

NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL RECICLADO EN FRIO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.

Antonio Páez Dueñas
Dirección de Tecnología de Repsol
Móstoles. Madrid.España
mail apaezd@repsol.com

Jacinto Luis García Santiago
Grupo SyV
Madrid. España
mail: 'jsantiago@gruposyv.com'

Ramón Tomás Ras
Centro de Investigación Elpidio Sánchez Marcos (CIESM).
Madrid. España
mail: tomas ra@elsamex.com

Juan José Potti Cuervo
Proyecto F énix.
Madrid. España
mail: jjpotti@asefma.com.es

Resumen.

El reciclado de pavimentos asfálticos es una tecnología cuyo uso se incrementará y se irá ampliando en un futuro.

Las razones fundamentales de este incremento serán tanto de índole económica como medioambiental. Desde un punto de vista económico, las carreteras agotadas presentan un valor residual intrínseco que puede aprovecharse mediante técnicas adecuadas de reciclado. Desde un punto de vista medioambiental, el reciclado supone un ahorro en la extracción de áridos, en algunos países vital por la falta de canteras, y en productos derivados del petróleo. La idea que subyace detrás de los reciclados es el uso de la carretera como fuente de materias primas.

La Industria española de los Asfaltos y las mezclas bituminosas, consciente de este reto, incorporó la investigación de los aspectos del Reciclado en Frío. Prueba de ello es que un Proyecto CENIT (www.proyectofenix.es) en que participan mayoritariamente empresas del sector, se contempla el reciclado como una de las tareas del Proyecto.

En este trabajo se presentan las nuevas tecnologías desarrolladas para el reciclado en frío de los pavimentos asfálticos. En el trabajo se exponen los principios básicos del reciclado y la experiencia adquirida tanto en los reciclados en frío. Estos mismos principios se están adaptando a las nuevas necesidades de reciclados en frío de altas prestaciones. La experiencia obtenida hasta ahora, permite constatar los buenos resultados obtenidos.

INTRODUCCIÓN.

El reciclado de los firmes de carreteras es una técnica que se inició en Estados Unidos en los años cincuenta y que ha estado presente en la Península Ibérica desde los años ochenta.

Las primeras obras de esta técnica se realizaron en caliente utilizando tecnología desarrollada por Repsol.

El reciclado en frío con emulsión de rejuvenecedores es una técnica más reciente ya que data de principios de los noventa. Actualmente está volviendo la Tecnología en caliente y se están empezando a realizar actuaciones con altas tasas de pavimento envejecido, mientras que en el Reciclado en Frío se está evolucionando hacia sistemas de Altas Prestaciones, en que se alcanza la cohesión en tiempos mucho menores.

El reciclado de pavimentos envejecidos y su utilización en capas de base presenta las siguientes características:

- Economía de energía y materiales.
- Se consiguen mejoras estructurales o de regularidad manteniendo la rasante.
- Permite la rehabilitación estructural de carriles individuales.
- Conservación medioambiental.

El potencial de desarrollo de esta tecnología es muy grande. Sin embargo para obtener unos resultados adecuados es necesario el conocimiento y la aplicación correcta para cada caso de las técnicas existentes.

En este documento se expone el estado actual de la técnica y se presentan diferentes realizaciones de una técnica cuya importancia pensamos que se irá incrementando en el futuro.

MÉTODO.

El reciclado consiste en reutilizar para capas de base un material que ha estado en servicio durante varios años mediante su tratamiento con un nuevo ligante (betún o emulsión bituminosa), regenerante o no, con o sin aportación de áridos nuevos.

Mediante el método desarrollado por Repsol se realiza un análisis de las deficiencias fisicoquímicas del ligante envejecido del pavimento a reciclar y se prepara un ligante adecuado para corregir dichas deficiencias. En el caso de que se utilicen emulsiones, la emulsión se fabrica partiendo del ligante preparado.

