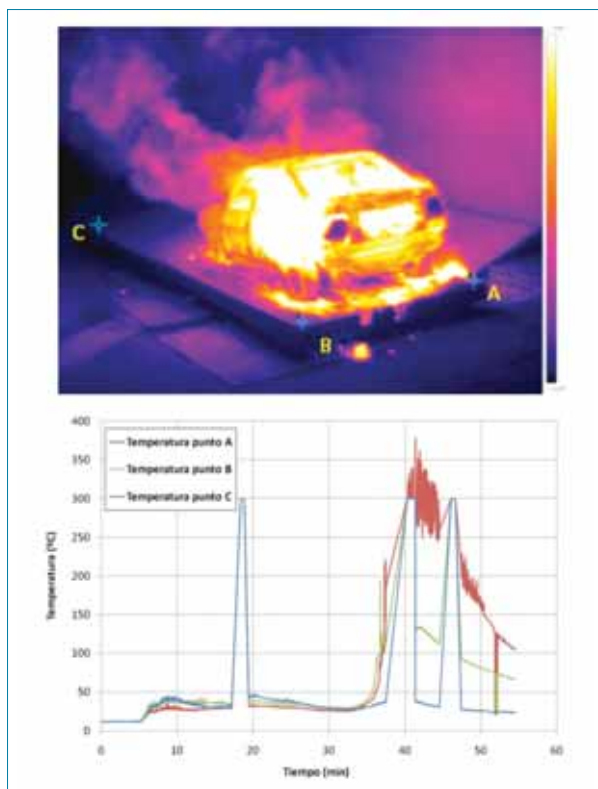


Figura 24:- Evolución de la temperatura superficial de la mezcla bituminosa AC16S aditivada con el 1,4% en el ensayo con incendio de un coche.

todo el coche, aunque sin alcanzar en ningún caso temperaturas tan altas como al principio.

En cuanto a las temperaturas registradas en los puntos de control de la cámara termográfica (Figura 24), en éstas puede observarse como inicialmente, todos presentan valores bajos, de menos de 50 °C, y solo el punto C tiene un pico en un determinado momento, debido seguramente a la caída cerca del mismo de algún trozo de material ardiendo. A partir de los 35 minutos de ensayo, tanto el punto A como el B presentan temperaturas de hasta 350 °C, mientras que el punto C presenta algún pico aislado de esta temperatura (se supone que por el mismo motivo antes comentado).

En la Figura 25 se muestran unas fotografías del estado de firme una vez realizado el ensayo. Como se puede observar de nuevo, el daño es superficial y además no se aprecia ningún hundimiento en la mezcla bituminosa debido al peso del vehículo.

5. Conclusiones

Tras la realización de todas las pruebas descritas, se pueden obtener una serie de conclusiones importantes en lo que se refiere a la interacción fuego-mezcla bituminosa:

- En cuanto a la opacidad de los humos medida en laboratorio, se puede concluir que la muestra sin retardante a tiempos bajos (a los 4 min de combustión) es la mezcla que emite menor cantidad de humos durante la combustión (menor valor de D_{s4min}) y la adición de retardantes tipo fosfinato estudiados inciden negativamente en este aspecto a tiempos bajos. Por el contrario, la mezclas con un 0,7% y 1,4% de retardante presentan un valor menor de densidad óptica máxima (D_{smax}), es decir, emiten menor cantidad de humos a partir de los 10 min de combustión.
- Aunque ninguna de las formulaciones alcanza un valor de Índice Convencional de Toxicidad, CITg, igual a uno (indicando peligrosidad), es la fórmula de referencia (sin llama) y la que contiene un 1% de retardante (con llama) las que presentan un peor comportamiento a tiempos largos de ensayo (20 minutos). Siendo los valores de CITg, así como las diferencias existentes entre las formulaciones muy pequeñas a tiempos cortos (4 y 8 minutos).
- Cuando a nivel de laboratorio se han realizado los ensayos con soplete con potencia de fuego de hasta 0,8



Figura 25:- Estado del firme superficial de la mezcla bituminosa AC16S aditivada con el 1,4% después del ensayo con incendio de un coche.

MW/m², se han alcanzado temperaturas de hasta 900 °C y en ningún caso se ha observado que la mezcla bituminosa llegue a incendiarse y mucho menos que el fuego se propague por ella, independientemente de la cantidad de aditivo en la mezcla ensayada.

- Finalmente, resulta sorprendente comprobar que se alcanzan mayores temperaturas de fuego en el laboratorio aún con cargas de fuego inferiores que en los ensayos piloto realizados en TST quemando pallets, neumáticos y un coche. Esto es debido a que las condiciones ambientales y externas son diferentes. En laboratorio se tiene una llama directa durante varias horas (hasta 8 horas) lo que facilita que toda la muestra de la mezcla bituminosa, y por extensión sus sensores, alcancen una temperatura estable. Sin embargo, en el ensayo del coche, la potencia de fuego no está igualmente repartida en toda la superficie, ni del coche ni en la placa de mezcla bituminosa, y además tampoco se puede mantener a lo largo del tiempo, lo que hace que las temperaturas en los sensores y su efecto en la mezcla bituminosa no sea estable.
- De nuevo en estos ensayos se comprueba que no existe en ningún caso una propagación del fuego tras el incendio a través de la mezcla bituminosa, únicamente se puede decir que la mezcla en función de su contenido en aditivo sufre una serie de transformaciones que van degradándolo superficialmente. Así mismo, no se ha detectado ningún hundimiento en la mezcla bituminosa a consecuencia de la carga, como puede ser el propio vehículo incendiado.

6. Agradecimientos

Proyecto financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad MINECO, así como por el Fondo Europeo de Des-

arrollo Regional, FEDER. Convocatoria INNPACTO (IPT-2011-1380-370000).

7. Referencias bibliográficas

- (1) Norma ISO 5660-1: 2002. Reaction to fire tests-Heat release, smoke production and mass loss rate. Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)
- (2) "New bituminous mastics for pavements with improved fire performance" M. Barral, P.Garmendia, M.E. Muñoz, Z.Palmillas, R. Romera, A.Santamaría, S.Villanueva. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS 30, 650-656 (2012)]
- (3) Investigation into the properties of asphalt mixtures containing magnesium hydroxide flame retardant" T.Xu, X.Huang, Y.Zhao. FIRE SAFETY JOURNAL 46,330-334 (2011)]
- (4) "Flammability and rheological behavior of mixed flame retardant modified asphalt binder" S.Wu, L.Mo, P.Cong, J.Yu, X Luo. FUEL 87, 120-124 (2008)]
- (5) "Las Euroclases: Clasificación de la reacción al fuego de mezclas bituminosas" M.Barral, R.Romera, C.Lorenzo, P.Garmendia, I.Martínez, M.E. Muñoz, A. Santamaría. OBRAS URBANAS p. 94 Febrero 2010]
- (6) Norma ISO 554:1976 Standard atmospheres for conditioning and/or testing – Specifications.

Productos
avalados por la
experiencia.
Cumplen con
los nuevos
requisitos de
Art.542 y 543
según la Orden
FOM/2523/2014

Biotecnología

Especialistas en productos químicos y mejoras tecnológicas para la industria asfáltica global, con dedicación exclusiva y asesoramiento personalizado.

Comprometidos con la química verde, ofrecemos desde 2012 en España (2007 en Europa), productos de base vegetal que sustituyen al Gasoil como tratamiento antiadherente en las aplicaciones asfálticas: riego de camiones, extendedoras, palas y rastrillos, silos de transferencia...

Innovadores productos que fomentan la **sostenibilidad medioambiental** y protegen la **salud de los trabajadores** (toxicológicamente aprobados).

- BIO 3010:** Antiadherente y limpiador para mezclas bituminosas
- BIO 3100:** Limpiador para mezclas bituminosas
- BIO 5100:** Antiadherente para mezclas bituminosas

Propiedades

- Ésteres vegetales de nueva generación
- Libres de solventes y COV
- Utilización salubre y segura
- 100% Biodegradables
- Olor vegetal
- Mejoras en ISO 14001
- Ahorro económico desde la primera aplicación



Grupo
Campi y Jové, S.A.



La revisión del PG-3. Implicaciones para el sector de las mezclas bituminosas

José Luis Peña, jlpena@asefma.com.es
Asefma

1. Introducción

El pasado día 3 de enero de 2015 se publicó en el Boletín Oficial del Estado la Orden FOM/2523/2014 de fecha 12 de diciembre por la que modifican determinados artículos del PG-3 [1].

En este trabajo se van a analizar las principales novedades en relación a anteriores revisiones. En el caso de las mezclas bituminosas, dicha revisión tuvo lugar mediante la Orden Circular 24/2008, coincidiendo con la entrada en vigor del marcado CE para las mezclas bituminosas.

En la revisión de 2014, además de las mezclas asfálticas se han realizado modificaciones en los artículos de ligantes bituminosos (betunes, betunes modificados con polímeros y emulsiones), riegos auxiliares (imprimación, adherencia y de curado), así como en el de microaglomerados en frío.

De forma general, las principales modificaciones inciden en facilitar la sostenibilidad medioambiental de las mezclas bituminosas, incorporando en el pliego las mezclas semicalientes o aumentando las cantidades de fresado que se pueden utilizar en las mezclas bituminosas. Sobre este último punto, hay que destacar que el material reciclado adquiere categoría de materia prima al hablarse, por ejemplo, de "áridos procedentes de mezclas bituminosas". Igualmente hay tener en cuenta las limitaciones adicionales que impone la norma 6.3 IC [2] en cuanto al uso de materiales reciclados en función del tipo de tráfico y la posición en el firme de las mezclas bituminosas. Dichas limitaciones, sin embargo, no están explicitadas en la norma 6.1 IC [3].

2. Revisión de las principales novedades

Las modificaciones introducidas en esta revisión de los artículos 542 (Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso)

y 543 (Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas) del PG-3 alcanzan a muchos aspectos: nuevos ensayos, inclusión de nuevas tecnologías de fabricación de mezclas bituminosas, especificaciones de materiales y de productos finales, control de calidad etc.

Para mantener un hilo conductor, tras unas consideraciones generales sobre las principales novedades, se utilizará la estructura de los diversos apartados incluidos en los artículos 542 y 543, tratando ambos artículos en paralelo dada la similitud de las temáticas contenidas en ambos.

Ya se ha citado antes que las principales modificaciones o novedades proceden de la toma en consideración de la sostenibilidad económica y medioambiental como elemento dinamizador de la tecnología.

Exceptuando las Recomendaciones para la redacción de pliegos de especificaciones técnicas para el uso de mezclas bituminosas a bajas temperaturas, elaboradas por la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía, es la primera vez que en la normativa española se contempla de tecnologías de fabricación de mezclas bituminosas a temperaturas inferiores a las habitualmente utilizadas en las mezclas en caliente. Así en las definiciones se recoge lo siguiente:

"En función de la temperatura necesaria para su fabricación y puesta en obra las mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso se clasifican en calientes y semicalientes. En estas últimas, el empleo de betunes especiales, aditivos u otros procedimientos, permite disminuir la temperatura mínima de mezclado en al menos cuarenta grados Celsius (40 °C) respecto a la mezcla equivalente, pudiendo emplearse en las mismas condiciones y capas que aquéllas en las categorías de tráfico pesado T1 a T4".

