

IAG354-06-2013
RECICLADO TOTAL DE MEZCLA BITUMINOSA.
APLICACIÓN, EXPERIENCIAS REALES Y RESULTADOS
RECICLADOS TEMPERADOS DE TAXA ALTA Y TOTAL

AUTOR: JACINTO LUIS GARCIA SANTIAGO
Director de Tecnología e I+D. SACYR
Madrid, España
jacintoluis@outlook.com

CO-AUTOR: FRANCISCO JOSÉ LUCAS OCHOA
Jefe de Asistencia Técnica y Desarrollo de Asfaltos. Repsol Lubricantes y Especialidades, S.A.
Madrid, España
fjlucaso@repsol.com

RESUMEN

El producto generado por fresado de mezclas bituminosas, en la renovación de las capas deterioradas, está constituido por materiales de alto valor técnico y económico, cuya reutilización es deseable. Ello indicaría la conveniencia del empleo de mezclas que incorporen éste material procedente de fresado en las mezclas de reposición, con una equivalencia prestacional respecto a mezclas sin dicha incorporación. Las nuevas mezclas de reposición pueden incorporar material del fresado generado, como es el caso de mezclas recicladas en caliente en planta. No obstante, las mezclas recicladas en caliente no permiten un reciclado total. Hay técnicas de reciclado a tasa total, como son las de los reciclados en frío con emulsión; sin embargo presentan limitaciones debidas a la necesidad de contar con un período de curado tras su puesta en obra. Por ello, ha parecido de gran interés el desarrollo de una nueva solución de mezcla que permita incorporar tasas mayores de reciclado, con el objetivo claro de alcanzar una tasa total, al 100% y que, a la vez, tuviese un alto nivel de prestaciones mecánicas y funcionales en modo de permitir su empleo en las capas de reposición. Paralelamente, los últimos años en España, han entrado con fuerza tecnologías enfocadas a la reducción de temperaturas de fabricación y aplicación de mezclas bituminosas. Así, una de las técnicas que posibilita esta reducción, son las conocidas mezclas templadas con emulsión bituminosa, las cuales se fabrican y aplican por debajo de los 100°C, con unas magníficas prestaciones en lo relativo a puesta en obra y durabilidad. Estas dos tendencias en desarrollos de mezclas bituminosas para construcción y conservación de carreteras, es lo que ha llevado a Sacyr y a Repsol, a desarrollar, esta tecnología específica, que combina las ventajas de ambas: reciclados a tasa total y reducción de las temperaturas de aplicación.

RESUMO

O produto gerado pela moagem de misturas asfálticas, na renovação das camadas danificadas, é composto de materiais com alto valor técnico e econômico, e cuja reutilização é desejável. Isto

indicaria a conveniência do uso de misturas que integram este material de moagem de misturas de reabastecimento prestacional equivalência no que diz respeito às misturas sem essa incorporação. As novas misturas pode incorporar material de moagem substituição gerado, como no caso da usina de reciclagem de mistura quente. No entanto, as misturas quentes reciclados não permitem a reciclagem completa. Há técnicas para a reciclagem taxa total, são aqueles da emulsão reciclada fria, mas têm limitações devido à necessidade de ter um período de cura após a colocação. Por conseguinte, parecia muito interessante desenvolver uma nova solução para a incorporação de taxas de reciclagem de mistura maior com o objectivo de alcançar uma taxa global claro a 100% e, por sua vez, teve um elevado nível de desempenho características mecânicas e funcionais, de modo a permitir a sua utilização em camadas de substituição. Entretanto, em Espanha, nos últimos anos, as tecnologias de ter entrado fortemente focado na redução da temperatura de fabrico e aplicação de misturas betuminosas. Assim, uma técnica que permite que esta redução são conhecidas misturas quentes com emulsão de betume, o qual é fabricado e aplicado abaixo de 100 ° C, com excelente desempenho no que diz respeito a colocação e durabilidade. Estas duas tendências no desenvolvimento de misturas betuminosas para a construção e manutenção de estradas, o que levou a Sacyr e da Repsol para desenvolver esta tecnologia específica que combina as vantagens de ambos: reciclado e reduzir o total de temperaturas de aplicação da taxa .