Una de las variantes recientemente desarrolladas, consiste en el tratamiento de reciclado de altas prestaciones. Mediante un sistema de mezcla con cemento y aditivo, se consigue que la mezcla alcance unas cohesiones suficientes para poder colocar la capa de rodadura a las 24 h. En la figura 1 se presenta la evolución del módulo de este nuevo sistema comparado con el convencional. Como puede observarse, tanto las velocidades de curado como las propiedades finales dependen del sistema que se utilice. Mientras que con el sistema reciclado/emulsión se obtienen unos Módulos Resilientes de unos 800 MPa a los siete días, con el sistema emulsión/cemento se llega a los 1800 MPa y con el sistema emulsión/cemento/aditivo a los 2800 MPa.

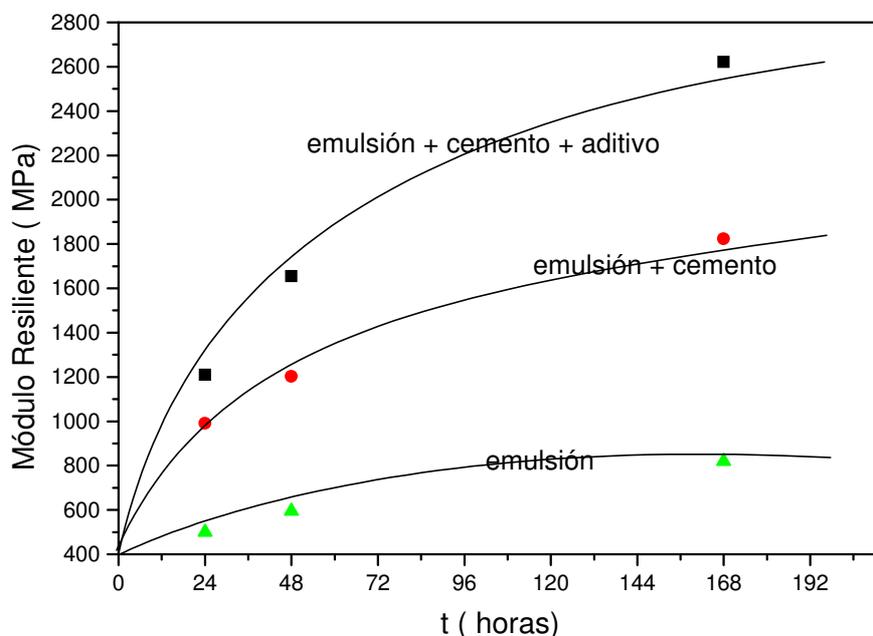


Figura 1. Curado del sistema

Con este sistema si a las 24 horas se perfora el tratamiento con una máquina de sacar testigos, se observa que el corte de la pared era perfecto, sin arrancamiento del árido en toda la profundidad de la perforación (14 cms). Este resultado cualitativo contrasta con una experiencia dilatada de reciclado en frío con emulsión en que la extracción de testigos, con broca mayor, de 15 cms de diámetro y a las dos semanas, resultó un intento vano, ya que la propia perforación arrancaba, en vez de cortar, el árido de la pared, desmoronando ésta.



Figura 2. Perforación de testigo a las 22 horas

Por lo tanto, podemos decir que el sistema permite la colocación de una mezcla en caliente a las 24 horas y que en las 22 horas posteriores es posible sacar testigos, algo impensable con los procedimientos en frío de uso actualmente.

SEGUIMIENTO DE TRAMOS DE OBRA

En España las Técnicas de Reciclado, sobre todo en frío, cuentan con una experiencia de más de diez años. En este tiempo se puede hacer una evaluación de su comportamiento, que ha sido excelente. A lo largo de los años 2004 y 2005, considerando que había transcurrido un tiempo suficiente, se realizaron campañas de recogida de testigos para realizar un seguimiento del estado de las actuaciones en dichas fechas.

Por limitaciones de los ensayos de Inmersión/Compresión y Marshall, solamente se contemplaron los ensayos de Resistencia a Tracción Indirecta y Módulo Resiliente.

Resistencia a tracción indirecta (NLT-346).

