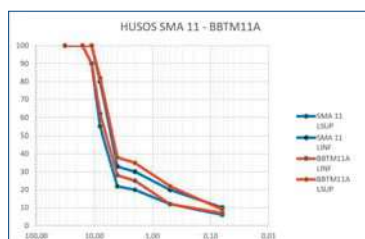


Panorama actual de las Mezclas Bituminosas



Current overview of bituminous mixtures

Francisco Javier Payán de Tejada González
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Ministerio de Fomento

Andrés Costa Hernández
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Desde el comienzo del actual siglo XXI, se está viviendo en España y también a nivel internacional, una intensa actividad en el campo del desarrollo tecnológico de las mezclas bituminosas (I+D+i de las mezclas bituminosas). Esta actividad viene motivada tanto por la idea de conseguir mezclas con mejores características técnicas y, por tanto, más duraderas, como por conseguir mezclas más sostenibles. Una parte de este desarrollo tecnológico se debe a la transferencia tecnológica producida por nuestra participación en la Unión Europea, mientras que otra procede de desarrollos propios. En este artículo se presenta el panorama actual de las mezclas bituminosas en España, incluyendo todas aquellas tecnologías que, aunque todavía no sean demasiado utilizadas, presentan una posibilidad cierta de su aplicación práctica debido a que cuentan con suficiente investigación y desarrollo y se han aplicado, al menos de manera experimental, en pruebas a escala real y con buenos resultados. Así nos vamos a referir fundamentalmente a las mezclas con caucho, de las que ya se dispone en España de normativa oficial pionera en la Unión Europea,

a las mezclas SMA (Stone Mastic Asphalt) ampliamente utilizadas en Alemania y otros países del centro de Europa y sobre las que se ha desarrollado un proyecto de investigación financiado por el CDTI, a las mezclas ultradelgadas de las que ya está vigente la Norma Europea EN 13108-9 que las prescribe y normaliza su utilización y que se han estudiado y aplicado en tramos experimentales en varias carreteras de España (Aragón, Cataluña, Valencia, ...) a las mezclas de baja temperatura de fabricación y extendido sobre las que también hay una importante experiencia acumulada y que se han incorporado, las denominadas semicalientes, al Pliego de Prescripciones Técnicas para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3), a las mezclas recicladas, también incluidas en el Pliego de Obras de Conservación (PG-4), actualizado en 2017 mediante la Orden Circular 40/2017 y en el anteriormente citado PG-3 y, por último, a las mezclas sonoredutoras de importante transcendencia en zonas sensibles a la generación de ruido.

Since the beginning of the 21st century, there has been an intense activity in Spain and internationally in the field of technological development of bituminous mixtures (R+D+i of bituminous mixtures). This activity is motivated both by the idea of achieving mixtures with better technical characteristics and, therefore, more durable, and by achieving more sustainable mixtures. Part of this technological development is due to the technology transfer as a result of the participation of Spain in the European Union, while another comes from our own developments. This article presents the current panorama of bituminous mixtures in Spain, including all those technologies which, although not yet too widely used, have a real possibility of being implemented as they have been thoroughly investigated and developed and have already been applied, at least in an experimental manner, on a real scale tests with good results. Thus, we are going to refer mainly to rubber mixtures, of which Spain already has pioneering official regulations

in the European Union, to SMA mixtures (Stone Mastic Asphalt) widely used in Germany and other central European countries and on which a research project financed by CDTI has been developed, to ultra-thin mixtures included in European Standard EN 13108-9, already in force, which prescribes and standardizes their use and which have been studied and applied in experimental sections on several roads in Spain (Aragon, Catalonia, Valencia, ...), to low-temperature mixtures for manufacturing and spreading, the so-called semi hot mixtures, on which there is also significant experience and have been included in the General Technical Specifications for Road and Bridge Works (PG-3), to recycled mixtures, also included in the General Technical Specifications for Maintenance Works (PG-4), updated in 2017 by means of Circular Order 40/2017 and in the aforementioned PG-3 and, finally, to noise-reducing mixtures of significant importance in noise-sensitive areas.

1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se presentan, dentro del panorama actual de las mezclas bituminosas en España, aquellas tecnologías que, aunque aún no hayan sido demasiado utilizadas presentan un potencial importante para su aplicación en carreteras de tráfico elevado y que ya han sido probadas, aunque solo haya sido a nivel experimental.

Estas nuevas mezclas tienen en común la búsqueda de soluciones más durables, en general con mayores contenidos de betún que las actualmente utilizadas, y con mejores condiciones de textura para favorecer la adherencia del neumático con el pavimento.

Otras características buscadas son las relacionadas con el medioambiente. El aprovechamiento de residuos como el caucho procedente de neumáticos al final de su vida útil (NFVU) o el propio reciclado de los pavimentos envejecidos son otra línea de interés en el desarrollo de nuevas mezclas.

Las mezclas de baja temperatura de fabricación y extendido reducen las emisiones de CO₂, ahorran combustibles fósiles, mejoran el entorno de trabajo y reducen los riesgos a la seguridad y salud de los trabajadores.

En esta línea se pueden considerar también las mezclas ultradelgadas de altas prestaciones que buscan la reha-

bilitación superficial con el máximo ahorro de materiales.

Por último, también la contaminación acústica es objeto de atención en el desarrollo de nuevas mezclas que buscan la reducción del ruido de rodadura emitido a la atmósfera.

Muy pocos de los avances conseguidos en el campo de las mezclas bituminosas habría sido posible sin el desarrollo previo y la disponibilidad de los materiales básicos que las componen, así como de los medios necesarios para su fabricación y aplicación, por lo que también se van a exponer algunos de los últimos avances en los materiales disponibles.

2. MATERIALES BÁSICOS

2.1. Betunes

Actualmente, además de los betunes tradicionales de penetración y modificados con polímeros, se dispone de una serie de betunes, tanto fabricados en central como in situ, que permiten la fabricación de las nuevas mezclas.

Los betunes multigrado tienen una menor susceptibilidad térmica, es decir son más viscosos a temperaturas elevadas que los correspondientes betunes de la misma categoría de penetración y, por tanto, presentan mayor temperatura de anillo y bola para la

misma penetración a 25°C. Esto permite su empleo con mayores garantías de resistencia a las deformaciones plásticas sin que se aumente el riesgo de fragilidad de la mezcla por un exceso de rigidez. Estos betunes se han incorporado a finales de 2014 al PG-3. Sus características están recogidas en la Tabla 211.2b del citado PG-3.

Los betunes con caucho surgen como resultado final de numerosos trabajos de investigación realizados para valorizar los neumáticos al final de su vida útil (NFVU) que constituyen un residuo de gran volumen, aunque inerte. El caucho fue uno de los primeros polímeros en experimentarse para la modificación de los betunes, por ello, entre las múltiples posibilidades de valorización, se pensó que su incorporación a las mezclas bituminosas produciría una mejora de sus características consiguiéndose así la doble ventaja de acabar con el residuo y obtener nuevas y mejoradas prestaciones. Entre los betunes con caucho se encuentran tres tipos diferentes y dos métodos de fabricación.