1.- INTRODUCCIÓN

La conservación del patrimonio viario implica unas operaciones planificadas de rehabilitación y conservación de su pavimento para mantener su adecuada durabilidad estructural y respuesta funcional. En la tipología de pavimento más extendida, la de los firmes bituminosos, una de las operaciones más habituales y frecuentes es la de fresado y retirada de las mezclas o capas deterioradas y envejecidas y su sustitución (reposición) por mezclas de nueva fabricación.

En esa operación, el producto generado por el fresado de mezclas bituminosas de las capas deterioradas (conocido en la literatura internacional con el acrónimo RAP, Reclaimed Asphalt Pavement), está constituido, en general, por materiales de muy alto valor técnico y económico, cuya reutilización o reciclado es conveniente. Por ello, sería deseable el empleo, en la capa de reposición, de mezclas que incorporen ese RAP generado en el fresado, con la condición de que presenten una equivalencia prestacional respecto a las mezclas convencionales sin RAP adecuadas a dicha capa.

2.- DESARROLLO DE UN NUEVO PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS RECICLADAS TEMPLADAS A TASA TOTAL

2.1.- Introducción y Planteamiento De Su Desarrollo

Al abordar el estudio de las mezclas templadas recicladas a tasa total, se ha detectado la carencia de un procedimiento adecuado para su diseño y caracterización en laboratorio.

Los gránulos del fresado (árido “negro”) presentarían un comportamiento plástico en el rango de las temperaturas previstas para su compactación, 70°C-80°C, que se situaría, en general, por encima del punto de reblandecimiento del ligante viejo que contienen, alejándose del

comportamiento de sólido rígido que muestran los áridos tanto en las mezclas en frío (también el fresado en los reciclados en frío a baja temperatura) como en las mezclas en caliente y reciclados en caliente (en los que se llega a la temperatura de fusión del ligante).

Por ello, el desarrollo de esta nueva metodología para su caracterización en laboratorio debería estar convenientemente contrastada con fabricación y extendidos de mezcla en tramos de ensayo. Este desarrollo se ha planteado con varias etapas interrelacionadas de estudio en laboratorio y pruebas de campo



Figura 1:

2.2.- Fase Inicial: Selección Método Elaboración De Probetas y Energía De Compactación

2.2.1.- Metodología De Elaboración De Probetas, Formulación Para Prueba De Campo

El primer paso ha sido el estudio de envueltas, manejabilidad, temperaturas de mezcla y compactación. De todas las condiciones ensayadas, se eligió la que puede considerarse cercana a unas condiciones convencionales de Obra, fijando los siguientes intervalos de temperaturas: de emulsión: 50°C, de calentamiento del RAP entre 90°C – 100 °C, de mezcla entre 80 °C-90°C y de compactación sobre 70 °C.

2.2.2.- Tramo Inicial De Prueba En Planta

Una vez seleccionada la mezcla se procedió a realizar una primera prueba real en cuanto a fabricación, extensión y compactación de reciclado templado con un 3% de emulsión rejuvenecedora, para poder obtener datos reales de la mezcla fabricada y de la mezcla de la capa.

2.2.3.- Testificación De La Capa Del Tramo De Prueba y Selección De Método Para Probetas