El ensayo de tracción indirecta consiste en aplicar una carga de compresión diametral, empleando el mismo procedimiento de carga que en el ensayo anterior, y determinar la tensión que produce su rotura (NLT-360). El ensayo se realiza a una velocidad constante de deformación de los platos de 50.8 mm/min y a una temperatura de 5° C.

Conocida la carga de rotura, la resistencia a compresión diametral a tracción indirecta, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$R_t = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot s \cdot d} \quad (1)$$

Donde:

R_t = Resistencia a tracción indirecta, en MPa.

P = Carga máxima de rotura, en N.

s = Altura de la probeta, en mm.
d = Diámetro de la probeta, en mm.

Resultados típicos para este ensayo son de 1,7- 2, 0 MPa para una mezcla G25, 2,3-3,0 MPa para una G20 y 3,0-3,5 MPa para una S20.

Módulo Resiliente (NLT-360/91).

Los materiales bituminosos tienen un comportamiento visco-elástico, recuperan con el tiempo parte de la deformación producida, una vez retirada las cargas. Esta deformación recuperada se llama resiliente y, por ello, el módulo obtenido en estos ensayos, relación entre la tensión impuesta y la deformación recuperada, se denomina módulo resiliente. Este módulo dinámico suele determinarse a la temperatura de 20° C. Siguiendo la norma española, el módulo resiliente ha sido determinado para una carga senoidal de 0.2 segundos de duración, habiéndose calculado la deformación resiliente al final del pulso de carga (0.2 segundos) y al final del ciclo, 2 segundos.

Valores típicos de este parámetro son para una mezcla G-20 o S-20, 5000-8000 MPa y de 2500 a 3500 en las mezclas recicladas.

Resultados Obtenidos.

Tramo Cañaveral-Cáceres.

Antes de la actuación la carretera se podía subdividir en dos tramos claramente diferenciados. El primero comprendido entre los PK 514 - 528 estaba formado por mezclas en caliente y en frío. El segundo tramo, comprendido entre los PK 528 - 552 estaba constituido exclusivamente por mezclas en caliente.

De forma generalizada la calzada presentaba un aspecto de "piel de cocodrilo" en los dos tramos, sin deformaciones excepto en zonas singulares en las que existían blandones o insuficiente capacidad portante del firme y presencia de fisuras transversales y longitudinales.

Ante la situación anteriormente descrita, se trataba de un pavimento viejo, agotado y roto, se decidió realizar un refuerzo consistente en el reciclado en frío de los doce centímetros superiores y posterior extensión de la mezcla bituminosa en caliente como rodadura.

Tabla 1.- Resultados del estudio de la Fórmula de Trabajo

Emulsión (%)	Resistencia seco (Kg-f)	Resistencia después de inmersión (Kg-f)	Resistencia conservada (%)
TRAMO 1			
2.0	2432	1784	73
2.5	2270	1946	86
3.0	1946	1784	92
TRAMO 2			
2.0	2270	1946	86
2.5	2513	2108	84
3.0	2270	2026	89

Después de los correspondientes estudios de Laboratorio (Tabla 1), se decidió realizar el reciclado con un 2,5% de emulsión de rejuvenecedores. Los resultados obtenidos después de 10 años de servicio, se indican en la tabla 2.

Tabla 2.- Resultados obtenidos en el seguimiento

	Densidad (g/cm ³)	Valor (MPa)
MODULO RESILIENTE		
Promedio	2.257	3570
TRACCION INDIRECTA SECA		
Promedio	2.189	1.5
TRACCIÓN INDIRECTA HÚMEDA		
Promedio	2.227	1.6

Como puede observarse, un módulo medio resiliente instantáneo de 3570 MPa, valor considerado habitual para este tipo de material. Con respecto a los resultados de tracción indirecta se obtiene un valor medio de 1.5 MPa, siendo normal con este tipo de mezclas valores de 1.0 - 1.3 MPa. Asimismo los valores indican una excelente resistencia a la acción del agua, con una alta resistencia conservada, siendo mayor del 100% en los testigos ensayados.