Es importante complementar esta definición de mezclas semicalientes con los nuevos límites impuestos a las temperaturas de fabricación de las mezclas en caliente, que salvo en las excepciones indicadas, será de 165°C.

La revisión del PG-3. Implicaciones para el sector de las mezclas bituminosas

La relevancia que las mezclas semicalientes están adquiriendo en el mercado tiene como máximo exponente el caso de EEUU, donde cerca de un tercio de las toneladas fabricadas de mezclas asfálticas se producen con tecnologías de fabricación a baja temperatura.

El segundo elemento relevante en cuanto a consideraciones medioambientales, aunque también las tiene desde un punto de vista económico, es la ampliación de las cantidades potencialmente utilizables de fresado dentro de las mezclas bituminosas tipo AC. Así, salvo las consideraciones especiales de las mezclas de alto módulo, se distinguen tres rangos en los porcentajes de uso del fresado para capas de base e intermedias:

- Inferior al 15%
- Del 15 al 60%
- Superior al 60%

En el primer caso, el uso del fresado se ha de realizar atendiendo a las indicaciones de los apartados relativos a la central de fabricación y de fabricación de la mezcla. En el segundo nos remite al artículo 22 del PG-4 [4] y el tercero está reservado a casos especiales que requieren la autorización expresa de la Dirección General de Carreteras. Así, la limitación general existente del 10% (para el uso de áridos procedentes de fresado) de la versión antigua queda ampliada hasta el 15%, incluyendo el caso de las mezclas de alto módulo.

Un punto interesante, en relación al tratamiento del fresado, es la exigencia de clasificarlo en al menos dos fracciones, lo que permite un mejor control de la dosificación del ligante, como ya se puso de manifiesto en la publicación de Valdés et al [5].

Una última consideración medioambiental es la exigencia del uso de tratamientos antiadherentes en las cajas de los camiones de transporte y que no sean productos derivados de la destilación del petróleo.

A continuación, se procederá a revisar las modificaciones existentes en los artículos 542 y 543 respecto a la versión derogada (2008). Con el fin de no generar reiteración en los puntos tratados, se revisarán en paralelo ambos artículos.

2.1 Ligantes

Ya se ha indicado anteriormente, que esta revisión del PG-3 ha incluido también cambios en los artículos relativos a los li-

gantes. En relación a su empleo en mezclas bituminosas, han desaparecido del texto las antiguas denominaciones de los ligantes, quedando ahora tan solo la nomenclatura indicada en las normas UNE EN correspondientes. Ha habido modificaciones en el uso de algunos tipos de ligantes en función de la zona climática, tráfico y posición en el firme.

También hay que indicar que el en caso de ligantes para capas de alto módulo, se ha generado una distinción dependiendo de la posición en la capa (Tabla 542.1.c).

Tabla 542.1.C: Tipo de ligante hidrocarbonado a emplear en mezclas de alto módulo (Artículos 211 y 212 de este Pliego).

Tipo de capa	Categoría de tráfico pesado			
	T00	T0	T1	T2
Intermedia	PMB 10/40-70		15/25	
Base	15/25			

También es destacable la posibilidad del uso de ligantes multigrado, cuyas tipologías ya se recogen en el artículo 211 del PG-3.

En el caso del artículo 543, se han eliminado como ligantes los antiguos betunes modificados con polímero tipo BM-3a.

2.2 Áridos

Las novedades más relevantes aparecidas en esta sección son:

- Cambia el criterio de determinación del equivalente de arena (SE4 del árido (Anexo A – UNE-EN 933-8, usándose la fracción 0/4 mm de árido combinado en lugar de la 0/2mm).
- El ensayo de azul de metileno (Anexo A - UNE-EN 933-9, para la fracción 0/0,125 del árido combinado; tiene un nuevo límite de 7 g/kg en lugar de los 10 g/kg anteriormente exigidos).
- Las especificaciones individuales y combinadas de los ensayos antes referidos quedan como sigue:

$$SE4 > 55$$

o

$$MBF < 7 \text{ g/kg y } SE4 > 45$$

- El árido grueso para capas de rodadura, en caso de tener diversas procedencias, cada una de ellas debe cumplir lo especificado en el epígrafe 542.2.3.2.
- Desaparece la posibilidad de usar el método de ensayo UNE 146130 para determinar el contenido de impurezas del árido grueso.
- También para áridos gruesos de capas de rodadura, es novedad la limitación en el porcentaje de partículas meteorizadas ($< 5\%$) y en el caso de carreteras sometidas durante el invierno a heladas y frecuentes tratamientos de vialidad invernal, si el valor de la absorción (norma UNE-EN 1097-6) es superior al uno por ciento ($> 1\%$), el valor del ensayo de sulfato de magnesio (norma UNE-EN 1367-2) deberá ser inferior al quince por ciento ($MS < 15\%$).
- En los áridos finos aparecen dos nuevos requerimientos: en el caso del artículo 542, para capas de rodadura, la fracción 0/2 mm no podrá tener un porcentaje retenido en el tamiz 2 mm superior al 10%, si dicho árido es de diferente origen al árido grueso y no cumple las exigencias del epígrafe 542.3.2. Un criterio similar aparece en el artículo 543, pero en este caso la limitación del 10% se debe a que se quiere facilitar la consecución de la discontinuidad típica de este tipo de mezclas.
- La angulosidad del árido grueso (artículo 542, UNE-EN 933-5) para tráfico T3 y arcenes, en capase de base debe ser ≥ 70 . En el caso de las mezclas discontinuas, para tráfico T4, el valor queda igualmente en ≥ 70 .

2.3 Tipo y composición de la mezcla

En este apartado no hay apenas novedades, pudiéndose reseñar las siguientes:

- El huso para las mezclas de alto módulo en el tamiz 0,063 mm queda definido por el rango 5-8%.
- El contenido de ligante mínimo en mezclas AC densas y semidensas en capas de base queda establecido en el 4%.

2.4 Ejecución de la obras

A nivel de maquinaria, desaparece del artículo 543 la obligatoriedad en grandes obras de usar extendedoras con rampas de riego integradas. También ha desaparecido de dicho artículo

la posibilidad de uso de planchas o rodillos vibrantes para compactar las zonas poco accesibles.

En cuanto a la fórmula de trabajo, desaparece la densidad mínima y se incluye un valor mínimo de 130°C en la temperatura de descarga desde los elementos de transporte para las mezclas AC. Ya existía un valor mínimo de 135°C para las mezclas discontinuas y drenantes que se conserva.

El contratista está obligado a entregar a la Dirección de Obra la siguiente información sobre las características de las mezclas:

Mezclas AC:

- Contenido de huecos (epígrafe 542.5.1.2.), y densidad aparente asociada a ese valor.
- Resistencia a la deformación permanente (epígrafe 542.5.1.3.).
- Sensibilidad al agua (epígrafe 542.5.1.4.).
- Adicionalmente, en el caso de mezclas de alto módulo, valor del módulo dinámico y de la resistencia a fatiga (epígrafe 542.5.1.5.).

Mezclas discontinuas y drenantes:

- Contenido de huecos (epígrafe 543.5.1.2.) y densidad aparente asociada a ese valor.
- Resistencia a la deformación permanente, en el caso de mezclas discontinuas, cuando lo exija el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras (epígrafe 543.5.1.3.).
- Sensibilidad al agua (epígrafe 543.5.1.4.).
- Pérdida de partículas, en el caso de mezclas drenantes (epígrafe 543.5.1.5.).
- Ecurrimiento del ligante, en el caso de mezclas drenantes mediante el método de la cesta (epígrafe 543.5.1.6.).
- Cuando lo exija el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto el Director de las Obras, escurrimiento del ligante, en mezclas discontinuas tipo BBTM B (epígrafe 543.5.1.6.).

Además, y para todos los tipos de mezclas, el suministrador del ligante deberá indicar la temperatura de referencia para la compactación de las probetas y para la fabricación, extendido y compactación de la mezcla.

La revisión del PG-3. Implicaciones para el sector de las mezclas bituminosas

Tabla 542.12: Contenido de huecos en mezcla (Norma UNE-EN 12697-8) en probetas (Norma UNE-EN 12697-30, 75 golpes por cara).

Característica		Categoría de tráfico pesado			
		T00 y T0	T1 y T2	T3 y arcenes	T4
Huecos en mezcla (%)	Capa de rodadura	4-6		3-6	
	Capa intermedia	4-6	4-7	4-7	4-7
	Capa de base	4-7	4-8	4-8	

Tabla 543.10: Contenido de huecos en mezcla en probetas. (Norma UNE-EN 12697-30, 50 golpes por cara).

Tipo de mezcla	% de huecos (Norma UNE-EN 12697-8)
BBTM A	≥ 4
BBTM B	≥ 12 y ≤ 18
Drenante (PA)	≥ 20

Una novedad relevante es la introducción del compactador giratorio (UNE EN 12697-31) como equipo para la preparación de probetas. Su uso está indicado en dos casos: mezclas con tamaños nominales de árido superior a 22 mm o en el caso de mezclas semicalientes. Los epígrafes 542.5.1.2 y 543.5.1.2 especifican las condiciones de uso del compactador giratorio. El uso de este tipo de compactador se requiere para preparar probetas en el ensayo de sensibilidad al agua si el tamaño nominal del árido es superior a 22 mm.

En el artículo 543, al referirse al ensayo de sensibilidad al agua (epígrafe 543.5.1.4) se definen las especificaciones y la

forma de preparación de las probetas, pero no se indica qué hacer en el caso de mezclas semicalientes.

En cuanto a las especificaciones de huecos, se han producido bastantes cambios en las mezclas AC y uno en las mezclas BBTM B, los cuales se pueden ver en las tablas 542.12 y 543.10

En el ensayo de deformación permanente, desaparece la diferenciación que había al preparar las placas (UNE EN 12697-33) en función del tamaño nominal del árido.

También referido al ensayo de deformación permanente, se han incluido especificaciones complementarias a la pendiente media, usando como criterio la profundidad media (Tabla 542.13.a).

En el epígrafe relativo a la fabricación de la mezcla del artículo 542 se detallan algunos elementos que debe tener la planta de fabricación para poder fabricar mezclas con un contenido de fresado superior al 15%.

En la ejecución de la extensión se recomienda no realizar juntas longitudinales en el caso de las mezclas drenantes.