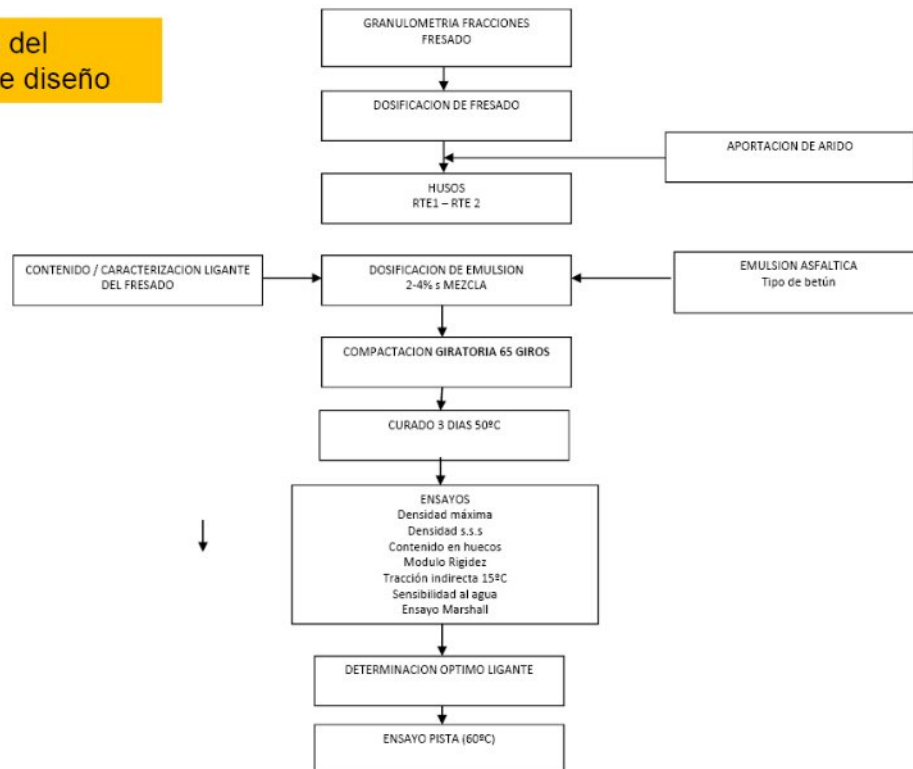
Se procedió, al día siguiente, a una intensa testificación de las capas, para posibilitar un retro-análisis para ajustar el procedimiento de laboratorio más adecuado en cuanto a método de elaboración de probetas cilíndricas. Se extrajeron 51 testigos sobre los que se midieron espesores, densidades, módulos de rigidez a tracción indirecta y resistencias a tracción indirecta en seco.

2.3.- Procedimiento

Con todo ello se procedió a perfilar el procedimiento de laboratorio que se propone como más adecuado para el estudio y caracterización de estas mezclas, basado en el empleo de la compactadora giratoria, y para tener los valores de referencia para el control de calidad de recepción de las mismas en obra.

Posteriormente, se procedió a realizar una validación del mismo, aplicándolo para formular y caracterizar una nueva mezcla con la que se realizó un segundo tramo, a escala real, para la comprobación de la mezcla fabricada y de la resultante en la capa en relación con la previsión de la formulada en laboratorio. Los resultados indicaron la idoneidad del procedimiento, que se detalla en el apartado que sigue.

Esquema del
método de diseño



3.- ESTUDIO DE FORMULACIÓN DE UNA MEZCLA RECICLADA

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

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

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

Previo a su empleo en la mezcla el material procedente del fresado pasa por proceso de pretratamiento de RAP que incorpora la instalación (descrito en el apartado siguiente), que disgrega los tamaños de fresado más grandes y lo clasifica en dos fracciones, 5/25mm y 0/5 mm, para ser dosificadas con un control ponderal de ambas.

Ligantes

Se han considerado dos tipos de emulsiones, una con ligante residual rejuvenecedor de penetración relativamente alta (150/200) y otra con ligante residual convencional de penetración relativamente baja (60/70), con similares porcentajes de concentración de ligante residual.

Las emulsiones empleadas tienen las siguientes características:

Tabla 1: Propiedades de las emulsiones

Propiedad	Norma NLT	Unidad	Rejuvenecedora	Convencional
Viscosidad Saybolt-Furol 25°C	138	s	26	23
pH	195		3.0	3.0
Contenido de agua	137	%	39.0	38.8
Tamizado	142	%	0.01	0.01
Residuo por destilación	139	%	61.1	61.2
Fluidificante en volumen	139	%	0.0	0.0
Penetración del residuo 25°C, 100g, 5s	124	1/10mm	183	66

Dosificación y características de la mezcla

Una vez evaluados los resultados con cada porcentaje de emulsión y tipo, se obtuvo un porcentaje óptimo del 2,5% para ambas emulsiones. La caracterización de ambas mezclas se resume en la tabla siguiente:

Tabla 2: Caracterización de Mezclas

Tipo de emulsión	Mezcla reciclada templada	
	ECL2 reju	ECL2 50/70
Contenido de emulsión	2.5 %	2.5%
Ensayo de Inmersión -Compresión(NLT162)		
Resistencia en seco (MPa)	4.7	
Resistencia conservada	93.6%	
Res. Tracción indirecta a 15°C (Mpa) (UNE EN 12697-23)	1.69	2.13
Resistencia acción del agua, IRC (%)	96.1	97.6
Módulo de rigidez a 20°C a tracción indirecta (Mpa) (UNE EN 12697-26 anexo C)	2638	2891

Módulo dinámico a compresión a 20°C (NLT349) (Mpa) / ángulo desfase (°)	8166 / 17	9964 / 16.5
---	-----------	-------------

Tabla 3: Leyes de fatiga

Tipo de emulsión	Mezcla reciclada templada	
	ECL2 rejuv	ECL2 50/70 (*)
Contenido de emulsión	2.5 %	2.5%
Ensayo de rodadura (UNE 12697-22)		
WTS a 60°C	0.122	0.109
WTS a 50°C	0.114	0.068
Ensayo de fatiga (UNE EN 12697-24)		
Módulo en flexión (Mpa)	5936	6331
ϵ_6	130	143
$y = a * x - b$		
a:	0.0015	0.0015
b:	0.177	0.170

4- TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN

Estas mezclas tienen algunas singularidades respecto a otras mezclas bituminosas, relativas al proceso de fabricación ya que su fabricación, en el entorno de los 90°C, presentan unos problemas específicos, a los que se ha conseguido hacer frente satisfactoriamente tras un importante desarrollo, como son los de:

- Calentamiento directo del material de fresado (RAP). Al no haber transferencia de calor desde áridos sobrecalentados, como ocurre con las mezclas recicladas en caliente, el calentamiento del RAP ha de hacerse de modo que no se dañe o envejezca el ligante del mismo.
- Pegajosidad del RAP caliente. Este ha sido uno de los problemas más complejos, debido a se acentúa precisamente en el entorno de los 80°C-100°C, mientras que superando los 110°C (como ocurre en reciclado en caliente) se aminora o desaparece. Ello ha llevado a unos rediseños sucesivos del circuito de almacenamiento y dosificación del RAP ya calentado, hasta conseguir un funcionamiento adecuado.

Esta planta es una adaptación, específicamente desarrollada para reciclados templados, desarrollada a partir del equipo de fabricación de mezclas recicladas en caliente de alta tasa, con tecnología discontinua, de dos tambores de secado y calentamiento, uno de ellos específico para calentamiento de material de fresado de mezclas bituminosas.