Los betunes mejorados con caucho son betunes que incorporan caucho en polvo procedente de neumáticos al final de su vida útil (NFVU) en proporciones tales que mejoran las características del betún de penetración de base sin llegar a las prestaciones de un betún modificado. Se les

Tabla 211.2.B. Requisitos de los betunes asfálticos duros y multigrado.

CARACTERÍSTICA		UNE-EN	UNIDAD	15/25	MG 35/50-59/69	MG 50/70-54/64
PENETRACIÓN A 25 °C		1426	0,1 mm	15-25	35/50	50/70
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO		1427	°C	60-76	59-69	54-64
RESISTENCIA AL ENVEJECIMIENTO UNE-EN 12607-1	CAMBIO DE MASA	12607-1	%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
	PENETRACION RETENIDA	1426	%	≥ 55	≥ 50	≥ 50
	INCREMENTO PUNTO REBLANDECIMIENTO	1427	°C	≤ 10	≤ 10	≤ 10
ÍNDICE DE PENETRACIÓN		12591 13924 Anexo A		De -1,5 a +0,7	De +0,1 a +1,5	De + 0,1 a + 1,5
PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS		12593	°C	TBR	≤ -8	≤ -12
PUNTO DE INFLAMACIÓN EN VASO ABIERTO		ISO 2592	°C	≥ 245	≥ 235	≥ 235
SOLUBILIDAD		12592	%	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0

exige un valor mayor de la temperatura de anillo y bola y una cierta elasticidad medida mediante el retorno elástico.

Los betunes modificados con caucho son betunes que cumplen las prescripciones establecidas en el PG-3 para los betunes modificados con polímeros. Incorporan una mayor cantidad de polvo de NFVU que los mejorados con caucho.

Los betunes de alta viscosidad modificados con caucho son betunes con una elevada proporción de caucho, del orden del 20%, que presentan una elevada viscosidad y se emplean en mezclas especiales, como son las mezclas antirremonte de fisuras, permitiendo contenidos de betún elevados en las mezclas bituminosas, del orden del 9%, consiguiendo así mezclas más flexibles y duraderas debido al elevado porcentaje de ligante que incorporan.

Todos estos tipos de betunes con caucho se pueden fabricar en central o in situ. Cuando se fabrican en central debe cuidarse su estabilidad para lo que suele añadirseles aditivos o incluso otros polímeros con objeto de mejorar sus prestaciones y facilitar el almacenamiento.

Por otro lado, para la fabricación de las mezclas de baja temperatura

de fabricación y extendido se pueden emplear betunes especialmente diseñados que incorporan aditivos, ya sean de tipo ceras que modifican la viscosidad del betún o surfactantes que modifican la tensión superficial entre el betún y el árido posibilitando su recubrimiento a menores temperaturas. Sin ser el único procedimiento para fabricar mezclas a baja temperatura, estos betunes ofrecen la sencillez de una fabricación de la mezcla que no presenta diferencias importantes respecto a la habitual, excepto por la temperatura de calentamiento de los áridos.

Otras investigaciones sobre los betunes van en la dirección de mejorar las características de autorreparación de las mezclas bituminosas. Para ello se incorporan nanotubos de carbono que convierten las mezclas en semiconductoras lo que permite su excitación y calentamiento mediante microondas.

2.2. Áridos

La tendencia actual de aprovechar al máximo todos los residuos y, a su vez, conservar los materiales vírgenes, lleva también a la utilización de áridos reciclados procedentes de la misma carretera o de residuos de procesos industriales.

El fresado de las capas de mezclas bituminosas envejecidas produce un material compuesto por áridos de gran calidad y betún envejecido, materiales ambos que se pueden emplear en la fabricación de nuevas mezclas bituminosas. Dependiendo del volumen de fresado que se quiera aprovechar, o lo que es lo mismo, del porcentaje o tasa de fresado que se quiera incorpora a la nueva mezcla, será necesario una mayor o menor adaptación de las plantas existentes o incluso de nuevas instalaciones. El PG-3 actual ya considera la incorporación de hasta el 60 % sin más consideraciones que las de disponer de los medios de fabricación adecuados.

Por otro lado, las escorias de acería son un residuo de muy buenas características técnicas para su empleo en las mezclas bituminosas, excepto por su posible expansividad debida a la existencia de óxidos de calcio y magnesio libre, que puede evitarse tratándolas adecuadamente.

Existen dos tipos de escorias de acería, las de tipo LD producidas por las acerías de refino del arrabio procedente de los altos hornos que tratan el mineral de hierro, y que sólo existen en Asturias, y las procedentes de horno de arco eléctrico que tratan la chatarra para la obtención del acero y

Rutas Técnica

que se encuentran más repartidas por toda la geografía española.

Por último, hay intentos de utilización en las carreteras, como áridos de residuos de industrias de carácter más local como el Pavál, procedente del tratamiento de las escorias salinas derivadas de la industria del aluminio, o la cerámica procedente de la industria azulejera, o como otros que tienen interés únicamente en ámbito local.

2.3. Aditivos y adiciones

Entre los aditivos a incluir en las mezclas, se ha investigado y existe ya amplia experiencia con el polvo de caucho procedente de NFVU utilizado por vía seca como un árido más para obtener lo que la Orden Circular 21/2007 denomina mezclas con adi-

ción de caucho, o las fibras de celulosa y otras fibras utilizadas en las mezclas con alto contenido de betún para evitar su escurrimiento y conseguir un buen comportamiento flexible de la mezcla bituminosa fabricada con ellas.

3. MEZCLAS BITUMINOSAS

Aparte de las mezclas tradicionales han surgido un numeroso grupo de mezclas que o bien intentan mejorar las prestaciones de las habituales o bien intentan ser más sostenibles.

3.1. Mezclas con caucho

Son mezclas que utilizan betunes con incorporación de polvo procedente de NFVU. Se han venido desa-

rollando en España desde finales del siglo XX, promoviéndose especialmente en los últimos 20 años a través de los Planes Nacionales de Residuos y de la propia normativa del Ministerio de Fomento.

Existen numerosas experiencias de aplicación a escala real tanto privadas como de la Administración. En la tabla 1 se presentan algunas de las realizadas por el Ministerio de Fomento. Una relación más completa de las obras realizadas incluyendo caucho en las mezclas ha sido publicada por SIGNUS.

Del seguimiento realizado a los tramos experimentales construidos en Valladolid se han obtenido los gráficos que se presentan a continuación, en los que se puede ver la evolución de diferentes parámetros a lo largo de los años.