En el tramo de prueba de permite el uso alternativo de texturómetros laser, previa determinación de su equivalencia con

Tabla 542.13a: Pendiente media de deformación en pista (WTS_{aire}) y profundidad media (expresado en %) de la rodera (PRD_{aire}) en el intervalo de 5.000 a 10.000 ciclos para capas de rodadura e intermedia. Norma UNE-EN 12697-22 (mm para 10³ ciclos de carga) *

Zona térmica estival	Categoría de tráfico pesado				
	T00 y T0	T1	T2	T3 y arcenes	T4
Cálida	≤ 0,07		≤ 0,07 **	≤ 0,10 **	
Media	≤ 0,07	≤ 0,07 **	≤ 0,10 **	≤ 0,15	
Templada	≤ 0,10	≤ 0,10 ***			

* En mezclas bituminosas de alto módulo en capa intermedia la pendiente media de deformación en pista será inferior a 0,07.

** Podrán aceptarse valores superiores al indicado si, simultáneamente, se cumple que WTS_{aire} ≤ 0,10 y PRD_{aire} < 5%.

*** Podrán aceptarse valores superiores al indicado si, simultáneamente, se cumple que WTS_{aire} ≤ 0,15 y PRD_{aire} < 5%.



Figura 1. Texturómetro laser portátil. Fuente AMES Engineering.

el método del círculo de arena. Esta modificación puede ayudar a agilizar las tareas de control de calidad, ya que existen equipos portátiles que permiten realizar esta tarea (Figura 1).

2.5 Tramo de prueba

La modificación incorporada afecta a:

- La anchura extendida, que se debe controlar en perfiles transversales cada 20 m.

2.6 Limitaciones en la ejecución

El único cambio introducido afecta a la temperatura superficial que deben tener las capas ejecutadas, introduciendo

el límite de 60°C para capas de espesor ≤ 10 cm, para las mezclas AC.

2.7 Control de calidad

Las variaciones introducidas en los artículos 542 y 543 son las siguientes:

- Se indica que los áridos deben tener marcado CE a no ser que se fabriquen en el propio lugar de construcción.
- En materiales sin marcado CE, se debe determinar para las mezclas AC (al menos una vez al mes o si cambia la procedencia el árido) la absorción del árido grueso y del árido fino (norma UNE-EN 1097-6).
- Se exige que la humedad de la mezcla a la salida del mezclador sea inferior al 0,5% excepto en mezclas semiclientes en las que puede llegar hasta el 1,5%.
- Las frecuencias mínimas de ensayo se modifican, quedando clasificadas según el tipo de tráfico al que vaya destinada la mezcla bituminosa y su posición en el firme (Tablas 542.16 y 543.14):
- Desaparecen las frecuencias de muestreo en función del nivel de conformidad para los ensayos de deformación permanente y módulo de rigidez.
- En el caso de mezclas sin marcado CE, para tráficos T00 a T31, se debe realizar, al menos una vez al mes, el ensayo de resistencia conservada a la tracción indirecta (UNE EN 12697-12). En el caso de mezclas drenantes se espe-

Tabla 542.16: Frecuencia mínima de ensayo para determinación de granulometría de áridos extraídos y contenido de ligante (toneladas / ensayo).

Categoría de tráfico pesado	Tipo de capa	Nivel de control	NCF A	NCF B	NCF C
T00 a T2	Rodadura e intermedia	X	600	300	150
	Base	Y	1.000	500	250
T3 a T4	Base	Y	1.000	500	250

Tabla 543.14: Frecuencia mínima de ensayo para determinación de granulometría de áridos extraídos y contenido de ligante (toneladas / ensayo).

Categoría de tráfico pesado	Nivel de control	NCF A	NCF B	NCF C
T00 a T2	X	600	300	150
T3 a T4	Y	1.000	500	250

La revisión del PG-3. Implicaciones para el sector de las mezclas bituminosas

cifica que el método para hacer el ensayo de escurrimiento (UNE EN 12697-17) será el de la cesta.

- Se explicita que se debe tener cuidado al preparar probetas de laboratorio en utilizar la temperatura indicada en la fórmula de trabajo para tal fin.

2.8 Control de recepción de la unidad terminada

Una de las principales novedades en la modificación del PG-3 es la incorporación del ensayo de adherencia entre capas (NLT-382). El artículo 531 (riegos de adherencia) indica textualmente:

"La adherencia entre dos capas de mezcla bituminosa, o entre una de mezcla bituminosa y una de material tratado con conglomerante hidráulico, evaluada en testigos cilíndricos mediante ensayo de corte (norma NLT-382), será superior o igual a seis décimas de megapascal ($\geq 0,6$ MPa), cuando una de las capas sea de rodadura, o a cuatro décimas de megapascal ($\geq 0,4$ MPa) en los demás casos".

Para la realización del ensayo existen dos dispositivos alternativos (Figuras 2 y 3).

Otras modificaciones en el texto del PG-3 referidas al apartado de control de recepción son:



Figura 2. Dispositivo A -NLT-382 (Fuente París et al [6]).



Figura 3. Dispositivo B -NLT-382 (Fuente París et al [6]).

- La aplicación de las prescripciones del IRI si se realiza la medición del perfil en más de una rodada.
- La posibilidad de usar el texturómetro laser si se ha verificado su equivalencia con el método volumétrico.
- Las mediciones del CRT (UNE 41201 IN) se deben llevar a cabo antes de la puesta en servicio y si no cumple al mes de la misma, en lugar de los dos meses que había anteriormente.

2.9 Criterios de aceptación y rechazo

Se han producido numerosos cambios que afectan a los aspectos: las penalizaciones en caso de incumplimiento y en el número de muestras que pueden estar fuera de especificaciones. Estos cambios afectan tanto al artículo 542 como al 543.

2.10 Medición y abono

En el artículo 543 se ha incluido como criterio adicional de abono el siguiente:

"El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares podrá establecer, también, el abono por toneladas (t), obtenidas multiplicando las dimensiones señaladas para la capa en los Planos del Proyecto por los espesores y densidades medios deducidos de los ensayos de control de cada lote".

3. Conclusiones

Las principales modificaciones del PG-3 referidas a los artículos de mezclas asfálticas vienen de la mano de los avances tecnológicos impulsados por criterios de sostenibilidad medioambiental y económica. Así, la introducción de las mezclas semicalientes en las tipologías de mezclas, la potenciación del uso del fresado o el uso de sistemas antiadherentes de menor impacto ambiental son claros exponentes de esta orientación. El uso de este tipo de mezclas ha propiciado también la inclusión del compactador giratorio (UNE EN 12697-31) como método alternativo para la preparación de probetas.

Además de los cambios citados, se han eliminado, añadido o cambiado numerosos epígrafes del texto anteriormente en vigor. Desde un punto de vista de ensayos de caracterización de propiedades finales del pavimento, podría destacarse la inclusión de la medida de la macrotextura mediante texturómetros laser y la caracterización de la adherencia entre capas del pavimento mediante el ensayo descrito en la norma NLT-382.

Referencias bibliográficas

- (1) Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3)
- (2) Norma 6.3 IC: rehabilitación de firmes, de la Instrucción de carreteras (BOE de 12 DE diciembre de 2003).
- (3) Norma 6.3 IC: secciones de firmes, de la Instrucción de carreteras (BOE de 12 DE diciembre de 2003).
- (4) Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Conservación Carreteras (PG-4)
- (5) Valdés, G., Martínez, A., Pérez Jiménez, F. (2008): "Estudio de la variabilidad del material asfáltico reciclable (RAP) y su influencia en las mezclas asfálticas recicladas fabricadas con altas tasas". IX Congreso internacional Provial. Puerto Varas (Chile), 3-7 de noviembre de 2008, pp. 85-102.
- (6) París, A., Ortiz, J., del Val, M.A.: "Análisis del comportamiento de un firme reciclado en central en caliente con alta tasa tras un año en servicio".

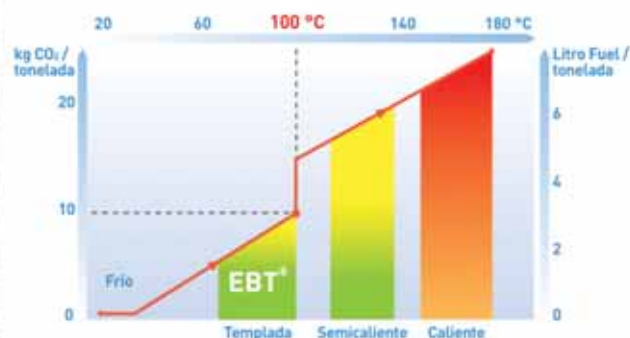
#15

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

**“La reutilización de RAP en mezclas asfálticas de baja temperatura maximiza la sostenibilidad del viario urbano”
(Artículo Rodaduras urbanas sostenibles; número 15)**

#SOSTENIBILIDAD_Y_MEDIO_AMBIENTE

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



Mezclas Templadas con Betún, una nueva generación de mezclas asfálticas

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

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

Premio Mundial AIPCR 2007
del desarrollo sostenible

www.infraestructuras.eiffage.es

EIFFAGE
INFRAESTRUCTURAS

RUS
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS

TRIALSA
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS

PANASFALTO
EIFFAGE INFRAESTRUCTURAS

LOS SERRANOS

Los cambios normativos en el nuevo PG-3

Lucía Miranda Pérez,
lucia.miranda@composanindustrial.com
Composan

La nueva revisión y aprobación del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales, incluye entre otros, la revisión de los artículos relacionados con el empleo de materiales bituminosos tanto en lo que respecta a las materias primas; betunes y emulsiones, como la aplicación en frío (como riego o mezclas) y en caliente, describiendo las características correspondientes en los siguientes artículos:

- Artículo 211: Betunes asfálticos
- Artículo 212: Betunes modificados con polímeros
- Artículo 214: Emulsiones bituminosas
- Artículo 530: Riegos de imprimación
- Artículo 531: Riegos de adherencia
- Artículo 532: Riegos de curado
- Artículo 540: Microaglomerados en frío
- Artículo 542: Mezclas bituminosas tipo hormigón bituminoso
- Artículo 543: Mezclas bituminosas para capas de rodadura. Mezclas drenantes y discontinuas

En cada uno de ellos se ha procedido a actualizar la información, ya recopilada en las Ordenes Circulares OC28/2008 y OC29/2011 publicadas tras la aparición del Mercado CE para las mezclas bituminosas en caliente y los microaglomerados en frío, así como las materias primas áridos, betunes y emulsiones, y la adaptación del nuevo Reglamento de productos de la construcción.

A continuación se señalan aquellos puntos o apartados que en el Pliego se han modificado o adicionado atendiendo a las normativas de ensayo o de producto.

Actualización según la Reglamentación

En el año 2011 se aprobó el Reglamento 305/2011 que sustituye a la Directiva 89/106/CEE de productos de la cons-

trucción. Los cambios incorporados en el PG-3 relacionados con este nuevo Reglamento han sido los siguientes:

- Se muestra el interés por preservar el medioambiente y mejorar las condiciones de los trabajadores.

