

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

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

Palabras clave: reciclado, baja temperatura, método de diseño

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

Keywords: milling, low temperature, design method

Jacinto Luis García Santiago, jacintoluis@outlook.com

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

1. Introducción

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

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

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

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

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

Una solución adecuada sería la de reutilizar el RAP generado en la propia capa de reposición, evitando residuos o excedentes que podrían destinarse a empleos con menos valorización.

Mezclas utilizables en la reposición, y que puedan incorporar RAP, se encuentran las mezclas recicladas en caliente en planta. No obstante, su tasa de reciclado está limitada (a un 50-60% como máximo ¹) y no permiten un reciclado total, por lo que no es posible con esta técnica volver a colocar en la misma capa todo el RAP generado.

Hay otras técnicas, con capacidad para producir mezclas con tasa total de reciclado, como son las de reciclado en frío con emulsión; sin embargo presentan algunas limitaciones debidas a los períodos de curado y a sus prestaciones mecánicas en los primeros momentos tras su puesta en obra, aunque son indudables sus ventajas de tipo medioambiental.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.1 Introducción y planteamiento de su desarrollo

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

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

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

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

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

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

Este desarrollo se ha planteado con varias etapas interrelacionadas:

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

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

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

2.2 Definición de las condiciones de fabricación y normativa de ensayo

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

2.3 Tramos de prueba

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



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



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

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

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

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

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

Los resultados indicaron la idoneidad del procedimiento.

2.4 Procedimiento de diseño

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

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

Caracterización del fresado y granulometría de la mezcla

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



Figura 3 .- Esquema de diseño.

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

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

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

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

Elaboración y curado de probetas:

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

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

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

Ensayos a realizar

Para cada porcentaje de emulsión se realizarán los siguientes ensayos:

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

Aplicación, experiencias reales y resultados

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

Elección de la formulación óptima

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

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

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

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

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

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

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

3. 1 Material de fresado y composición

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

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

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

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

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

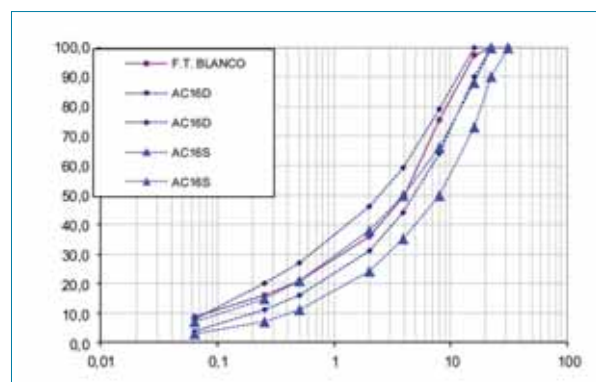


Figura 4 : Huso granulométrico en BLANCO, tras extracción.

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

3.2 Ligantes

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

Tabla 1: Propiedades de las emulsiones.

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

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

3.3 Dosificación y características de la mezcla

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

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

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

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

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

Tabla 2: Caracterización de mezclas.

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

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

Tabla 3: Ensayo de Rodadura y Leyes de fatiga.

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

4. Tecnologías de producción de mezclas templadas con RAP

4.1 Reciclados templados a tasa total

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

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

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

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

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

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

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

Las características más reseñables de la planta de fabricación son:

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

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

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

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

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

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



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

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

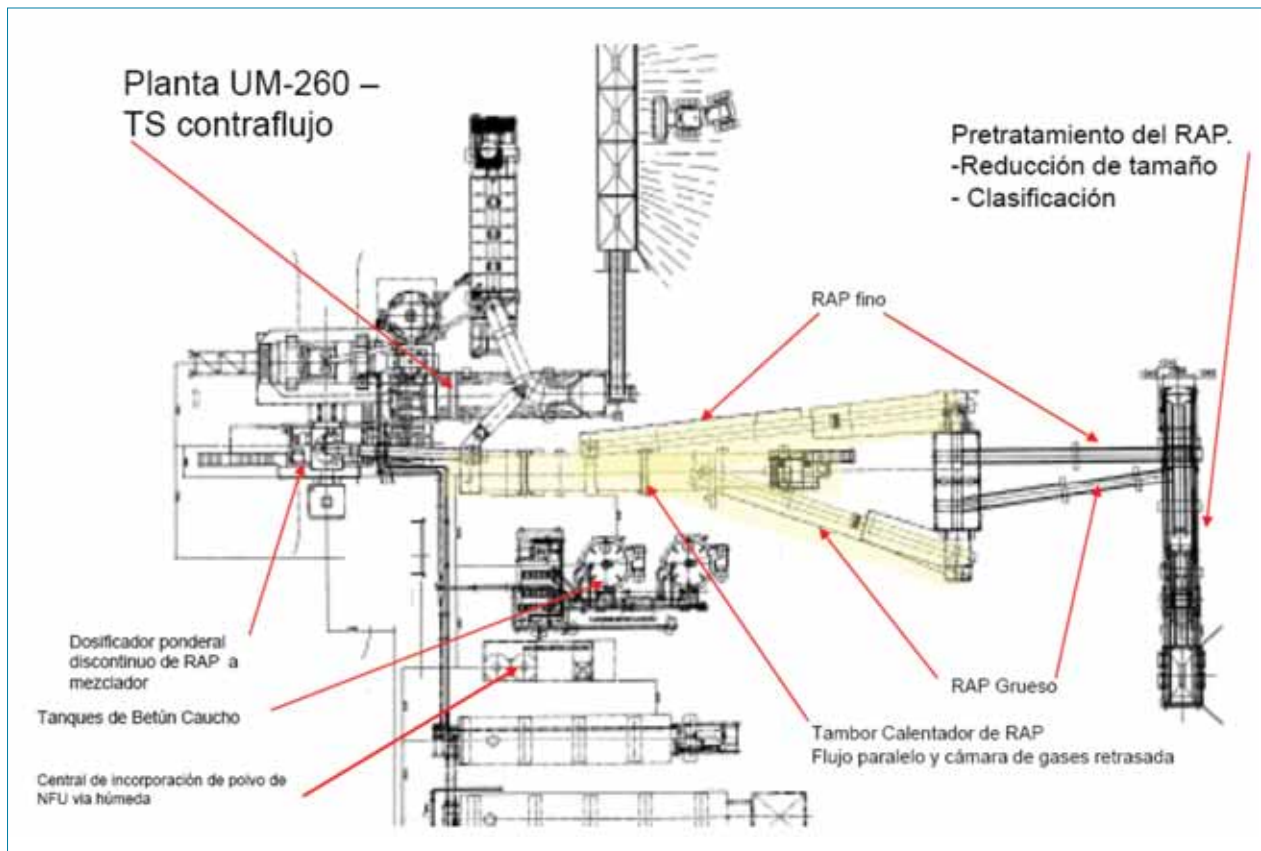


Figura 6- Planta de la disposición de elementos de la instalación.

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



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

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

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

5.1 Tramo Experimental Autovía de Arlanzón (Burgos)

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

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

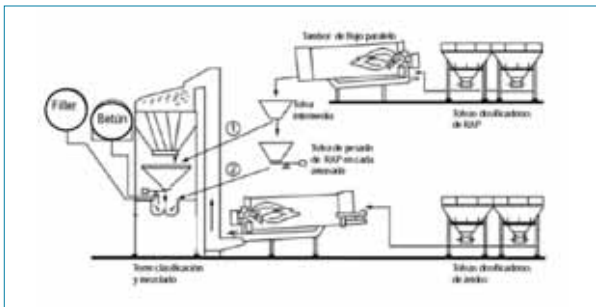


Figura 8 Esquema de fabricación, incorporando RAP clasificado y predosificado al mezclador, con control ponderal.

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

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

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

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



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



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

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

Características de la Mezcla Reciclada fabricada

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

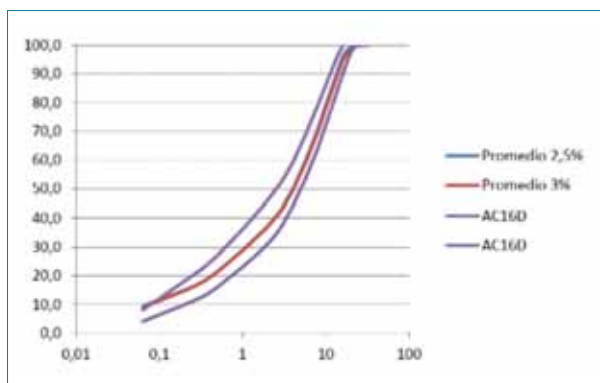


Figura 11: Curvas granulométricas.

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

Ensayos de Testigos de Obra

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



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

Tabla 4: Contenido de ligante.

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

Tabla 5: Resultados ensayos sobre testigos.

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

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

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

Tabla 7. Caracterización del ligante.

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

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

5.2 Tramo Experimental A-231 (Palencia)

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

Se controló de modo similar al tramo antes descrito.

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

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

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

Ensayos sobre testigos de obra

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

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

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

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

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

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



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



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

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

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

La formulación obtenida tenía una aportación de un 3,2% s/a de emulsión tipo C67B7, con un contenido total de ligante del 4,2% s/a, un contenido de huecos del 6%, un resultado en el ensayo de sensibilidad al agua del 86% y, en el ensayo de rodadura, una pendiente de deformación en pista, WTS Aire, de 0,099 mm/10³ ciclos.

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

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

7. Conclusiones

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

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

8. Agradecimientos

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

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

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

9. Bibliografía

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

#8

AFIRMACIONES ASFÁLTICAS

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

#INGENIERÍA