Tabla 1

Año	Provincia	Ctra.	Experiencia	Ubicación
2004	Valladolid	VA-20	BETÚN MEJORADO CON CAUCHO, VÍA HÚMEDA	Ronda interior de Valladolid
2004	Valladolid	VA-20	BETÚN MEJORADO CON CAUCHO, VÍA HÚMEDA	Ronda interior de Valladolid
2004	Valladolid	A-6	BETÚN MODIFICADO CON CAUCHO, VÍA HÚMEDA	Medina del C. - Tordesillas
2005	Valladolid	A-6	BETÚN MODIFICADO CON CAUCHO, VÍA HÚMEDA	Tordesillas-Medina del C. CI
2005	Zamora	N-610	BETÚN MEJORADO CON CAUCHO, VÍA HÚMEDA	L.P. Valladolid-Castrogonzalo
2006	Valladolid	A-6	BETUNES MODIFICADOS DE ALTA VISCOSIDAD CON Y SIN CAUCHO	Ataquines
2006	Valladolid	N-601	BETÚN MODIFICADO DE ALTA VISCOSIDAD CON CAUCHO	Travesía de Medina de Rioseco.
2006	Valladolid	A-6	MEZCLA BITUMINOSA CON ADICION DE CAUCHO POR VÍA SECA	Variante de Tordesillas
2007	Valladolid	A-62	MEZCLA BITUMINOSA CON ADICION DE CAUCHO POR VÍA SECA	Variante de Tordesillas
2007	Palencia	A-65	BETÚN MEJORADO CON CAUCHO, VÍA HÚMEDA	Ronda Norte de Palencia
2009	Málaga	N-340	BETUNES MEJORADOS CON CAUCHO Y MODIFICADOS CON CAUCHO FABRICADOS EN CENTRAL	Málaga
2009	Málaga	N-340	BETUNES MEJORADOS CON CAUCHO Y MODIFICADOS CON CAUCHO FABRICADOS IN SITU	Málaga
2010	Orense	N-532	BETUNES MEJORADOS CON CAUCHO	Orense
2010	Valladolid	A-6	BETUNES MEJORADOS CON CAUCHO Y MODIFICADOS CON CAUCHO FABRICADOS EN CENTRAL	Tordesillas - Mota del Marqués
2011	Valladolid	A-6	BETUNES MEJORADOS CON CAUCHO IN SITU Y EN CENTRAL, Y BETUNES DE ALTA VISCOSIDAD CON NFVU	Arévalo - Medina el Campo
2012	Burgos	A-1	BETÚN MEJORADO CON CAUCHO IN SITU, VÍA HÚMEDA. RECI-CLADO EN CALIENTE	Segovia-Valladolid

En el gráfico 1 se puede ver la evolución de los ligantes empleados en uno de los tramos experimentales desde el momento en que se diseñó la fórmula de trabajo hasta 5 años después. Si inicialmente el betún con caucho presentaba un mayor valor del punto de reblandecimiento anillo y bola, para el mismo valor de la penetración a 25°C, a los cinco años se igualan. Si bien, los valores posteriores a la puesta en obra se han obtenido sobre muestras de ligante recuperado de los testigos extraídos en cada momento, lo que puede significar una pérdida del caucho no incorporado al betún como modificador.

En el gráfico 2 se presenta la evolución del CRT del mismo tramo experimental. Se puede comprobar como todos los subtramos se comportan de idéntica forma, presentando valores muy próximos entre sí. En los gráficos 3 y 4 se presenta la evolución de la inspección visual. Ésta se realiza de acuerdo con la metodología incluida en la circular sobre Rehabilitación de Firmes del año 2002, mediante personal técnico a pie. A cada defecto encontrado se le da un valor, y para cada tramo se suman los valores de todos los defectos encontrados, de forma que cuanto más alto es el valor del tramo peor es el estado en que se encuentra.

En el gráfico 3 se puede ver cómo el subtramo con betún de penetración normal es el que se encuentra en mejor estado, si bien hay que decir que, aunque en el momento de diseño del experimento se buscó que las situaciones de partida fueran idénticas para cada uno de ellos, es probable que la situación local de cada tramo fuera distinta y que esto haya influido en el comportamiento a medio plazo de las capas experimentales.

En el gráfico 4 se presenta la evolución respecto a la inspección visual de un tramo experimental en el que se probaron un betún de alta viscosidad modificado con caucho, dos betúnes de alta viscosidad modificados con polímeros y un betún modificado

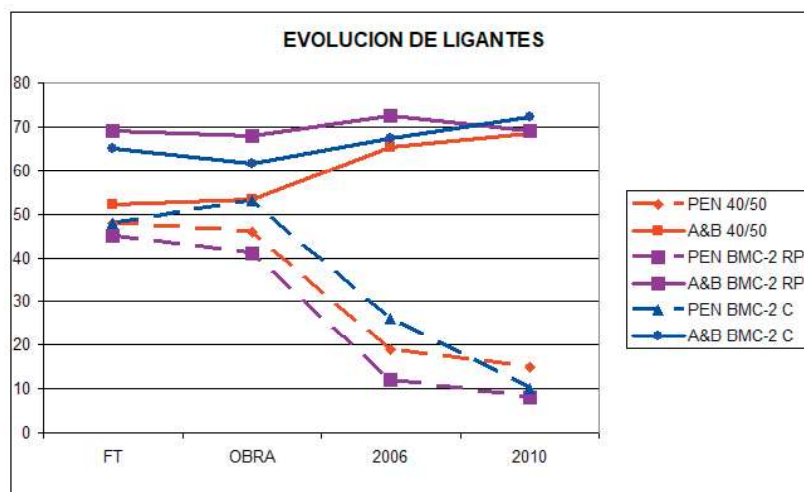


Gráfico 1.

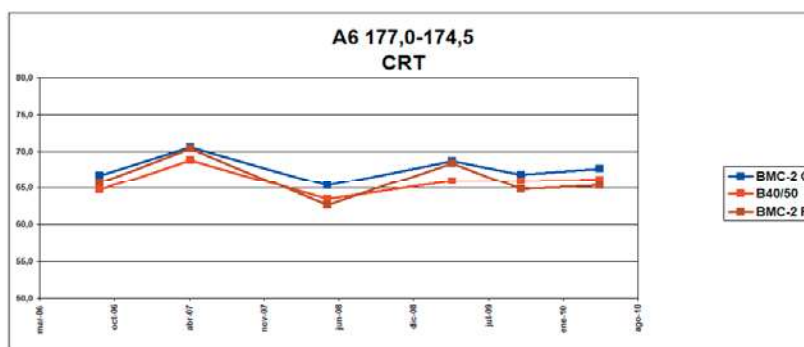


Gráfico 2.

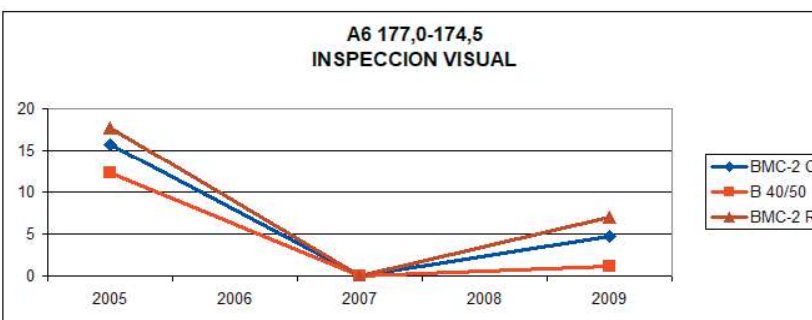


Gráfico 3.