Sobre este aspecto una de las cosas a destacar e incluidas en el Pliego, para el caso de los ligantes, es la necesidad de presentar, por parte de los fabricantes de materiales bituminosos, además de la documentación requerida para el Mercado CE, un documento que especifique que no se ha empleado en su fabricación, ningún tipo de material que contenga alquitrán, sustancias derivadas de productos carbonosos ni tampoco betunes oxidados.

- Sobre el Mercado CE indica que no será obligatorio en algunos supuestos según se describe en el artículo 5 del Reglamento. En concreto, para los materiales bituminosos de entre todos los supuestos descritos, destaca el punto 5b que dice:

"El fabricante podrá abstenerse de emitir una declaración de prestaciones, al introducir en el mercado un producto de construcción cubierto por una norma armonizada, cuando:

b) producto de construcción sea fabricado en el propio lugar de construcción para su incorporación en la correspondiente obra de construcción de acuerdo con las normas nacionales aplicables y bajo la responsabilidad de quien haya sido designado como responsable de la seguridad de la ejecución de la obra en virtud de las normas nacionales aplicables".

En el Pliego se recoge este supuesto indicando que se exigirá el Mercado CE para aquellos materiales que no se encuentren dentro de este supuesto, no obstante se definen una serie de controles y características que se deberán determinar sobre los mismos.

Los cambios normativos en el nuevo PG-3

Actualización según la normativa de ensayo y medición

En el Pliego se ha procedido también a la actualización de la normativa sustituyendo las normas NLT por las normas UNE en aquellos casos en los que existe una equivalente, o bien incorporando nuevas normas aparecidas tras el Mercado CE y las normas de ensayo que le acompaña. La salvedad a estas actualizaciones es el caso de la norma NLT-382.

Estas novedades se describen a continuación para los diferentes materiales y aplicaciones:

Betunes asfálticos y betunes modificados con polímeros

- Para los betunes asfálticos se hace referencia a dos normas, una de ellas describe las especificaciones para los betunes duros para pavimentación (Norma UNE EN 13924*) y como novedad se referencia la norma para los betunes multigrado (Norma UNE EN 13924-2). No obstante solo se incluyen las especificaciones para el caso de los betunes duros para pavimentación.

(*) La norma que aparece en el Pliego (UNE EN 13924-1) no es la correcta, ya que no se ha publicado como primera parte

- También se incluye la nomenclatura actualizada para los betunes asfálticos y modificados eliminando la denominación utilizada antes de la aparición del Mercado CE como si aparecía en la Orden Circular 29/2011.

Emulsiones bituminosas

Respecto a la Orden Circular 29/2011 donde ya se publicaron los requisitos para el Mercado CE, además se han incluido las siguientes modificaciones:

- Se ha actualizado toda la nomenclatura para las emulsiones a partir de la aprobación de la norma UNE EN 13808 publicada en el año 2013, así como su anexo publicado en 2014.

La revisión del anexo, en donde se han actualizado las características de las emulsiones a utilizar en España, afecta,

entre otras características, a la nomenclatura de las emulsiones en cuanto al número que indica la clase de comportamiento a rotura que en general, ha cambiado reduciendo un punto en su valor.

- En cuanto al control de calidad de las emulsiones, dentro de los ensayos a realizar en el momento de su empleo, se ha incorporado el de la determinación del tiempo de fluencia según la norma UNE EN 12896-1.

Riegos con emulsión

Se ha realizado la actualización de los artículos relacionados con el empleo de emulsiones para riego contemplando tres posibilidades: riegos de imprimación, riego de curado y riego de adherencia.

- Para cada una de las aplicaciones se ha incluido la actualización de la nueva nomenclatura de las emulsiones según la nueva norma y su anexo UNE EN 13808:2013 y UNE EN 13808/1M:2014.
- Se incorporan en el Pliego el empleo de las emulsiones termoadherentes
- En el caso de los riegos de adherencia, para el control de recepción de la unidad terminada, se evaluará la adherencia entre capas mediante el ensayo de corte según la norma NLT 382

Mezclas en frío y en caliente

Existen algunos puntos comunes a destacar tanto para las mezclas en frío como en caliente sobre las características de los áridos, en concreto:

- Para la determinación del contenido de impurezas del árido grueso, desaparece la norma indicada hasta el momento (UNE 146130) que se sustituye por la norma UNE EN 933-1 determinando la limpieza a partir del porcentaje que pasa por el tamiz 0.063 mm.
- En la determinación del azul de metileno por la norma UNE EN 933-9 para la fracción 0/0.125 g/kg, la especi-

cación ha cambiado de un valor de MBf < 10 g/kg a un valor de MBf < 7 g/kg. Indicar que la clasificación por categorías definidas en la norma UNE EN 13043 tabla 6, la primera categoría cuantificable es < 10 g/kg, la categoría anterior indica que no es necesaria la realización de los ensayos, por ello es importante tener en cuenta que en la declaración de prestaciones del Marcado CE de los áridos, se deberá especificar junto con la categoría, el valor inferior a 10 que cumpla con el criterio recogido en el Pliego.

Microaglomerados en frío

Ya en la Orden Circular 29/2011 se publicaron los requisitos para los microaglomerados en frío, según lo indicado en la norma UNE EN 12273, describiendo los ensayos a realizar para la validación de la fórmula de trabajo en el laboratorio, aplicando las normas UNE EN 12274, como para su evaluación una vez puesto en obra a través de la medida de las características superficiales mediante la macrotextura según lo descrito en la norma UNE EN 13036-1.

Mezclas en caliente

Hormigón bituminoso, mezclas drenantes y discontinuas

Para este tipo de mezclas destacar la posibilidad de poder fabricar mezclas a menor temperatura actuando de esta forma en la corriente medioambiental y de mejora de las condiciones de trabajo recogida por el Reglamento de Productos de la Construcción. Además de esto destacan algunos puntos que han sido modificados o incorporados como nuevos, entre los que se encuentran:

- Se deberá comprobar el comportamiento de los áridos utilizados en capa de rodadura frente a las heladas con la determinación de las propiedades térmicas y de alteración de los áridos, a partir de la densidad de las partículas y absorción de agua por la norma UNE EN 1097-6 así como por el ensayo de sulfato de magnesio según la norma UNE EN 1367-2
- En cuanto a los ligantes se hace referencia a la norma UNE EN 13302 para la determinación de la viscosidad di-

námica del ligante necesaria a tener en cuenta para conocer la temperatura de mezclado de los betunes. Esta característica aparecía también en la Orden Circular 24/2008 pero no especificaba la metodología para su determinación.

- Dentro del Control de Calidad de las mezclas en la fabricación de las probetas cilíndricas para su caracterización se presenta la posibilidad de empleo de la compactadora giratoria, según la norma UNE EN 12697-31, para las mezclas con un tamaño de árido mayor de 22 mm, además de la compactación vibratoria según la norma UNE EN 12697-32.

También es posible el empleo de la compactación giratoria para las mezclas semicalientes. Se especifica la energía de compactación a aplicar para este tipo de mezclas.

- Siguiendo las directrices de los requisitos del nuevo Reglamento sobre la mejora medioambiental, en el proceso de producción el PG-3 indica que las plantas de fabricación recogerán los gases producidos durante el proceso de fabricación evitando sus emisiones a la atmósfera, teniendo en cuenta en todo momento lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental y de seguridad y salud.
- Para la comprobación de las características superficiales se incluye como novedad la posibilidad de realizar medidas y comprobaciones con un texturómetro láser que será validado con el ensayo de macrotextura según la norma UNE EN 13036-1. Estas medidas se realizarán primero en el tramo de prueba y si existe una correlación con el ensayo de macrotextura, se podrá utilizar la nueva metodología para el seguimiento y control del tramo de la obra. Para el seguimiento posterior del comportamiento frente al CRT se aplicará la norma UNE 41201 IN que sustituye a la norma NLT 336
- También para asegurar la adherencia entre capas se evaluará a través del ensayo de la norma NLT 382.

COLORFALT

El pigmento en gránulo líder en Europa



RETENMAIER IBÉRICA
S.L. Y CIA. S. COM.



Fibras diseñadas
por la naturaleza
Una compañía del grupo JRS

C/ Travesera de Gracia, 56, 2º2ª
08006 Barcelona
Tel: 933 262 880 • Fax: 933 262 897
www.jrsiberica.com • info@jrsiberica.com

www.sma-viatop.com

UNE-EN 12697-18:2006.

Ensayo de escurrimiento de ligante.

Método de la cesta

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

Javier Loma, jloma@ohl.es

Asfaltos y Construcciones ELSAN

1. Objeto y principio del ensayo

Este procedimiento de ensayo permite determinar el escurrimiento de ligante, partículas finas y aditivos, en las mezclas bituminosas BBTM de tipo B y PA con un contenido de finos bajo, no sirviendo para los tipos de mezclas BBTM de tipo A y SMA debido a su elevado contenido de finos y fibras. La pérdida de ligante y finos se produce a través de los orificios de la cesta tras estar durante 3 horas a la temperatura de ensayo.

2. Método operativo

Se puede realizar con muestra fabricada en laboratorio para evaluar el escurrimiento a una temperatura prefijada con uno o varios contenidos de ligante o tomando la muestra de planta según la norma UNE-EN 12697-27 para evaluar el escurrimiento durante el transporte a la obra.

El ensayo se realiza a la temperatura de fabricación establecida en la norma de ensayo UNE-EN 12697-35 de mezclado en función del tipo de betún empleado, aumentada en 25 °C para ligantes convencionales o aumentada en 15 °C para ligantes modificados. El peso del material a introducir en cada cesta son 1100 ± 1 gramo, para áridos cuya densidad esté comprendida entre 2,65 Mg/m³ y 2,75 Mg/m³, sino deberá corregirse según el peso específico del árido.

La mezcla, se deposita en cada cesta, en un número de 3 cestas por ensayo, debajo de cada una se coloca una bandeja con papel de aluminio de peso conocido y se introduce todo el conjunto en la estufa entre 3 horas y 3 horas y 15 minutos. Pasado este tiempo se retira y se pesan las bandejas

donde habrá escurrido el ligante, en caso de existir escurrimiento. Si la diferencia entre dos muestras excede un 0,5 % se repite el ensayo.

El cálculo del material escurrido se determina mediante la siguiente fórmula:

$$D = 100 \times \frac{(W_2 - W_1)}{1100 + B}$$

Donde:

- D = material escurrido, en %.
- W₁ = masa bandeja + papel en gramos
- W₂ = masa bandeja + papel con ligante escurrido en gramos
- B = masa de ligante contenido en la mezcla, en gramos

El resultado se expresa como el valor medio de dos determinaciones redondeado al 0,1 % más próximo.

3. Equipamiento

No es un ensayo que requiera un coste importante en equipamiento nuevo. Los principales equipos que se precisan suelen encontrarse en los laboratorios, como son: una estufa con sistema de ventilación forzada con una precisión de ± 2 °C, una balanza con aproximación a 0,1 gramos, cestas de ensayo (ver Figura 1 de la Norma) y pequeños accesorios.