Tramo Zalea- Ardales

Los resultados del ensayo del firme existente antes del reciclado arrojaban altos valores de deflexiones, que impedían la ejecución de una solución clásica de extendido. La solución planteada fue el reciclado completo de las MBC existentes (9 cm) y el extendido de 9 cm de MBC de refuerzo (5 cm de S-20 y 4 cm de S-12). A lo largo de 16,3 Km. La ejecución se realizó a finales del 2001.

Los estudios previos de Laboratorio se recogen en la Tabla 3. El reciclado se realizó con un 2,75% de emulsión de rejuvenecedores. Los resultados obtenidos después de 10 años de servicio, se indican en la tabla 4.

Tabla 3. Resultados de la Fórmula de Trabajo del Reciclado.

% H₂O PREENVUELTA	% EMULSION	SECO	DESPUES INMERSION	RESISTENCIA CONSERVADA
		Kg-f	Kg-f	
3,63	1,5	3377	2591	77
3,25	2,5	2855	2419	84
3,06	3	2384	2147	90

Tabla 4. Resultados del seguimiento

	Densidad (g/cm ³)	Valor (MPa)
MODULO RESILIENTE		
Promedio	2.288	10400
TRACCION INDIRECTA SECA		
Promedio	2.296	2.4
TRACCIÓN INDIRECTA HÚMEDA		
Promedio	2.300	2.5

Los resultados obtenidos presentan un módulo medio resiliente instantáneo de 10400 MPa, valor considerado muy alto para este tipo de material. Este Módulo se acerca mucho más al de una mezcla tipo S en caliente que para un reciclado en Frío. Asimismo se ha obtenido una alta resistencia a la tracción indirecta, con un valor medio de 2.5 MPa, siendo normal con este tipo de mezclas valores de 1.0 - 1.3 MPa. Además se observa un excelente comportamiento de la resistencia a la acción del agua, no presentándose diferencia en la resistencia con las muestras ensayadas en seco.

Tramo de la A-92

Se trata del tramo de autovía comprendida entre el PK 6 y el PK 28 en Sevilla. En el estudio previo al reciclado, el firme presentaba el agotamiento estructural de las capas superiores. El firme presentaba el aspecto de piel de cocodrilo y que con el paso del tiempo había dado lugar a la formación de baches muy concentrado en el carril de vehículos lentos.

Se adoptó la solución de reciclar en frío in situ las mezclas bituminosas deterioradas en una profundidad media de 12 cm (prácticamente todo el paquete del firme) para posteriormente completa la sección con otras tres capas de MBC, una primera capa G25 con regularización de espesor variable, una segunda mezcla densa D20 de 6 cm y una tercera capa de rodadura de MBC drenante PA12.

En la tabla 5, se recogen los resultados del estudio de Laboratorio para obtener la fórmula de trabajo.

Tabla 5.-Estudio de la Fórmula de Trabajo

% H₂O PREENVUELTA	% EMULSION	SECO	DESPUES INMERSION	RESISTENCIA CONSERVADA
		Kg-f	Kg-f	
2,8	2,5	3668	2461	66,4
2,6	3	3289	2343	70,5
2,4	3,5	3239	2521	81

Con estos resultados, se realizó la Obra con un 3,5% de emulsión a finales de 1998 y principios de 1999. Los resultados de seguimiento después de siete años de servicio se indican en la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados obtenidos en el seguimiento.

	Densidad (g/cm ³)	Valor (MPa)
MODULO RESILIENTE		
Promedio	2.336	5116
TRACCION INDIRECTA SECA		
Promedio	2.317	2.38

Se han obtenido unas altas resistencias, por encima de los 1.5 MPa en todos los casos y en bastantes casos valores superiores a los 3.0 MPa. El valor medio obtenido es de 2.30 MPa. Este valor es el que suele obtenerse normalmente en mezclas tipo G-20 fabricadas en caliente.