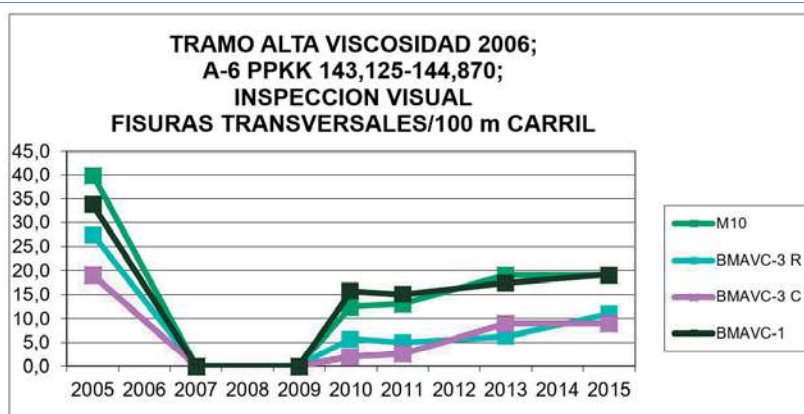


Gráfico 4.

Rutas Técnica

con polímeros (PMB 45/80-65). Los betunes que mejor se comportaron fueron los de alta viscosidad modificados con polímeros, que son productos muy elásticos con valores de retorno elástico por encima del 75%. El betún de alta viscosidad modificado con caucho y el betún modificado con polímeros tuvieron comportamientos semejantes.

En el gráfico 5 se presentan los valores obtenidos por los diversos tramos experimentales de Valladolid en relación con el ruido de rodadura medido por el método CPX de proximidad.

Hay bastante dispersión respecto a lo previsible. Los tramos menos ruidosos son los construidos con mezclas con betunes de alta viscosidad o betunes modificados con polímeros. En un rango intermedio se incluyen capas de rodadura construidas con betunes con caucho y de penetración, mientras que en el nivel más elevado de ruido aparecen una capa fabricada con betún con caucho y otra con betún de penetración. Realmente, el ruido depende fundamentalmente del contenido de huecos y de la textura de la capa, similar en todos los tramos excepto en los menos ruidosos en los que se ha empleado una mezcla discontinua con una macrotextura negativa importante. Además, con los contenidos de caucho presentes en las fórmulas de trabajo no se puede esperar la obtención de capas menos rígidas que las habituales con betún de penetración, efecto que también podría contribuir a una menor generación de ruido debida a las vibraciones mecánicas generadas por el impacto del neumático sobre la carretera.

En relación con la incorporación de caucho a las mezclas bituminosas, en los tramos experimentales ejecutados por los autores no tenemos constancia de que mejoren su comportamiento, si bien los tramos estudiados se corresponden con situaciones locales y de poca longitud que pueden verse afectadas por sus

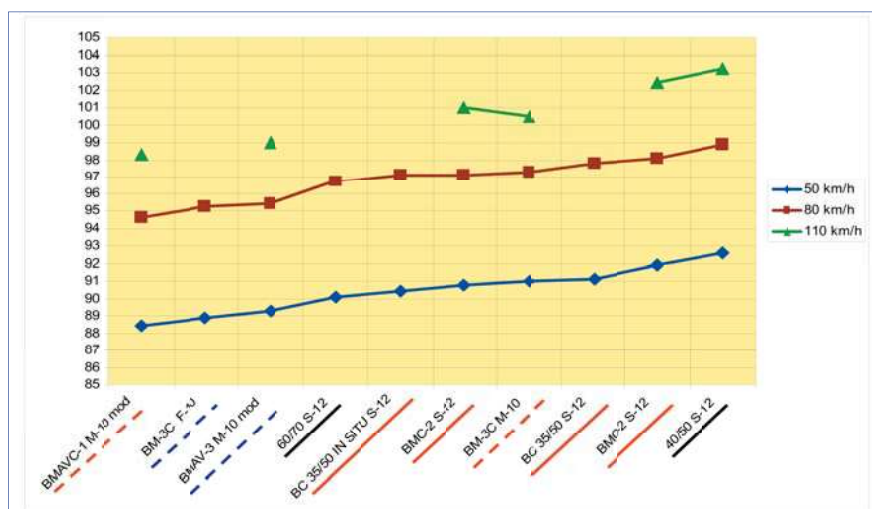


Gráfico 5.

condiciones de entorno. En los años 2010 y 2011, se realizaron dos obras de refuerzo importante en Valladolid, con más de 56 km de doble calzada, donde se probaron diversas tecnologías de mezclas con caucho y de donde se espera obtener datos estadísticos más fiables sobre su comportamiento a medio y largo plazo.

En cuanto a nuevas líneas de investigación, se están diseñando nuevas mezclas por la vía seca con incorporación de caucho en granos superiores a 1 mm y hasta 7 mm, lo que además de facilitar el uso del caucho procedente del NFVU, reduciendo su tratamiento, permitirá conseguir mezclas muy flexibles que funcione bien desde el punto de vista acústico.

3.2. Mezclas recicladas

El reciclado de mezclas asfálticas es una técnica de la que se dispone de normativa en el Artículo 22 del vigente PG-4 actualizado mediante la Orden Circular 40/2017 y de la que se han realizado bastantes experiencias en obras importantes de rehabilitación. Además, en el artículo 542 del PG-3 se ha considerado la incorporación de material procedente del fresado de mezclas bituminosas y se indican las condiciones en que puede hacerse.

En la tabla 2 se presentan las posibilidades de uso de las distintas técnicas de rehabilitación.

En la tabla 3 se presentan la mayoría de las realizaciones de obra de reciclado en la Red de Carreteras del Estado.

De acuerdo con el Artículo 542 del vigente PG-3, se pueden considerar 3 tipos distintos de tasas de reciclado, que son las siguientes:

- BAJA, cuando la tasa es < 15% y que se regula por lo establecido en el citado Artículo.
- MEDIA, cuando la tasa es > 15% e inferior al 60%, que se regula mediante el Artículo 22 del PG-4.
- ALTA, cuando la tasa es > 60%. En este caso será preceptiva la autorización expresa de la D.G. de Carreteras y se deberá realizar un estudio específico en el Proyecto.

En relación con el material fresado (RAP) a incorporar a las mezclas bituminosas hay que tener en cuenta el tipo de fracturación para conseguir granulometrías con el menor porcentaje de finos posible y sin rotura de los áridos; el tipo de capas fresadas, intentando reducir al mínimo el fresado de capas que incorporan lechadas o microaglomerado en frío y evitando completamente aquellas que hayan sufrido deformaciones plásticas; la granulometría de los acopios rechazando los tamaños superiores a 25 mm y, en la mayor parte de los casos separando el pasa por el tamiz 25 en dos tamaños, fino y grueso; y, por último, hay que controlar la humedad, por lo que si el material se va a acopiar

Tabla 2.