4. Puntos críticos

No debe emplearse para ensayar mezclas con elevado contenido de mortero o fibras, como son las mezclas tipo SMA

UNE-EN 12697-18:2006. Ensayo de escurrimiento de ligante. Método de la cesta

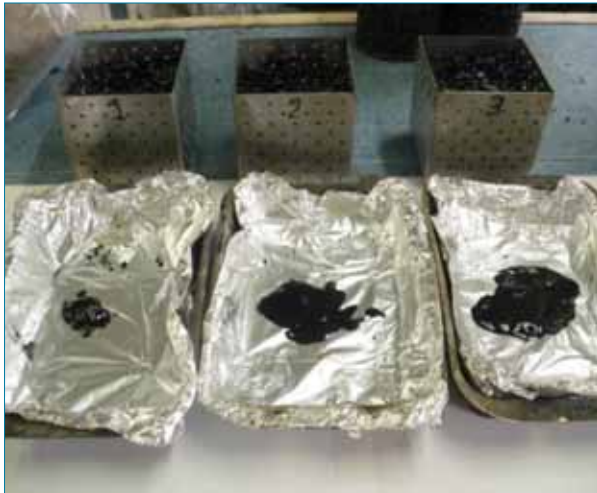


Figura 1.



Figura 2.

o BBTMA, debido a que el mortero puede provocar obstrucciones en los orificios de la cesta, reduciendo así el paso del ligante. Para este tipo de mezclas se recomienda emplear el procedimiento Schellenberg descrito en el capítulo 5 de esta norma de ensayo.

5. Comentarios

Es un ensayo sencillo que permite predecir el posible riesgo de separación del ligante de la mezcla en algunos tipos de mezclas durante el proceso de fabricación, transporte y extendido.

También es muy útil para valorar el efecto que pueden producir algunos tipos de áridos y aditivos en el escurrimiento de la mezcla.

6. Bibliografía

- UNE-EN 13108-2. Especificaciones de materiales. Mezclas tipo BBTM.
- UNE-EN 13108-5. Especificaciones de materiales. Mezclas tipo SMA.
- UNE-EN 13108-7. Especificaciones de materiales. Mezclas tipo PA.
- UNE-EN 12697-18. Ensayo de escurrimiento de ligante.
- UNE-EN 12697-27. Toma de muestras.
- UNE-EN 12697-35. Mezclado en laboratorio.

El ensayo de escurrimiento descrito en la norma UNE-EN 12697-18, tanto con el método de la cesta como para el método Schellenberg, permite predecir el riesgo de escurrimiento de ligante en una mezcla bituminosa durante el proceso de fabricación y transporte a la obra, así como permite cuantificar el efecto producido por diferentes tipos de aditivos y áridos finos.

#16

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

“Las mezclas asfálticas pueden colorearse con objetivos estéticos o funcionales diferenciando usos” (Publirreportaje Europigmentos)

#CONFORT_Y_SEGURIDAD

Últimas actualizaciones en legislación, normativa y otras disposiciones

En esta sección se listarán, con periodicidad trimestral, la actualización de la legislación y otras disposiciones así como las normas UNE EN y los proyectos de normas, que se vayan publicando para diferentes materiales y comportamiento relacionados con las mezclas bituminosas. En esta entrega se recoge el listado de normas que se encuentran como proyecto de norma así como las publicadas en el periodo desde el 17 de diciembre de 2014 hasta el 28 de febrero de 2015.

Sección Normativa

NORMAS DE ÁRIDOS

Proyecto norma	Título
PNE-EN 933-8:2012/FprA1	Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 8: Evaluación de los finos. Ensayo del equivalente de arena
PNE-EN 1097-10	Ensayos para determinar las propiedades mecánicas y físicas de los áridos. Parte 10: Determinación de la altura de succión de agua
PNE-EN 1367-7	Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 7: Determinación de la resistencia a ciclos de hielo y deshielo de los áridos ligeros
PNE-EN 1367-8	Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los áridos. Parte 8: Determinación de la resistencia a la desintegración de los áridos ligeros
PNE-prEN 13055	Áridos ligeros para hormigones, mortero, inyecciones, mezclas bituminosas, tratamientos superficiales y aplicaciones en capas tratadas y no tratadas

NORMAS DE LIGANTES BITUMINOSOS

Norma	Título	Anula
UNE-EN 12697-2:2015	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la resistencia al endurecimiento por efecto del calor y del aire. Parte 2: Método TFOT (película fina)	UNE-EN 12697-2:2007
UNE-EN 12697-3:2015	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la resistencia al endurecimiento por efecto del calor u del aire. Parte 3: Método RFT (rotavapor)	UNE-EN 12697-3:2007
Proyecto norma	Título	
PNE-prEN 1426	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la penetración con aguja	
PNE-prEN 1427	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del punto de reblandecimiento	
PNE-EN 12592	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la solubilidad	
PNE-prEN 12593	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del punto de fragilidad Fraass	
PNE-EN 12594	Betunes y ligantes bituminosos. Preparación de las muestras de ensayo	
PNE-EN 12595	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la viscosidad cinemática	
PNE-prEN 12596	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la viscosidad dinámica por viscosímetro capilar al vacío	
PNE-prEN 12606-1	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del contenido de parafinas. Parte 1: Método por destilación	
PNE-prEN 12607-1	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la resistencia al endurecimiento por efecto del calor y del aire. Parte 1: Método RTFOT (película fina rotatoria)	
PNE-prEN 13587	Betunes y ligantes bituminoso. Determinación de las propiedades de tracción de los ligantes bituminosos por el método del ensayo de tracción	

NORMAS DE LIGANTES BITUMINOSOS (CONTINUACIÓN)

Proyecto norma	Título
PNE-prEN 13588	Betunes y ligantes bituminoso. Determinación de la cohesión de los ligantes bituminosos mediante el ensayo del péndulo
PNE-prEN 13589	Betunes y ligantes bituminoso. Determinación de las propiedades de tracción de los betunes modificados por el método de fuerza-ductilidad
PNE-prEN 13924-1	Betunes y ligantes bituminosos. Marco para la especificación de los betunes especiales. Parte 1: Ligantes bituminosos de grado duro
PNE-FprCEN/TS 16346	Ligantes bituminosos. Determinación del comportamiento de ruptura y la adhesividad inmediata de las emulsiones bituminosas catiónicas con un árido de 2/4 mm
PNE-prEN 16659	Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la fluencia-recuperación de un ligante después de someterlo a múltiples esfuerzos repetidos. Ensayo MSCR

NORMAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS

Proyecto norma	Título
PNE-FprEN 12697-2	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas
PNE-FprEN 12697-4	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 4: Columna de fraccionamiento
PNE-prEN 12697-8	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 8: Determinación del contenido de huecos en las probetas bituminosas
PNE-prEN 12697-22	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 22: Ensayo de rodadura
PNE-prEN 12697-25	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 25: Ensayo de compresión
PNE-prEN 12697-27	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 27: Toma de muestras
PNE-prEN 12697-31	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 31: Preparación de la muestra mediante compactador giratorio
PNE-prEN 12697-32	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 32: Compactación en laboratorio de mezclas bituminosas mediante compactador vibratorio
PNE-prEN 12697-33	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezcla bituminosa en caliente. Parte 33: Elaboración de probetas con compactador de placas
PNE-prEN 12697-35	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 35: Mezclado en laboratorio
PNE-prEN 12697-48	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 48: Ensayo de adherencia entre capas
PNE-FprCEN/TS 12697-51	Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 51: Ensayo de resistencia superficial al corte
PNE-prEN 13108-1	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso
PNE-prEN 13108-2	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 2: Mezclas bituminosas para capas delgadas
PNE-prEN 13108-3	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 3: Mezclas bituminosas tipo SA
PNE-prEN 13108-4	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 4: Mezclas bituminosas tipo HRA
PNE-prEN 13108-5	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 5: Mezclas bituminosas tipo SMA
PNE-prEN 13108-6	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 6: Másticos bituminosos
PNE-prEN 13108-7	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 7: Mezcla bituminosa drenante
PNE-prEN 13108-8	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 8: Mezcla bituminosa reciclada
PNE-prEN 13108-9	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 9: Mezclas bituminosas tipo AUTL
PNE-prEN 13108-20	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 20: Ensayo de tipo
PNE-prEN 13108-21	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 21: Control de producción en fábrica

NORMAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS (CONTINUACIÓN)

Proyecto norma	Título
PNE-prEN 13285	Mezclas de áridos sin ligante. Especificaciones
PNE-prEN 14187-1	Productos de sellado aplicados en frío. Métodos de ensayo. Parte 1: Determinación de la tasa de polimerización
PNE-prEN 14187-2	Productos de sellado aplicados en frío. Métodos de ensayo. Parte 2: Determinación del tiempo de pegajosidad
PNE-prEN 14187-3	Productos de sellado aplicados en frío. Métodos de ensayo. Parte 3: Determinación de las propiedades autonivelantes
PNE-prEN 14187-4	Productos de sellado aplicados en frío. Métodos de ensayo. Parte 4: Determinación de la variación de masa y volumen después de la inmersión en carburante de ensayo y en productos químicos líquidos
PNE-prEN 14187-5	Productos de sellado aplicados en frío. Métodos de ensayo. Parte 5: Determinación de la resistencia a la hidrólisis
PNE-prEN 14187-6	Productos de sellado aplicados en frío. Métodos de ensayo. Parte 6: Determinación de las propiedades de adherencia y cohesión después de la inmersión en combustibles de ensayo y en productos químicos líquidos
PNE-prEN 14187-7	Productos de sellado aplicados en frío. Métodos de ensayo. Parte 7: Determinación de la resistencia a la llama
PNE-prEN 14187-8	Productos de sellado aplicados en frío. Métodos de ensayo. Parte 8: Determinación de la resistencia a la llama
PNE-prEN 14187-9	Productos de sellado aplicados en frío. Métodos de ensayo. Parte 9: Ensayo de funcionamiento de productos de sellado
PNE-prEN 14188-2	Productos para sellado de juntas. Parte 2: Especificaciones para productos de sellado aplicados en frío
PNE-prEN 16333	Lechadas bituminosas. Especificaciones para aeropuertos
PNE 41250-1 (*)	Métodos de ensayo para la medida de deflexiones en firmes. Parte 1: Viga Benkelman
PNE 41250-2 (*)	Métodos de ensayo para la medida de deflexiones en firmes. Parte 2: Deflectógrafo Lacroix
PNE 41250-3 (*)	Métodos de ensayo para la medida de deflexiones en firmes. Parte 3: Deflectómetro de impacto
PNE 41250-4 (*)	Métodos de ensayo para la medida de deflexiones en firmes. Parte 4: Curviómetro
(*) Normas que se encuentran ya aprobadas pero pendientes de traducción en España	

COMENTARIO

En esta entrega es importante destacar por un lado la aprobación de dos normas de betunes para la determinación de la resistencia al endurecimiento. Por otro lado la norma de equivalente de arena aparece como norma en proyecto para una ampliación.