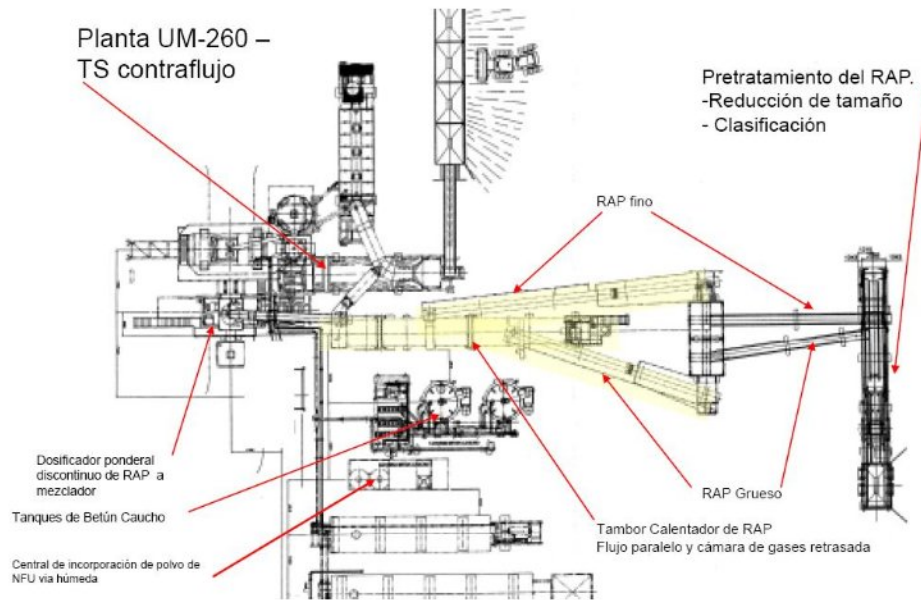


Figura 3: Planta de la disposición de elementos de la instalación

5- EXPERIMENTACION A ESCALA REAL

5.1. Tramo Experimental En La Autovía A1 (Burgos)

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

La mezcla, ha sido extendida como capa intermedia en un tramo experimental ubicado en una vía de servicio de la referida Autovía, con una longitud de 1.300 m, y con categoría de tráfico T2.

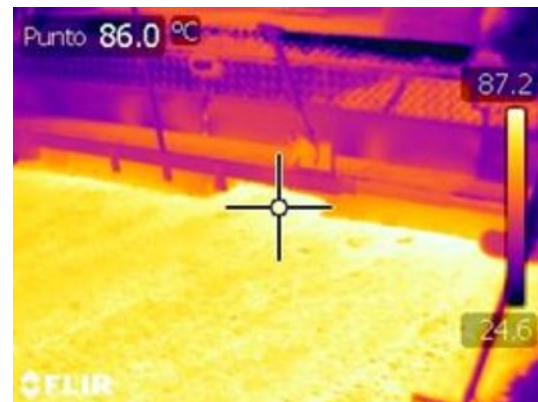


Foto 2: Aplicación en capa intermedia. Termografía de mezcla a salida de regla

Sensibilidad al agua

Los datos obtenidos en el ensayo de Sensibilidad al Agua de probetas fabricadas con la mezcla reciclada templada, según Norma UNE-EN 12697-12, arrojan resultados sobresalientes de resistencia conservada, aunque el contenido de huecos en mezcla se sitúa en el rango de 2,6% a 2,8%, quedando una mezcla muy cerrada.

Tabla 6: Sensibilidad al agua

Resultados/Mezcla	MRT 2,5% 25.06.2012	MRT 3% 25.06.2012	MRT 2.5% 26.06.2012	MRT 3% 26.06.2012
Densidad geométrica, g/cm3.	2.334	2.314	2.348	2.334
Densidad s.s.s., g/cm3.	2.374	2.368	2.374	2.365
% Huecos Mezcla, %VM.	2.3	2.2	2.3	2.3
Modulo Rigidez 20 °C, MPa.	5839	5604	5368	5053
Resistencia Tracción Indirecta Seco, MPa.	3.1	3.0	2.8	2.7
Resistencia Tracción Indirecta Húmedo, MPa.	2.8	2.8	2.6	2.7
Resistencia Conservada, %.	92.6	93.7	92.0	99.3

Ensayo de Rodadura

Los datos obtenidos en el ensayo de Rodadura, según Norma UNE-EN 12697-22, arrojan resultados de pendiente de deformación en pista superiores a 0,1 mm/103 ciclos, aunque cuando se trata de la mezcla reciclada con una adición de emulsión bituminosa del 2,5%, el resultado se acerca mucho a ese punto de referencia:

Tabla 7: Ensayo de rodadura

Resultados/Mezcla	MRT 2,5% Promedio	MRT 3% Promedio
Pendiente de deformación en pista, WTS aire	0,130 mm/10 3 ciclos	0,233 mm/10 3 ciclos
Densidad aparente placas pista (% Huecos Mezcla)	2.361 g/cm3 (2,9% VM)	2.350 g/cm3 (3,2% VM)
Profundidad de la rodera a los 10000 ciclos	3.47 mm	5.08 mm