Tráfico	UBICACIÓN	TÉCNICAS DE RECICLADO		
		RECICLADO EN CALIENTE EN CENTRAL	RECICLADO EN FRIO	
			EMULSION	CEMENTO
T00	CALZADA	En reposición + 10 cm de recrecido con MB(542-543 PG-3) en doble capa	NO	NO
	ARCEN	SI	SI	NO
T0	CALZADA	En reposición + 8 cm de recrecido con MB(542-543 PG-3) en doble capa	NO	NO
	ARCEN	SI	SI	
T1	CALZADA	En reposición + 5 cm de recrecido con MB(542 PG-3) capa única (8 cm en dos capas si es preceptivo incluir una capa de rodadura drenante o discontinua (543 PG-3))	En reposición + 8 cm de recrecido con MB (542-543 PG-3) en doble capa	Se podrá utilizar recreciendo con MBC (542-543 PG-3) según criterio 6.3 o 6.1.IC según tipo de obra o reciclado a realizar
	ARCEN	SI	SI	
T2	CALZADA	En reposición + 5 cm de recrecido con MB (542 PG-3 o 22.3 PG-4) en capa única. En caso de colocarse una capa de rodadura con MB(543 PG-3) el espesor total será como mínimo de 8 cm en dos capas.	En reposición + 5 cm de re-crecido con MB(542 PG-3) en capa única	Se podrá utilizar recreciendo con MBC (542-543 PG-3) según criterio 6.3 o 6.1.IC según tipo de obra o reciclado a realizar
	ARCEN	SI	SI	
T3/T4	CALZADA	SI + Capa de MB (542 PG-3 o 22.3 PG-4) o microaglomerado en frío		
	ARCEN	SI		

Tabla 3.

Año	Provincia	Ctra.	Experiencia	Ubicación
1995	Zamora	N-525	RECICLADO IN SITU EN CALIENTE	Mombuey - Padornelo
1995	Cáceres	N-630	RECICLADO IN SITU CON CEMENTO	L.P. Salamanca - Cañaveral
1995	Cáceres	N-630	RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN	Cañaveral Sur – Cáceres
2000	Cáceres	N-V	RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN	Navalmoral de la Mata
2003	Palencia	N-120	RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN	Osorno-L.P. León
2006	Cáceres	N-110	RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN Y 0,5 % DE CEMENTO	LP Ávila - Navaconcejo
2008	Cáceres	A-5	RECICLADO EN CALIENTE DE ALTA TASA	L.P. Toledo-Almaraz (Cáceres)
2010	Teruel	N-211	RECICLADO IN SITU CON EMULSIÓN	Caminreal-Castel de Cabra
2011	Cáceres	N-521	RECICLADO EN CALIENTE DE TASA MEDIA	Cáceres- Malpartida
2012	Burgos	A-1	BETÚN MEJORADO CON CAUCHO IN SITU, VÍA HÚMEDA. RECICLADO EN CALIENTE	Segovia-Valladolid
2015	Valladolid	A-62	RECICLADO EN CALIENTE TASAS MEDIA Y BAJA	Valladolid - Tordesillas

Rutas Técnica

antes de su incorporación a la mezcla debe protegerse de la lluvia.

El betún de aportación debe compensar la dureza del betún incorporado por el RAP, por lo que debe ser más blando de lo habitual o, en función de la tasa de reciclado, incorporar rejuvenecedores.

Se pueden utilizar las plantas habituales, tanto continuas como discontinuas con las debidas precauciones. En cualquier caso, debe evitarse el contacto directo del RAP con la llama del quemador. Existen diversos tipos de plantas continuas, algunas específicas como las de doble tambor en las que el material se incorpora al anillo exterior entre el tambor interior en contacto con la llama y el exterior. Existen también otras disposiciones con mezclador independiente o con incorporación del RAP en zonas alejadas de la llama. En las plantas discontinuas, para tasas bajas, el RAP se puede incorporar directamente al mezclador, aumentando los tiempos de mezcla para permitir la transferencia de calor al RAP. Para tasas por encima del 15 % e inferiores al 30 % se debe dosificar el RAP separándolo en dos tamaños para evitar la incorporación de un exceso de finos. Cuando la tasa se eleva por encima del 30 %, la planta debe disponer de dos tambores/secadores, uno para el árido virgen y otro para el RAP. En este último la fracción fina del RAP se incorpora en una zona adelantada respecto del quemador y alejado de éste.

En cualquier caso, se debe tener en cuenta la temperatura a la que hay que

calentar el árido virgen para obtener la temperatura final del árido combinado y los tiempos de amasado para que se realice completamente la transferencia de calor entre el árido y el RAP.

Otra opción es el reciclado in situ con emulsión, que es una buena solución para carreteras de tráfico ligero, extendiendo encima una capa de rodadura. El proceso es rápido. El equipo fresa la mezcla existente, la mezcla con la emulsión y la extiende. Hay que tener cuidado con el fresado de la capa existente ya que a veces se producen trozos de gran tamaño que hay que eliminar. También es necesario dejar la capa sin cubrir durante un tiempo para permitir su curado. En caso de que haya que dar paso al tráfico se debe extender un riego con grava como protección del reciclado y procurar evitar que el tráfico se canalice por las mismas zonas de rodadura para evitar deformaciones prematuras.

El aprovechamiento del material fresado en tasa baja en las nuevas capas de mezcla bituminosa debería realizarse de manera sistemática en todas las obras, pues no conlleva ninguna precaución extraordinaria. Las tasas medias deberían contemplarse en todas las obras de rehabilitación en que se vayan a fresar las capas existentes. Para las tasas altas se debe disponer de medios excepcionales y realizar un estudio especial del Proyecto, necesitando en la Red de Carreteras del Estado una autorización expresa de la Dirección General de Carreteras.

Entre las nuevas líneas de investigación en este campo se encuentran

las mezclas templadas fabricadas con emulsión de alta tasa, la utilización de betunes con caucho en mezclas recicladas o la fabricación de mezclas SMA con incorporación de RAP.

3.3. Mezclas semicalientes

Mezclas semicalientes son aquellas que permite reducir la temperatura de fabricación en, al menos, 40°C. Se encuentran normalizadas en la última revisión de los Artículos 542 y 543 del vigente PG-3.

La fabricación de mezclas semicalientes se puede realizar con diversos procedimientos entre los que se encuentran la incorporación al ligante de aditivos orgánicos (ceras, amidas, etc.) que modifican la viscosidad del ligante, la incorporación de aditivos químicos (surfactantes) que mejoran las características tensoactivas del ligante aumentando su capacidad para mojar los áridos y no modifican la reología del ligante, y la espumación del betún, bien de forma directa añadiéndole agua, bien mediante la incorporación del agua a través de la humedad de sus áridos componentes.

La utilización de mezclas semicalientes proporciona mejoras de varios tipos: medioambientales como son el ahorro de combustibles fósiles y la reducción de la emisiones de CO₂, económicas por el ahorro de combustibles, laborales al mejorar el ambiente de trabajo al reducir las temperaturas de la mezcla, y técnicas en cuanto al menor envejecimiento del betún y la obtención de periodos de trabajabili-

Tabla 4.