Últimas actualizaciones en legislación, normativa y otras disposiciones

Legislación y otras disposiciones (actualizada a 15 de marzo de 2015)

ORDEN FOM 2523/2014 DE 12 DE DICIEMBRE, POR LA QUE SE ACTUALIZAN DETERMINADOS ARTÍCULOS DEL PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS GENERALES PARA OBRAS DE CARRETERAS Y PUENTES, RELATIVOS A MATERIALES BÁSICOS, A FIRMES Y PAVIMENTOS, Y A SEÑALIZACIÓN, BALIZAMIENTO Y SISTEMAS DE CONTENCIÓN DE VEHÍCULOS.

NOTA DE SERVICIO 8/2014 DE 3 DE DICIEMBRE DE 2014. RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE LOS PROYECTOS DE TRAZADO DE CARRETERAS.

NOTA DE SERVICIO 9/2014 DE 4 DE DICIEMBRE DE 2014. RECOMENDACIONES PARA LA REDACCIÓN DE LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS.

PROGRAMA INNVIERTE

El programa INNVIERTE forma parte de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación 2013-2020, aprobada por Acuerdo del Consejo de Ministros, el 1 de febrero de 2013. Esta estrategia contiene los objetivos, las reformas y las medidas que deben adoptarse en todo el ámbito de la I+D+i con el fin de impulsar su crecimiento e impacto, y es uno de los pilares sobre los que se asienta el diseño de la política del Gobierno en I+D+i para los próximos años.

El programa INNVIERTE persigue promover la innovación empresarial mediante el apoyo a la inversión de capital riesgo en empresas de base tecnológica o innovadoras.

El programa se instrumenta a través de dos Sociedades de Capital Riesgo ("S.C.R.") auto gestionadas y sometidas a la supervisión de la Comisión Nacional del Mercado de Valores:

- INNVIERTE Economía Sostenible Coinversión, S.A. S.C.R. de régimen simplificado.
- INNVIERTE Economía Sostenible, S.A. S.C.R. de régimen simplificado.

El CDTI, como promotor del programa INNVIERTE, es actualmente el accionista único de ambas S.C.R.

Estrategia

A través del programa INNVIERTE se persigue impulsar la entrada de capital privado en PYMEs tecnológicas españolas, en condiciones de mercado, al objeto no solo de apoyar las actividades tecnológicas de las PYMEs, sino de aportarles capacidad de gestión e internacionalización y conocimientos del mercado. A tal fin, se pretende impulsar inversiones público-privadas de capital riesgo que reúnan las siguientes características:

Las sociedades objetivo serán PYMEs (según la definición elaborada por la UE) españolas, en etapas tempranas, de base tecnológica o innovadoras y que presenten un alto potencial de retorno;

Las inversiones consistirán en la toma de participaciones temporales en el capital social de PYMEs objetivo;

Los importes de cada inversión serán, con carácter general, entre 500.000 € y 2.500.000 € por PYME; Las inversiones se financiarán en más de un 50% por inversores privados; Se adquirirán participaciones de no control en las PYMEs objetivo; Las decisiones de inversión se adoptarán sobre una base comercial y se orientarán a la obtención de beneficios; La gestión de las inversiones y las desinversiones se atribuirá a profesionales del sector privado con experiencia en el correspondiente sector tecnológico en España;

Los inversores privados asumirán el liderazgo de las transacciones necesarias para implementar las inversiones y las desinversiones; Los riesgos y los beneficios de cada inversión serán compartidos con el inversor privado en estricta igualdad de derechos y obligaciones y en proporción a su aportación respectiva.

INNVIERTE trata de atraer a potenciales inversores privados, que aporten conocimientos del mercado y de la tecnología, oportunidades de acceso a nuevos clientes y posibilidades de internacionalización.

Estos inversores privados que participan en vehículos de Capital Riesgo son seleccionados a través de un procedimiento público, abierto, objetivo, transparente y competitivo, habida cuenta del indudable interés del CDTI en contar con el mayor número posible de candidatos con la máxima capacidad, experiencia y conocimiento de sus respectivos sectores.

Con cada uno de estos vehículos, el programa INNVIERTE articula los instrumentos de inversión adecuados para atender las necesidades de financiación de las PYMEs y paliar los fallos de mercado detectados en sectores tecnológicos tradicionalmente "huérfanos" de atención por parte de inversores especializados.

#17

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

**“Las mezclas SMA presentan gran resistencia a la fisuración”
(Art. Resistencia a fisuración de las mezclas SMA; nº 13)**

#INGENIERÍA

La innovación al servicio de las carreteras garantiza el desarrollo económico y social, sentencia la comunidad viaria internacional

El I Congreso Mundial sobre Conservación y reciclado de pavimentos (PPRS), celebrado en París del 22 al 25 de febrero de 2015, ha sido concebido a modo de foro interdisciplinar de intercambio y buenas prácticas en materia viaria. Un evento que por su temática específica no conocía precedentes en el sector y que también ha marcado un hito en materia de divulgación de conocimiento técnico.

Expertos, técnicos, profesionales y académicos vinculados a las infraestructuras de transporte por carretera se han dado cita en este encuentro, entre cuyas principales conclusiones destacaron la necesidad de implementar medidas de financiación para conservar el patrimonio viario y la importancia de transmitir el valor de las carreteras a la sociedad.

Entre los objetivos de esta cumbre estuvo la definición de líneas para una óptima política de gestión de la red de carreteras y una eficaz estrategia de mantenimiento, la concienciación sobre el aporte de las infraestructuras viarias al bienestar socioeconómico y la búsqueda de financiación sostenible y recursos necesarios para la mejora y mantenimiento de las redes de carreteras.

"Las menciones regulares en los medios y las quejas ciudadanas sobre el estado de las carreteras muestran que estamos ante un problema de interés general y escala planetaria", declaró Jean-François Corté, secretario general de la Asociación Mundial de la Carretera. La preocupación por un patrimonio viario en vías de deterioro se unió a la problemática de la ineficaz comunicación y relación que el sector mantiene con los medios y la sociedad en su conjunto, otra de las constantes en las sesiones técnicas del congreso mundial y que contó con una mesa propia, en la que Asefma participó mediante ponencia de su presidente, Juan José Potti.

"La razón de ser de este Congreso es cambiar la mentalidad y encontrar soluciones innovadoras sin multiplicar los gastos. El mantenimiento de las carreteras no puede significar una carga para las generaciones futuras", apuntó Corté. Y es que la problemática de la financiación, dado el contexto actual de recesión económica con fuerte impacto sobre las

infraestructuras viarias, también fue objeto de debate durante el Congreso. En la innovación está la clave para superar los retos futuros y encontrar soluciones a los problemas actuales de las infraestructuras de transporte por carretera. Sostenibilidad y medioambiente también saltaron a la palestra para recordar que la I+D no es incompatible con presupuestos ajustados, bien al contrario. La investigación, desarrollo e innovación al servicio de la conservación de pavimentos de carreteras garantizan el desarrollo económico y social.

Influencia online de la comunidad hispanohablante

Por primera vez, un congreso mundial vinculado directamente a asfalto y pavimentación se retransmite online mediante conexiones en directo y en diferido. La entidad encargada de hacer posible la emisión fue Itafec y los organismos patrocinadores el Laboratorio Nacional de Materiales y modelos estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR) y la Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC).

Durante los tres días en que tuvo lugar esta macro cumbre mundial se emitieron un total de 1.601 tuits con el hashtag del evento #PPRSParis2015 -de los cuales 587 originales, 947 retuits y 67 conversaciones. El alcance total superó los 2,8 millones de impresiones, del que fueron responsables un centenar de participantes que contaron con una audiencia superior al medio millón de usuarios sólo en esta red.

Uno de los datos más relevantes ha sido la intensa participación de la comunidad 2.0 hispanohablante vinculada al sector viario, como responsable de aproximadamente el 70% de las comunicaciones generadas vía Twitter durante



el evento. Asefma es una de las entidades que más ha contribuido al alcance online de este primer Congreso Internacional sobre Conservación y reciclado de pavimentos.

Discurso de clausura de Jean-François Corté, presidente del congreso

Esta primera edición del Congreso Mundial sobre la Conservación y el Reciclado de Pavimentos (Pavement Preservation and Recycling Summit) nos permitió crear el escenario, confirmando:

- 1) El verdadero interés internacional de conservar nuestras redes viales es compartido en todo el mundo. Obtuvimos información por parte de África, América, Asia, Australia y Europa;
- 2) La convergencia de opiniones en cuanto a la necesidad de actuar;
- 3) La adopción de numerosas iniciativas por las entidades responsables de las carreteras y la industria vial respecto a nuevos materiales, gestión del patrimonio, financiación, contratación, etc. El intercambio de experiencias y la evaluación comparativa, que constituyen el objetivo de este evento, representan un valor excepcional.

El PPRS2015 no debería constituir un evento único. Debemos sacar provecho de esta inversión de manera colectiva. Desde luego, corresponderá a las diferentes organizaciones que posibilitaron dicho evento definir su implicación respectiva respecto a las acciones futuras. Pero estoy convencido de que pronto volveremos a oír hablar del PPRS.

A mi parecer, habría importantes ventajas si se estableciera una acción continua y no sólo se repitiera un gran

evento cada cuatro años, sino más bien un seguimiento de la evolución en varios problemas específicos. Si tuviera que elegir uno, sería el de la comunicación.

En esta sala, todos están convencidos de que es necesario conservar el sistema de transporte por carretera, con el fin de garantizar un desarrollo sostenible. Pero tenemos que convencer al público en general, así como a los medios de comunicación y a los políticos. No se trata de manifestarse a favor de un lobby de la carretera, sino, más bien, en beneficio de nuestras comunidades y economías. Nuestra capacidad de comunicar tiene una repercusión directa sobre la toma de decisiones, no sólo en términos de asignación de presupuesto, sino también en lo que se refiere a la aprobación de regímenes de financiación y la aceptación de proyectos nuevos o de rehabilitación.

Tal como subrayó uno de nuestros participantes, procedente de Sudáfrica, Alek van Niekirk, la cuestión del transporte debe convertirse en cuestión social. A modo de ejemplo, el ahorro diario de una hora pasada en la carretera no sólo implica el ahorro de unos pocos euros para el conductor, sino también una hora más para disfrutar de la familia, hijos o para aprovechar un descanso nocturno más largo. Es una ventaja para el individuo y, asimismo, una verdadera ventaja para toda la familia. Debemos reconsiderar nuestra forma de comunicar.