Ensayos de Testigos de Obra

Tabla 8: Ensayo de testigos

Resultados/Testigo PROMEDIO	2.5 %	3.0 %
Altura, mm.	53.6	55.2
Densidad s.s.s., g/cm3.	2.309	2.250
% Huecos Mezcla, %VM.	5.2	7.4
Modulo Rigidez 20 °C, MPa	4758	3431
Resistencia Tracción Indirecta Seco, MPa.	2.64	2.29
Resistencia Tracción Indirecta Húmedo, MPa.	2.38	2.16
% RC	90.2	94

5.2 Tramo Experimental en la Autovía A-231 (Palencia)

Posteriormente al tramo realizado en Burgos, a finales de Agosto, se procedió a realizar el segundo tramo experimental, con la misma mezcla antes reseñada y con la dosificación de 2.5% de emulsión, esta vez en la Autovía A-231, en la capa intermedia del carril rápido de la calzada, correspondiente a la Dirección General de Carreteras de la Junta de Castilla y León.

Tabla 9: Sensibilidad al agua

PROMEDIO	2.5 %
Altura, mm.	50.2
Densidad s.s.s., g/cm ³ .	2.193
% Huecos Mezcla, %VM.	9.6
Modulo Rigidez 20 °C, MPa	2587
Resistencia Tracción Indirecta Seco, MPa.	1.21
Resistencia Tracción Indirecta Húmedo, MPa.	1.34
% RC	110.7



Foto 3: Testigo de obra con MTRE a tasa total

6.- CONCLUSIONES

El desarrollo de las mezclas recicladas templadas a tasa total con emulsión bituminosas, significan una apuesta decidida por el aprovechamiento de los materiales y la reducción de temperaturas de fabricación y aplicación de las mezclas bituminosas

En el presente artículo, se ha propuesto una metodología específica de diseño en laboratorio de mezclas recicladas templadas a tasa total, debido a que los métodos tradicionales no responden adecuadamente a su diseño, por la naturaleza de los materiales de este tipo de mezclas.

La producción de estas mezclas, necesariamente deben llevar incorporadas tecnologías industriales, que sean capaces de transferir calentamiento al material fresaado sin deteriorar el ligante del mismo.

La ejecución de estas mezclas, no lleva asociada diferencias significativas, respecto a la ejecución de mezclas bituminosas en caliente.

Los tramos experimentales realizados, a fecha de redacción del presente artículo, han presentado un buen comportamiento, sin aparición de deformaciones en ambos tramos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores, quieren expresar su agradecimiento, a todos las administraciones, organizaciones y profesionales, que al margen de las áreas técnicas de Sacyr Construcción y Repsol, han colaborado en el desarrollo de este proyecto cuya duración ha sido de más de 4 años:

- Ministerio de Fomento
- Dirección de Carreteras de la Junta de Castilla y León
- Cedex
- Sacyr Concesiones
- Universidad Politécnica de Cataluña
- Universidad Alfonso X El Sabio
- Ideyco
- Áreas de Producción y Ejecución de Sacyr Construcción
- Áreas Comerciales y de Producción de Repsol Lubricantes y Especialidades S.A.

REFERENCIAS

García Santiago, J.L., Guisado Mateo, F. “Rehabilitación sostenible de pavimentos” 6º Congreso de Ingeniería Civil de Valencia, 2011

García Santiago, J.L. et al. “Influencia de la temperatura de mezcla en las propiedades mecánicas del reciclado en frío” Congreso Latinoamericano del Asfalto. Brasil, 2011

García Santiago, J.L., “Reutilización y reciclado de materiales en la conservación de firmes” Jornada Técnica ACEX. Vitoria, 2011.

García Santiago, J.L. et al. “Reciclado Total de Mezclas Bituminosas a baja temperatura. Una propuesta para su diseño, caracterización y producción” Jornada Técnica Asefma. Madrid, 2011.

González Arias, Julio “Refuerzo de Firmes con mezclas bituminosas experimentales” Proyecto TRACC, Toulouse, 2011

Páez Dueñas, A et al. “Reciclado en frío in situ de Altas prestaciones. Experiencias y resultados.” Congreso de Firmes, Valladolid, 2008

Soto, J.A., Colas, M^a del Mar, Lucas, FJ., Torres, S. “Mezclas Bituminosas adaptadas al cambio climático” Valladolid, 2010