Año	Provincia	Ctra.	Experiencia	Ubicación
2007	Málaga	N-331	MEZCLA SEMICALIENTE (aditivado)	Málaga
2008	Palencia	A-67	MEZCLA SEMICALIENTE (aditivado)	Alar del Rey
2010	Tarragona	N-240	MEZCLA SEMICALIENTE (aditivado)	Gandesa
2011	Segovia	N-110	MEZCLA TEMPLADA FABRICADA EN PLANTA ESPUMANDO EL BETÚN CON EL AGUA DE LAS ARENAS	Ayllón
2012	Burgos	A-1	MEZCLA RECICLADA TEMPLADA DE TASA TOTAL (emulsión)	Lerma

dad más largos con menores pérdidas de temperatura en el transporte y extendido.

En la tabla 4 se presentan las obras experimentales de mezclas semicalientes realizadas en la Red de Carreteras del Estado.

Las mezclas semicalientes son técnicamente comparables a las mismas mezclas en caliente establecidas en el PG-3. En el caso de utilizar aditivos orgánicos, como las ceras, se modifica la reología del betún obteniéndose ligantes con índices de penetración mayor de 1. Estas mezclas son más rígidas a bajas temperaturas, lo que se debe tener en cuenta respecto a su comportamiento en zonas frías.

Las plantas no precisan grandes adaptaciones, excepto en el caso de la espumación del ligante mediante la adición directa de agua para lo que hay que incorporar un equipo de espumación previamente a la incorporación del betún al mezclador.

Al ser las temperaturas de calentamiento de los áridos más bajas hay que tener en cuenta el mantenimiento del tiro en los quemadores para eliminar el polvo de los áridos, lo que en general no crea problemas.

Los procesos de transporte, extendido y compactación no se modifican, si bien, al ser menor la temperatura de la mezcla, las pérdidas durante el transporte también son menores y se

reduce la heterogeneidad térmica. La compactación debe realizarse para cada tipo de mezcla dentro del rango establecido, especialmente si se utilizan aditivos orgánicos.

3.4. Mezclas templadas

Mezclas templadas son aquellas que se fabrican y ponen en obra temperatura inferior a los 100° C. Si el ligante se utiliza en forma de emulsión, esta debe calentarse a 60 – 70 °C para evitar el choque térmico con los áridos. Las mezclas templadas no están actualmente recogidas en el PG-3.

Su fabricación puede realizarse mediante la espumación de betún o con emulsión. Se utilizan plantas específicas para ellas de tipo continuo o, en otro caso, deben adaptarse las plantas en caliente.

Se pueden fabricar mezclas templadas con emulsión con tasa de reciclado del 100%. Se han realizado algunas obras de este tipo, en forma experimental, con muy buenos resultados. En principio son mezclas destinadas a carreteras de bajo tráfico.

3.5. Mezclas SMA

Las mezclas SMA, normalizadas en la norma europea UNE EN 13108-5, son mezclas discontinuas con una mayor proporción de árido grueso y

un alto porcentaje de filler, elevados contenidos de betún y la incorporación de aditivos tipo fibra de celulosa para evitar el escurrimiento del ligante.

Se ha realizado en España un proyecto de investigación financiado por el CDTI, que aglutina a empresas privadas y organismos públicos de investigación, sobre el desarrollo de las mezclas SMA que se puede consultar en la página web www.proyectosma.eu.

Si se comparan estas mezclas con las del tipo BBTM habitualmente utilizadas en España, se puede apreciar que son parecidas a las del tipo A, con un mayor porcentaje de gruesos y un porcentaje similar de polvo mineral.

Este proyecto ha redactado una propuesta de norma de la que se han obtenido los datos que se consignan a continuación.

En los gráficos 6 y 7 se presentan los husos comparativos de estas mezclas de acuerdo con la propuesta normativa del proyecto SMA.

En las tablas 5 y 6 se presentan las características de estas mezclas SMA y su comparación con las mezclas tipo BBTM prescritas en el Artículo 543 del vigente PG-3.

El importante esqueleto mineral confiere a estas mezclas una elevada estabilidad y resistencia a las deformaciones plásticas. Al incorporar un elevado contenido de betún, el

Tabla 5.

		BBTM-A 11	BBTM-B 11	PROPUESTA PLIEGO SMA-11
LIGANTE MÍNIMO %		5,2	4,75	5,8
HUECOS MEZCLA %	MÍNIMO	≥ 4	12	4
	MÁXIMO		18	6
ESCURRIMIENTO	MÁXIMO			< 0,3
SENSIBILIDAD AL AGUA %		≥ 90		≥ 90
DEFORMACIONES PLÁSTICAS	WTS	≤ 0,07 (T00-T2)		≤ 0,07 (T00-T1)
	PRDAIR			
ESPESOR DE CAPA		2,0 - 3,0		3,0 - 5,0

Rutas Técnica

Tabla 6.

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	ESPESOR (CM)	CONTENIDO MÍNIMO DE LIGANTE, %/SM
RODADURA	SMA 8	2-4	5,8
RODADURA	SMA 11	3-5	5,6
	SMA 16	4-8	5,6
INTERMEDIA	SMA 16	5-9	5,4

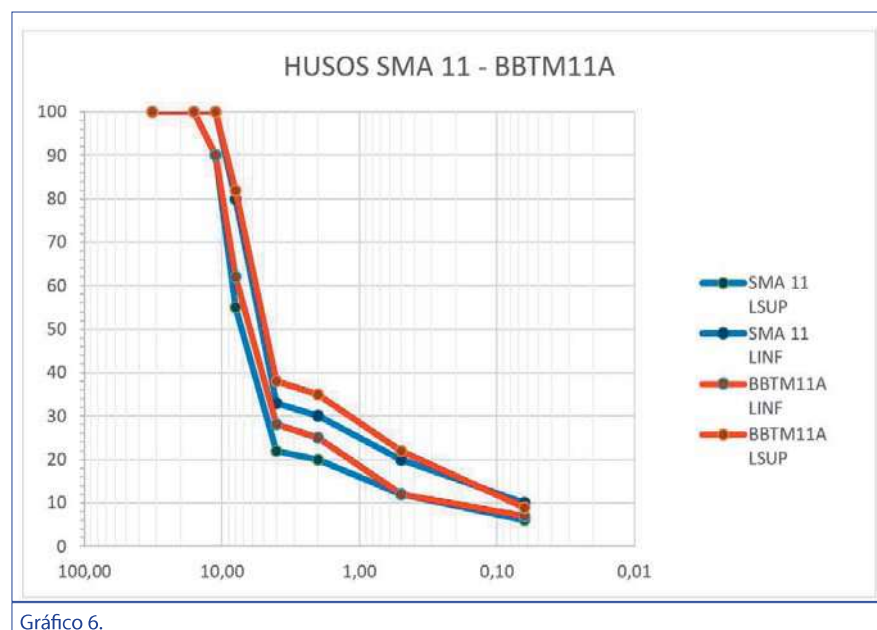


Gráfico 6.