Quisiera compartir con vosotros otra opinión personal. La tendencia natural consiste en prestar mayor atención en las calles principales, autopistas y autopistas. Deberíamos conceder más prioridad a los caminos locales. Ahí es donde el volumen de trabajos pendientes resulta lo más importante. Recordad los ejemplos de los periódicos expuestos durante mi discurso de apertura. Los caminos locales atañen a todos, no sólo a los automovilistas, sino también a los peatones, los ciclistas, los usuarios del transporte público. Cada día, cada uno de nosotros experimenta las deficiencias en el mantenimiento de las carreteras.

Antes de acabar este discurso y clausurar el Congreso, quisiera invitar al escenario a dos personas que trabajaron intensamente y en estrecha colaboración conmigo durante los últimos meses con el fin de preparar este encuentro: Jean-Claude Roffé y Etienne Leboutellier.

Para terminar, hemos empezado con música: recorrimos "Route 66" y "hit the road". La música da ímpetu, por eso acabaremos con música. Al volver prudentemente a casa y a trabajar, volvamos a escuchar "On the road again".

Calendario de eventos

AÑO 2015

20-25 de abril COMEXPOSIUM	INTERMAT	París (Francia) www.paris-en.intermatconstruction.com
5-6 de mayo FGSV	Asphaltstraßentagung	Hamburgo (Alemania) www.fgsv.de
11-12 de mayo ACEX-AEC.ATC-ASEFMA	Congreso Multisectorial de la Carretera	Valladolid (España) www.asefma.es
18-21 de mayo TRB	9 th International Conference on Managing Pavement Assets (ICMPA9) RCunard@NAS.edu	Washington, D. C. (EEUU) www.asefma.es www.icmpa9.org
4 de junio EAPA	9 th EAPA Symposium	Estambul (Turquía) www.eapa.org/events.php
7-10 de junio TRB	ASCE (American Society of Civil Engineers) 2015 Airfield and Highway Pavements Conference	Miami, Florida (EEUU) www.trb.org/calendar
10-12 de junio Universidades de Tesalónica, Ulster y Mississippi	6 th International Conference 'Bituminous Mixtures and Pavements'	Tesalónica (Grecia) http://iconfbmp.civil.auth.gr
15-17 de junio EATA	6 th Conference of the European Asphalt Technology Association (EATA)	Estocolmo (Suecia) www.eata2015.org
1-2 de julio ASEFMA	X Jornada Nacional de ASEFMA Airfield and Highway Pavements Conference	Zaragoza (España) www.asefma.es
12-15 de julio TRB	11 th International Conference on Low-Volume Roads	Pittsburgh, Pensilvania (EEUU) www.trb.org
9-13 de agosto TRB	9 th International Conference on Road and Airfield Pavement Technology RCunard@NAS.edu	Dalian (China) www.icmpa9.org
25-28 de agosto AMAC	9 ^o Congreso Mexicano del Asfalto	Cancún (México) www.amac.org.mx
15-18 de septiembre IRF	1 st IRF Europe & Central Asia Regional Congress	Estambul (Turquía) http://eca.irfnews.org/
24-25 de septiembre AIA-IMAA-IGV	2015 AIA-Symposium	París (Francia) www.mastic-asphalt.eu
4-7 de octubre Consulpav	Rubberized Asphalt Rubber 2015 catia.dantas@consulpav.com	Las Vegas, Nevada (EEUU) www.consulpav.com/rar2015/
7-9 de octubre RILEM	8 th International RILEM Symposium	Ancona (Italia) www.rilem-sib2015.it
13-15 de octubre Pavement Preservation & Recycling Association	PPRA - 2015 Fall Meeting	Niagara Falls, Ontario (Canadá) www.aema.org
2-6 de noviembre AIPCR	XXV Congreso Mundial de la Carretera info@atc-piarc.com	Seúl (Corea del Sur) www.atc-piarc.com
16-20 de noviembre Comisión Permanente del Asfalto	XXVII Congreso Ibero-latinoamericano del Asfalto	Bariloche (Argentina) www.cpasfalto.org/eventos.htm

AÑO 2016

1-3 de junio EAPA - Eurobitume	6 th Euroasphalt&Eurobitume Congress	Praga (Chequia) www.eapa.org/events
7-9 de junio RILEM	8 th RILEM International conference on "Mechanisms of Cracking and Debonding in Pavements"	Nantes (Francia) http://mcd2016.sciencesconf.org
1-4 de noviembre IBEF	6 th International Symposium on Asphalt Emulsion Technology, ISAET'16 krissoff@aema.org	Arlington, Virginia (EEUU) www.aema.org

II Salón de Máquinas de Carreteras y Obras

Feria de Zaragoza, 1 y 2 de Julio

Horario: de 10:00 a 18:00 horas

2015

www.saloncarreteras.es



Coincide con:

X JORNADAS NACIONALES



asefma

Con LA 3ª EDICIÓN INNOVACARRETERA 2015, la COMPRA PÚBLICA INNOVADORA y los PREMIOS a la INNOVACIÓN de la PTC



Organizan:



Colaboran:



acex



**MÁQUINAS
DE CARRETERAS**

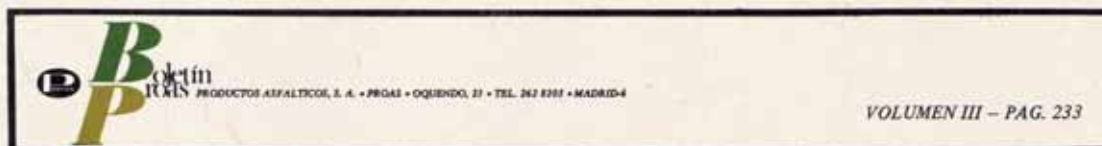
ASEAMAC
Asociación Española de Alquiladores de Maquinaria

ANMOPYC
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN,
OBRAS PÚBLICAS Y MINERÍA

www.saloncarreteras.es

Mirando al pasado

Documento publicado en mayo-junio de 1977.



COMENTARIO DE ACTUALIDAD

Los contratistas que trabajan en construcción de carreteras han manifestado frecuentemente su descontento ante la falta de planes a largo plazo que les permitan dimensionar sus parques de maquinaria y otros elementos auxiliares y preparar sus planes de financiación, adecuándolos con tiempo suficiente a las necesidades reales de inversión a que han de hacer frente cada año.

El problema afecta también a la industria de suministro de materiales de construcción, en la que pueden plantearse dificultades como las que a continuación comentamos.

El año 1977 se ha iniciado con una actividad muy baja en las obras de pavimentación, que se manifestó especialmente en una disminución apreciable de los consumos de materiales asfálticos a lo largo del primer cuatrimestre respecto al mismo periodo del año anterior.

Es una situación que ya estaba prevista desde finales de 1976 puesto que los presupuestos de la Dirección General de Carreteras para construcción y conservación de éstas (con cargo a los cuales se produce el grueso del consumo de materiales asfálticos) coincidían casi exactamente con los de 1976, lo que, teniendo en cuenta el incremento apreciable de todos los costos, suponía forzosamente un volumen de obra a realizar en 1977 mucho menor que el de 1976.

A lo largo del primer trimestre se tomaron las decisiones encaminadas a producir ciertas mejoras en la situación económica, entre las que se incluyen unas aportaciones de fondos suplementarios para carreteras, destinados esencialmente a su conservación. El conocimiento de estas disponibilidades produce cierto optimismo entre los contratistas y, naturalmente, entre quienes les suministran los materiales que han de consumir en las obras, ya que supone un incremento de actividad que quizás pueda llegar a compensar el incremento de los costos, manteniendo los volúmenes de actividad similares a los del año anterior en conjunto y quizás superiores en algunos sectores o especialidades determinadas, pero, como es natural, dado el tiempo necesario para que se produzcan las adjudicaciones y los adjudicatarios puedan empezar a actuar después de haber acopiado los materiales precisos, hasta el momento en que se redactan estas líneas (finales de abril), no se aprecia reactivación en el consumo de aglomerantes.

Ello produce la inquietud de que pueda producirse una acumulación excesiva del consumo en los últimos meses del año que conduzca a problemas de difícil resolución en cuanto al suministro de materiales.

Como es bien sabido, el consumo de materiales asfálticos tiene normalmente marcado carácter estacional, con un aumento apreciable de los ritmos de entregas entre los meses de junio y septiembre, y ritmos muy bajos de actividad en los meses restantes. La curva de consumo acumulado es una curva en "ese" del tipo habitual en las curvas de embalse, pero con los caudales máximos acumulados en el tramo central. Toda la organización de suministro de materiales asfálticos, constituida esencialmente por los asfalteros que realizan el transporte marítimo, las factorías en las que tiene lugar el almacenamiento y la flota de camiones cisterna que realizan el transporte terrestre, está dimensionada teniendo en cuenta esta distribución de consumo, de forma que sea posible atender a las puntas máximas que se producen en los meses de verano y principio de otoño, en las condiciones de máxima economía. Cualquier fenómeno que produzca una desviación apreciable de la distribución anual de los consumos, de la distribución que pudiéramos llamar normal, a la que acabamos de referirnos, puede dar lugar a desequilibrios graves entre la demanda y la oferta de transporte, con los consiguientes fallos de suministro.

No parece que puedan existir problemas en cuanto a la producción propiamente dicha, ya que las refinerías españolas de asfalto son, en estos momentos, capaces de producir bastante más del doble del asfalto que el país consume a lo largo de un año.

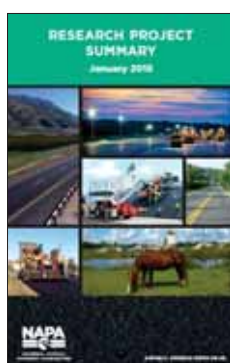
En otros terrenos parece que también pueden existir problemas en algunas circunstancias para la ejecución de obras, por la dificultad de preparar en los reducidos plazos disponibles los materiales de otra índole que puedan ser necesarios.

En conjunto, la precipitación en el planeamiento y puesta en marcha de las obras puede resultar extremadamente costosa y dar lugar, a veces, a problemas de difícil resolución. Sería muy deseable que los planes de obras a ejecutar pudieran establecerse con el mayor detalle posible, a poder ser, con varios años de antelación, para evitar este tipo de dificultades. Sabemos que esto no es fácil y que no es precisamente a la Dirección General de Carreteras a quien puede achacarse la inexistencia de una previsión suficiente a largo plazo, que tiene más bien raíces económicas. Pero seguimos diciendo, a quien corresponda, que esta forma de plantear las cosas no es la adecuada porque le cuesta al país mucho dinero. Esperemos que en algún momento del futuro logremos que exista una planificación económica suficiente de las obras de construcción de carreteras que permita a todos actuar con el mejor rendimiento posible.