Con respecto al módulo resiliente, los valores obtenidos son altos, similares a los obtenidos habitualmente en mezclas en caliente tipo G-20 o S-20, 5000-8000 MPa. Aunque en este caso se observa una mayor variación de los valores medidos y se aprecian también algunos valores mas bajos, de 2000 MPa.

Tramo Zafra-Llerena

Antes de la realización de la actuación, el firme presentaba un estado de fisuración muy extendido con presencia de roderas en piel de cocodrilo , llegando incluso, en las zonas de peor estado, a pérdidas de material de las capas superiores del firme. La estructura del firme existente estaba constituida por MBC de 12 cm sobre 50 cm de zahorra artificial. Se procedió al reciclado de 68.000 m² con una profundidad de 9 cm. Sobre la capa reciclada se extendió una capa intermedia de 8 y 6 cm y una rodadura de 6 cm.

Los resultados previos de estudio de la mezcla se recogen en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados de estudio de la fórmula de trabajo

% H₂O PREENVUEL.	% EMULSION	SECO	DESPUES INMERSION	RESISTENCIA CONSERVADA
		Kg-f	Kg-f	
2,0	2,5	3790	3490	66,4
1,8	3	3560	3530	70,5
1,6	3,5	3610	3110	81

A partir de estos resultados se decidió realizar el reciclado con un 2,5% de emulsión de rejuvenecedores. La Obra se realizó a finales de 1999. Los resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla después de siete años de servicio se indican en la Tabla 8.

Tabla 8. Resultados del seguimiento

	Densidad (g/cm ³)	Valor (MPa)
MODULO RESILIENTE		
Promedio	2.355	5464
TRACCION INDIRECTA SECA		
Promedio	2.359	2.64

Los valores de resistencia obtenidos para estos testigos són altos, entre 2.0 a 3.0 MPa, valores que corresponden a mezclas en caliente tipo G-20, siendo la densidad media de los testigos de 2.359 g/cm³ y su resistencia de 2.64 MPa. El valor medio obtenido para el módulo resiliente de esta mezcla es de 5464 MPa, que como se ha comentado anteriormente es un valor más alto que los que hasta ahora se estaban obteniendo en mezclas recicladas en frío y que resulta similar al de una mezcla en caliente tipo G-20.

CONCLUSIONES.

A lo largo de este Trabajo se han ido exponiendo diferentes conclusiones que sería muy prolijo enumerar. Sin embargo, y como síntesis de todas ellas, podemos decir que el reciclado con rejuvenecedor es una tecnología eficaz, perfectamente desarrollada y que conduce a una reutilización adecuada del material de carreteras agotadas a un precio muy competitivo con otras técnicas.

Las nuevas tecnologías desarrollados permiten la colocación de una mezcla en caliente a las 24 horas y que en las 22 horas posteriores es posible sacar testigos, algo impensable con los procedimientos en frío de uso actualmente.

De todo el trabajo, creemos muy relevante y así lo señalamos en este apartado de conclusiones los ensayos mecánicos, Tracción Indirecta y Módulo Resiliente, realizados sobre los testigos procedentes de las capas recicladas en frío con emulsión ponen de manifiesto que las capas recicladas con emulsiones de rejuvenecedores presentan una gran cohesión y un elevado módulo, similares al de una mezcla nueva en caliente tipo grueso.

Estos resultados tan elevados solamente pueden explicarse si existe una difusión efectiva del rejuvenecedor a través del betún envejecido de la mezcla.

REFERENCIAS

Davidson, Donald D. , Canessa, V. , Escobar , Steven,J. (1997). Recycling of Substandards or Deteriorated Asphalt Pavements- A Guideline for Design Procedures, *Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists*,

Asphalt Institute (1979). A Basic Asphalt Emulsion Manual, 2nd Edition.

Rogge, D.F. , Scholz, T.V. ,Hicks, R.G. (1992) .Asphalt Concrete Pavement Preservation with Cold In-Place Recycling. *7th International Conference on Asphalt Pavements*.