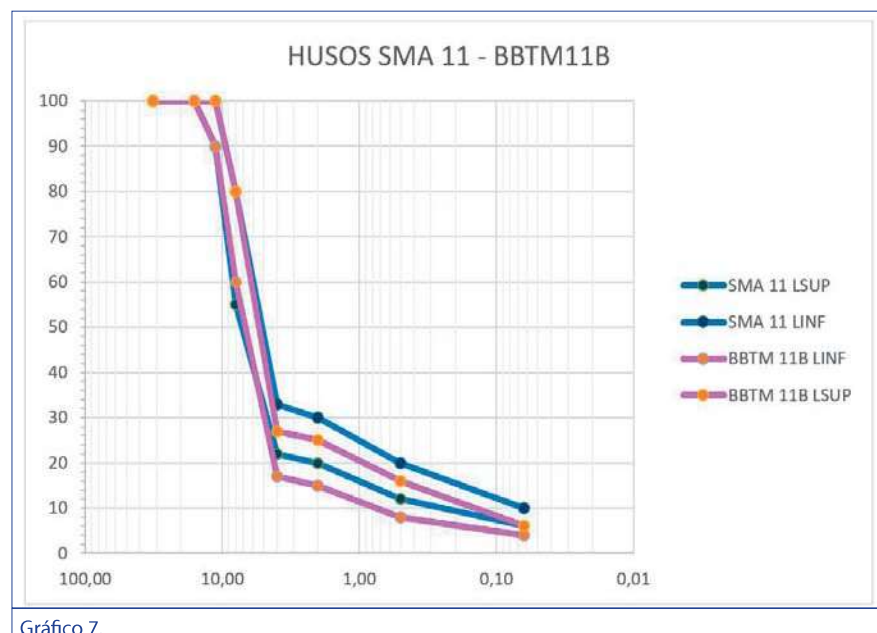


Gráfico 7.

contenido de huecos es bajo y la película de ligante que cubre el árido es gruesa lo que favorece su resistencia al agua, aunque puede tener efectos negativos sobre la resistencia al deslizamiento en los primeros momentos

después de su extendido. Las fibras permiten la incorporación de contenidos de ligante elevados sin que se produzca escurrimiento. Por los mismos motivos anteriores la resistencia a fatiga es alta, con valores de ϵ_6 del

orden de 200 μ def, así como la resistencia a la progresión de las fisuras. Además, se consiguen macrotexturas elevadas lo que proporciona una buena resistencia al deslizamiento y una buena drenabilidad superficial del agua.

3.6. Mezclas ultradelgadas

Las mezclas ultradelgadas son aquellas que se extienden en espesores de 10 a 20 mm, están formadas por una curva granulométrica generalmente discontinua que proporciona un contacto directo árido - árido que le confiere una textura abierta.

Este tipo de mezclas bituminosas están ya prescritas en una norma europea, dentro de la serie 13108, bajo la denominación EN 13108-9:2016, denominada en Europa: Asphalt for Ultra Thin Layer (AUTL).

Son capas monogranulares con tamaño máximo de 5,6 mm que contienen un alto porcentaje de betún, entre el 5-7 % y generalmente adición de fibras.

Se consigue una buena macrotextura negativa, entre 0,8 y 1,2 mm, que proporciona valores de CRT del orden de 80 cuando, además, se utilizan áridos de elevado CPA.

Los mayores problemas que pueden presentar estas mezclas son la falta de adherencia al soporte y la regularidad superficial de la capa de apoyo. Para garantizar la adherencia con el soporte se utilizan, en todo caso para el riego de adherencia, emulsiones muy modificadas e incluso extendedoras con aplicación simultánea del riego.

La regularidad de la capa soporte es necesaria dado que el escaso espesor de la capa ultradelgada no es capaz de corregir los defectos de irregularidad existentes.

En nuestro país, este tipo de capas se han utilizado en diversas obras por varias zonas de España (Aragón, Cataluña, País Valenciano, ...), hasta ahora con buenos resultados.

Estas mezclas pueden ser útiles en la extensión de capas delgadas para la rehabilitación superficial de capas de rodadura, especialmente en casos en que sea necesaria la recuperación del CRT o cuando existan limitaciones de gálibo que aconsejen reducir al máximo el espesor de las capas de recrecido.

3.7. Mezclas sonorreductoras

Mezclas sonorreductoras son aquellas que ayudan a reducir el ruido de rodadura producido por los vehículos.

De acuerdo con la definición de SANDBERG Y EJSMONT, un pavimento silencioso es aquel que, al interactuar con un neumático, influye en el ruido de rodadura de tal forma que se produce una reducción de al menos 3 dB con relación al ruido generado sobre un pavimento convencional.

Se consideran tres fuentes de ruido debido a la circulación de los vehículos:

- Los ruidos debidos a los fenómenos aerodinámicos, que son aquellos que se generan por el movimiento del vehículo dentro de un fluido como es el aire.
- Los ruidos mecánicos debidos al motor, escape y otros de los vehículos.
- El ruido de rodadura generado por el contacto entre el neumático y el pavimento.

A bajas velocidades predomina el ruido mecánico, mientras que a altas velocidades predominan los otros dos.

El ruido aerodinámico depende de la forma de la carrocería del vehículo y es influyente a velocidades muy altas.

Por último, el ruido de rodadura, que es el predominante a partir de 50-60 km/h, se genera por tres fenómenos diferentes:

- Las vibraciones mecánicas debidas al impacto del neumático sobre la carretera, con emisiones dentro del rango de bajas frecuencias entre 300 Hz y 2 kHz.
- Las vibraciones debidas a los fenómenos aerodinámicos producidos por el movimiento del aire en el contacto entre neumático y pavimento, con emisiones en el rango de las frecuencias medias entre 1kHz a 3 kHz.
- Las vibraciones debidas a los fenómenos de adherencia y deslizamiento del neumático sobre el pavimento.

Existe, además, un efecto de amplificación del sonido por reflexión contra las superficies del pavimento y del neumático en la zona próxima al contacto entre ambos, denominado efecto diedro, y ligado, por tanto, a su geometría.

A estos fenómenos de generación de ruido se contraponen la posible absorción sonora del pavimento que depende de la porosidad, la resistencia al paso del aire o permeabilidad y la tortuosidad, así como del espesor de capa.

Un factor que puede reducir la emisión de ruido es la elasticidad del pavimento. Existen diversos estudios que afirman que los pavimentos rígidos generan un mayor ruido que los pavimentos flexibles y, así, es de esperar que pavimentos mucho más elásticos como aquellos que contengan una gran cantidad de elastómeros o los que incorporan caucho por vía seca con tamaños de grano superiores a 1 mm, puedan reducir el ruido al absorber por deformación de su superficie parte de la energía de las ondas incidentes.