Lecturas recomendadas

Informe: "Importancia de la conservación de las carreteras ". 2014. AIPCR

Este informe hace un repaso de alcance mundial sobre las repercusiones que tiene sobre el valor de las carreteras una adecuada política de conservación, o la falta de ella. Este informe se complementa con el estudio también editado por la AIPCR que tiene por título: <http://www.piarc.org/es/biblioteca-virtual/22252-es-Importancia%20de%20la%20conservaci%C3%B3n%20de%20carreteras.htm>



NAPA Research Project Summary 2015

En este resumen de la National Asphalt Pavement Association (NAPA) permite visualizar de forma rápida las principales temáticas sobre las que versan un gran número de proyectos de I+D+i en EEUU sobre el mundo de la pavimentación.

http://www.asphaltpavement.org/PDFs/NAPA_Research_Brochure_2015.pdf

Informe: "Global risks 2015". World Economic Forum

Anualmente el World Economic Forum elabora una evaluación semicuantitativa de diversos riesgos que pueden afectar a la economía y sociedad en el conjunto del mundo y teniendo en cuenta condicionantes geopolíticos.

http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_2015_Report15.pdf



Informe: "Métodos y estrategias de mantenimiento". AIPCR. 2014

Este informe ha sido elaborado por el Comité Técnico D.2 de la AIPCR (Pavimentos de carreteras). Las estrategias y metodologías propuestas se basan en el análisis de los datos recogidos en el cuestionario enviado a 16 países.

<http://www.piarc.org/es/biblioteca-virtual/19446-es-Estrategias%20y%20M%C3%A9todos%20de%20Conservaci%C3%B3n%20de%20Carreteras.htm>

Debates en torno al sector

Desde que el 22 de julio del 2011 se creó el grupo ASFALTO&PAVIMENTACION de LinkedIn, ha sido mucha la actividad generada. Este grupo fue creado básicamente con una finalidad clara: servir de foro de discusión de temas relacionados con el asfalto y la pavimentación.

Pero exactamente, ¿qué le preocupa a los más de 700 miembros del grupo? Las temáticas están siendo muy diversas: publicaciones de estudios realizados en otros países, guías de ayuda para la aplicación de diversas técnicas, encuestas sobre diferentes temas, publicación de los nuevos números de la revista, aviso de nuevos congresos de interés del sector o incluso ofertas de trabajo. Concretamente, en este texto, se van a describir brevemente algunos de los debates más populares que han tenido lugar en la reciente actividad del grupo:

1. Un interesante estudio sobre la problemática en los ensanches de carreteras, difundida por Jacinto Luis García Santiago, @Jacintoluigs. El trabajo lleva por título: *Flexible Pavement Narrow Widening Best and Lessons Learned*. Se trata de un trabajo del Center for Transportation Reserch at the University of Texas en Austin. Se presenta un compendio de prácticas y lecciones aprendidas de pavimento flexible de ensanches de carretera con el fin de mejorar la calidad de la construcción en proyectos que amplían el ancho de carril.
2. Ricardo Bardasano González, @BardasaGen, profesional de la ingeniería de pavimentos, pone a nuestra disposición, desde Segovia, una Guía de aplicación de betunes asfálticos. Se trata de la primera entrega de una serie de entradas dedicadas a las aplicaciones más adecuadas para cada tipo de betún asfáltico. Esta está dedicada a los betunes asfálticos convencionales empleados en la fabricación de mezclas bituminosas tipo hormigón asfáltico. Esta guía ha generado un gran número de recomendaciones desde Noruega, París o incluso desde Perú.
3. Juan José Potti, @jjpotti, desde Madrid, nos pregunta: ¿Cuál es tu afirmación asfáltica favorita? Se trata de una nueva sección de la revista, en la que aparecen diferentes afirmaciones asfálticas relacionadas con la sostenibilidad y el medio ambiente, la ingeniería, hechos económicos, el confort y la seguridad, como: Las técnicas de reciclado a baja temperatura a tasa total o muy alta tasa son la máxima expresión de la sostenibilidad de los materiales asfálticos #SOSTENIBILIDAD_Y_MEDIO_AMBIENTE; Las mezclas asfálticas pueden reutilizarse indefinidamente con técnicas de reciclado (EAPA). #SOSTENIBILIDAD_Y_MEDIO_AMBIENTE; El asfalto es un ligante "eterno", que permite sucesivas reutilizaciones con técnicas de reciclado. #INGENIERÍA; Las mezclas asfálticas permiten conservar los firmes de modo eficiente. #CONFORT_Y_SEGURIDAD; La reciclabilidad de las mezclas asfálticas permite su reutilización, ahorrando energía y materias primas. #HECHOS_ECONÓMICOS. Elige la tuya.
4. Miguel Ángel del Val, @delValMA, profesor en la Universidad Politécnica de Madrid, nos informa que se ha hecho entrega en Madrid, en su 5ª edición, del Premio Internacional a la Innovación en Carreteras "Juan Antonio Fernández del Campo". El trabajo premiado ha sido llevado a cabo bajo la dirección del Dr. Antonio Pérez Lepe y lleva por título "Carreteras energéticas mediante captación piezoeléctrica".
5. Sergio Fabricio Montenegro nos pregunta desde Nicaragua si es aceptable la realización de la prueba de resistencia retenida a tensión diametral AASHTO T 283 de núcleos extraídos y comparar resultados de la misma mezcla tomada de planta asfáltica. Este ensayo ha despertado mucho interés, ya que se generaron más de 15 debates muy interesantes.
6. El número 14 de la revista es un monográfico imprescindible. Así lo anuncia Juan Jose Potti, @jjpotti: "El número 14 de la revista asfalto&pavimentación, dedicada al reciclado en caliente y que resulta ser uno de los mejores numeros publicados hasta la fecha". Ha recibido numerosas recomendaciones y felicitaciones desde Reino Unido o Chile.
7. ¿Están obsoletos los sistemas actuales de control de calidad de la puesta en obra de mezclas bituminosas en caliente? Debate propuesto por Jacinto Luis García Santiago, @Jacintoluigs, quien nos hace reflexionar sobre los metodos habituales de control de calidad, basados en muestreo puntual, su incapacidad para identificar heterogeneidades en la capa (de tipo térmico en su extendido o de densidad a capa acabada), causa de fallos prematuros en servicio, y las posibilidades de otros sistemas basados en control continuo de la totalidad de la superficie. Esta publicación también ha sido una de las de las que mayor interés ha tenido, al generar un gran debate entre técnicos de Vigo, Salamanca, Noruega, Chile o Perú.

Estos son sólo algunos de los ejemplos que muestran la elevada actividad del grupo, que sobrepasa fronteras y recibe comentarios que distintos puntos del mundo, como Chile, Perú, Noruega, etcétera.

I CONGRESO MULTISECTORIAL DE LA CARRETERA

“POR LA INNOVACIÓN, LA CONSERVACIÓN, LA COMPETITIVIDAD Y EL EMPLEO”

Ponente General: **D. Alberto Bardesi Orúe-Echevarría**

CAMBIO DE FECHAS

Valladolid
11 y 12 de mayo de 2015
Palacio de Congresos
“Miguel Delibes”

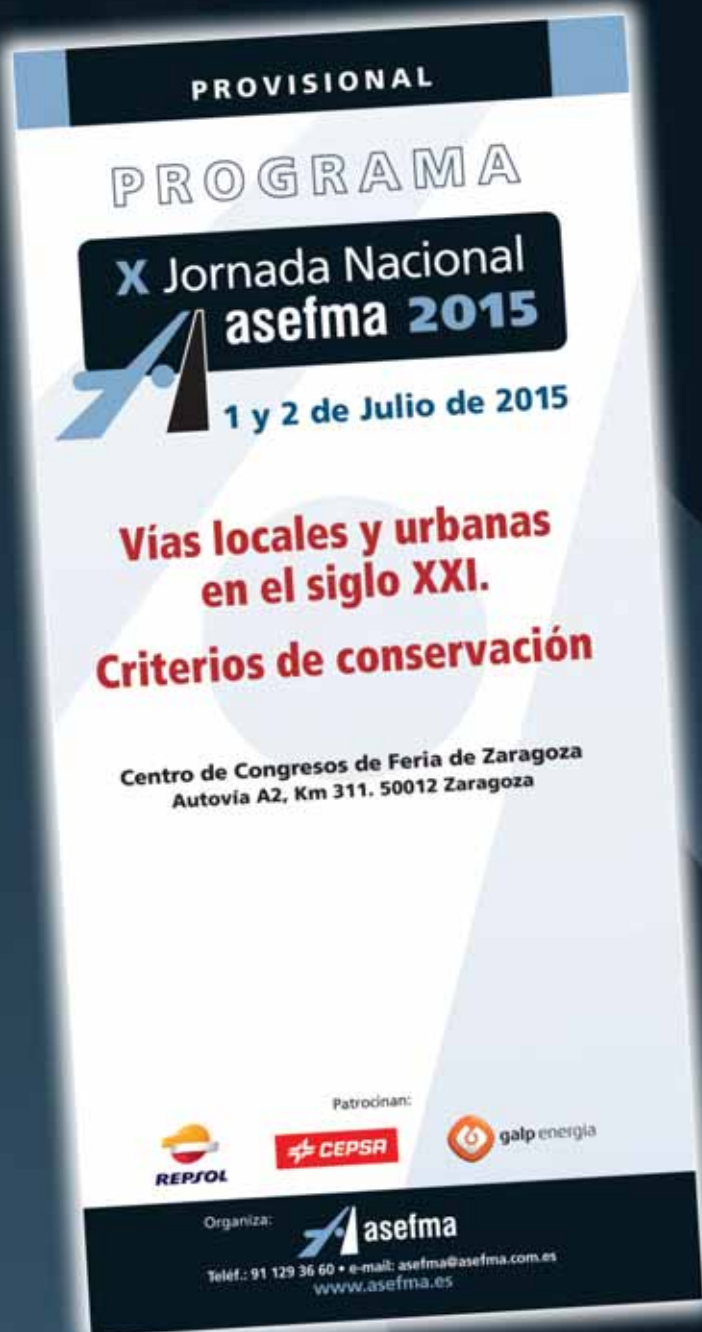
Organizan:





Zaragoza, 1 y 2 de Julio de 2015

X Jornada Nacional asefma 2015



Vías locales y urbanas en el siglo XXI. Criterios de conservación

INSCRIPCIONES

La inscripción debe formalizarse en:
asefma@asefma.com.es

tras haber realizado el ingreso en la Cuenta Corriente:
Bankinter 0128 0013 29 0100041983

Inscripción on-line a través de:
www.itapec.com

Síguenos en Twitter  **#XJornadaAsefma**



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE FABRICANTES
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS (ASEFMA)

Avda. General Perón, 26
28020 Madrid
www.asefma.es

T.: +34 911 293 660
F.: +34 911 293 566
E.: asefma@asefma.com.es



Innovar está en nuestros genes

En Repsol, la innovación forma parte de nuestra esencia. Por eso, en el Centro de Tecnología Repsol, dedicamos todo nuestro esfuerzo a la investigación y desarrollo de asfaltos que hacen nuestras carreteras más seguras, eficientes y sostenibles.



REPSOL

Inventemos el futuro

Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.
Más información en repsol.com