Entre las mezclas sonorreductoras de las que podemos disponer actualmente se encuentran:

- Las mezclas drenantes, cuya capacidad de reducción del ruido de rodadura emitido depende del porcentaje de huecos, el espesor y el tamaño máximo del árido. Estas mezclas se pueden disponer en capa simple o doble, en cuyo caso la capa superior es la de menor tamaño máximo, consiguiéndose un mayor efecto de reducción con la capa doble.
- Las mezclas discontinuas cuya capacidad de reducción del ruido obedece a la importante macrotextura negativa.
- Las mezclas SMA por el mismo efecto que las discontinuas
- Las mezclas poroelásticas, aún en fase experimental, que deberían su efecto sobre la reducción de ruido a la absorción de energía por deformación de la capa.

4. CONCLUSIONES

Existe una gran diversidad de posibilidades en cuanto a las mezclas bituminosas a emplear en la construcción de carreteras.

Las mezclas a utilizar en cada caso dependerán de los objetivos a satisfacer, la capa en que se encuentren y de las condiciones de entorno y medios disponibles.

En cualquier caso, siempre se deberá aplicar la solución más sostenible económica, técnica y socialmente, entre las posibles que cumplan las condiciones requeridas.

El reciclado en caliente es una realidad incontestable. La incorporación de fresado a las mezclas bituminosas en caliente debería ser sistemática en proporciones por debajo del 15%. Para proporciones de hasta el 25 % no debería haber ningún problema sobre su incorporación a las mezclas bituminosas en caliente con los estudios previos necesarios. Por encima de esta tasa la necesidad de medios específicos

Rutas Técnica

puede afectar a la generalización de su uso.

El reciclado en frío con emulsión puede ser, ya actualmente, una solución económica y ventajosa para carreteras de bajo tráfico.

Las mezclas de baja temperatura de fabricación y extendido son otra realidad que debería implantarse por razones medioambientales y de mejora de las condiciones de trabajo de los operarios.

En cuanto a las mezclas SMA y las mezclas ultradelgadas existen ya numerosas experiencias que auguran su buen comportamiento. Se deberían experimentar aún más para extender su uso.

Las mezclas SMA compiten por el espacio de las mezclas discontinuas, si bien son más caras al incorporar más betún y aditivos. Deberían demostrar que su durabilidad, no solo ligada a los fenómenos de fatiga, compensa este mayor gasto.

Las mezclas ultradelgadas compiten con los microaglomerados en frío a los que casi doblan en precio. Aunque son claramente ventajosas desde el punto de la emisión de ruido, igualmente deberían demostrar que su durabilidad compensa el mayor gasto.

Las mezclas sonoreductoras son una necesidad en entornos urbanos y áreas sensibles al ruido. Deberían considerarse al diseñar en estas zonas.

5. AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al Comité de Firms de la Asociación Técnica de Carreteras, y en especial a su presidente, sus acertados comentarios al texto del artículo que, sin duda, han servido para mejorarlo tanto en su forma como en su contenido.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Ministerio de Fomento. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes. PG-3"

[2] Dirección General de Carreteras. "Curso de firms". Varios autores. Edición 2015

[3] Payán de Tejada, FJ "Innovación y desarrollo de las mezclas asfálticas en la Red de Carreteras del Estado". Revista Carreteras, nº extraordinario CILA, nov 2013.

[4] Navas Gómez; Espinosa Capella, JL "Evaluación y análisis de obras ejecutadas con áridos procedentes del sector azulejero" IX Jornada Nacional ASEFMA. 2014

[5] Barral, m et al. "Ecomezclas bituminosas y de base cemento para la ejecución de firms de carreteras a partir de materiales alternativos. Proyecto EFCAR." X Jornada Nacional ASEFMA. 2015

[6] Navarro, JA; Vírseda, L.; Ruiz, A. "Estudios sobre áridos a emplear en capas de rodadura en la Diputación Foral de Gipuzkoa" I Congreso Multisectorial de la Carretera. 2015

[7] Colás, M^a M.; Pérez, I; Gelpí, A; "Última generación de polvo de neumáticos fuera de uso para pavimentos de alto rendimiento: proyecto powder road." X Jornada Nacional ASEFMA. 2015

[8] Pérez, i et al "Mezclas asfálticas con betunes modificados con nanotubos de carbono. Diseño y propiedades" X Jornada Nacional ASEFMA. 2015

[9] Payán de Tejada, FJ ""Experiencias de la Administración del Estado con las mezclas bituminosas con polvo de neumático". Jornada Técnica "Mezclas bituminosas con polvo de neumático" Valladolid, 2015

[10] Del Cerro, J. "Mezclas bituminosas en caliente. Experiencias realizadas en la Red de Carreteras del Estado. Provincia de Málaga" VIII Congreso Nacional de Firms

[11] Güell, A et al "Mezclas semicalientes con betunes de baja temperatura de fabricación y extendido. Experiencias realizadas" III Jornada Técnica ASEFMA. 2008

[12] Péra, V et al "Ejecución de una obra a elevada distancia y condiciones

adversas aplicando tecnología de baja temperatura" IX Jornada Nacional ASEFMA. 2014

[13] Pérez Mena, V, et al. "Betún mejorado con caucho de NFU para mezclas de alto módulo" IX Jornada Nacional ASEFMA. 2014

[14] Soto, J.A. et al. "Puesta en obra de una mezcla semicaliente en la N-420 a la altura de Gandesa (Tarragona)." V Jornada Nacional de ASEFMA. 2010F

[15] López, J.R. et al. "Mezclas bituminosas recicladas semicalientes con espuma de betún" X Jornada ASEFMA. 2010

[16] Costa, A et al. "Mezclas SMA (Stone Mastic Asphalt), sostenibles y medioambientalmente amigables" IX Jornada Nacional de ASEFMA. 2014

[17] Rubio, B et al. "Tramo de ensayo a escala real con mezclas bituminosas en caliente de la familia SMA (Norma UNE EN 13108-5)" VII Jornada Nacional ASEFMA. 2012

[18] Rubio, B. et al. "Diseño de mezclas SMA, como capa de rodadura e intermedia para su empleo en España". VII Jornada Nacional ASEFMA. 2012

[19] Pérez, F et al. "El comportamiento a fisuración y por fatiga de las mezclas SMA" VII Jornada Nacional de ASEFMA. 2012

[20] López, JR, et al. "Nuevas mezclas bituminosas ultradelgadas". X Jornada Nacional ASEFMA. 2015

[21] Encarnación, E et al "Experiencia en mezclas fonoabsorbentes" IX Jornada Nacional ASEFMA. 2014

[22] Costa, A "Una mirada hacia el futuro de las mezclas bituminosas" Semana de la Ingeniería de Caminos en Madrid 2015

[23] ASEFMA "Monografía nº 3: Reducción del Ruido Ambiental en Origen. La contribución del sector de las Mezclas Asfálticas"

[24] De León Alonso, L.A. et al. "20 años de mezclas asfálticas con polvo de neumático en las carreteras españolas" SIGNUS ECOVALOR. 2018. ❖