

# Pavimentos flexibles

## Evaluación de los métodos de reciclado y rehabilitación de firmes a partir del análisis de los tramos experimentales del proyecto europeo PARAMIX

Ing. Rodrigo Miró Recasens  
Universidad Politécnica de Cataluña, España  
[r.miro@upc.edu](mailto:r.miro@upc.edu)  
Ing. Mauricio Centeno Ortiz, Ing. Adriana Martínez e  
Ing. Félix Pérez Jiménez  
Universidad Politécnica de Cataluña, España

### Resumen

La reutilización del material procedente del fresado de pavimentos asfálticos envejecidos en la fabricación de nuevas mezclas bituminosas permite reducir tanto el empleo de nuevos materiales (áridos y betún) como la cantidad de residuos asfálticos en los vertederos, lo que representa grandes ventajas desde el punto de vista ecológico y económico, que hacen que el reciclado se haya convertido en una alternativa de gran interés, cada vez más utilizada, en la conservación y rehabilitación de los firmes de carreteras.

En este trabajo se pretende ampliar la experiencia y el conocimiento sobre el comportamiento de las mezclas recicladas, a través del análisis del comportamiento estructural de firmes que incorporan este tipo de mezclas, fabricadas tanto en frío como en caliente, en los tramos experimentales realizados dentro del proyecto europeo de investigación PARAMIX (Road pavement rehabilitation techniques using enhanced asphalt mixtures), financiado por la Comunidad Europea, cuyo objetivo fundamental era el de mejorar los materiales, el diseño y las técnicas de construcción para la rehabilitación de firmes utilizando mezclas recicladas.

En primer lugar, se describen las intervenciones de rehabilitación y los tipos de mezcla utilizados en los diferentes tramos y, en segundo lugar, se analizan las deflexiones medidas antes y después de cada rehabilitación, así como los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre los testigos extraídos, a partir de los cuales es posible estimar el periodo de servicio de las diferentes secciones de firme.

**Palabras Clave:** Reciclado, rehabilitación, pavimento, proyecto PARAMIX.

### Abstract

*The recycled material from milled aged asphalt pavements used to make new asphalt mixtures allows to reduce the use of new materials (aggregates and asphalt) as well as the quantity of asphalt residues left in the dumps. This represents huge advantages from the economic and ecological point of view, which make pavement recycling to become a great alternative to be used more and more in the conservation and rehabilitation of pavements.*

*This research try to increase the experience and knowledge about recycled mixtures performance, through an analysis of the pavements structural response on hot mixtures as well as cold ones on trial sections made in the european research project PARAMIX (Road pavement rehabilitation techniques using enhanced asphalt mix), sponsored by the European Union. The fundamental objective was to improved materials,*

*design and construction techniques for pavements rehabilitation using recycled mixtures.*

*First of all, this research describes the rehabilitation actions and what types of mixtures were used in the different trial sections. In addition, deflections are analyzed before and after each rehabilitation, as well as the test laboratory results made with extracted samples, which make possible to estimate the service period of the different pavement sections.*

**Keywords:** recycled, rehabilitaci3n, pavement, PARAMIX Project.

### 1. Introducci3n

Las t3cnicas de reciclado permiten aprovechar tanto el bet3n como los 3ridos existentes en las capas asfálticas de un firme antiguo para su rehabilitaci3n o para la construcci3n de firmes nuevos, evitando as3 la explotaci3n innecesaria de bancos de materiales y el transporte de estos hasta su lugar de utilizaci3n. Al disminuir la cantidad de materiales utilizados, existe un ahorro econ3mico y una menor afecci3n al medio ambiente, evitándose en parte la toma de medidas correctivas y/o preventivas para algunos impactos ambientales generados por la construcci3n o rehabilitaci3n de carreteras, que representan un gasto innecesario desde el punto de vista de una cultura de reutilizaci3n de materiales.

Sin embargo, no todo son ventajas en el reciclado de firmes, ya que desde el punto de vista t3cnico, la utilizaci3n del material procedente del fresado de pavimentos antiguos, denominado gen3ricamente RAP (Reclaimed Asphalt Pavement), modifica el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas a las que se incorpora, ya sea porque los 3ridos producidos durante el fresado no tienen una granulometr3a estandarizada o porque estos 3ridos reutilizados est3n envueltos por bet3n envejecido, que lleva a obtener una mezcla m3s r3gida y probablemente m3s frágil de lo que ser3a en el caso de utilizar un 3rido virgen.

**Tabla 1** *Fórmula de trabajo de las mezclas S-20 recicladas en caliente para capa de base*

Características de la mezcla	Betún convencional		Betún alto módulo BmAM
	B-80/100	B-150/200	
	30% RAP	50% RAP	30% RAP
Contenido de betún (%)	4,5	4,5	5,2
Relación filler/betún (en peso)	1,2	1,3	1,3
Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> )	2,414	2,432	2,396
Estabilidad Marshall (kN)	17,1	16,1	21,0
Deformación Marshall (mm)	2,8	2,7	2,0
Huecos en mezcla (%)	3,6	2,9	3,4
Huecos en áridos (%)	13,7	13,1	14,9

**Tabla 2** *Fórmula de trabajo de las mezclas SMA recicladas en caliente para rodadura*

Características de la mezcla	Betún modificado con polímeros BmP	
	10% RAP	30% RAP
Contenido de betún (%)	5,7	5,5
Relación filler/betún (en peso)	1,5	1,5
Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> )	2,350	2,386
Estabilidad Marshall (kN)	9,3	13,0
Resistencia a tracción indirecta, en seco (MPa)	3,1	2,9
Resistencia a tracción indirecta, en húmedo (MPa)	4,7	4,7
Resistencia conservada (%)	17,1	15,4

**Tabla 3** *Fórmula de trabajo de las mezclas recicladas en frío*

Características de la mezcla	ECL-2	ECL-2-m	ECL-2-r
Emulsión (%)	3,0	3,0	3,0
Agua (%)	1,0	1,5	1,5
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2,18	2,18	2,18
Resistencia a tracción indirecta, en seco (MPa)	1,7	1,7	1,8
Resistencia a tracción indirecta, en húmedo (MPa)	1,4	1,3	1,4
Resistencia en áridos (%)	83	75	75

Durante estos últimos años, ha habido una gran preocupación por estudiar las propiedades de las mezclas recicladas, con el propósito de beneficiarse de las ventajas de esta técnica sin disminuir la calidad

respecto a las mezclas convencionales. El trabajo aquí mostrado pretende acrecentar la experiencia y el conocimiento sobre el comportamiento de las mezclas recicladas, tanto en frío como en caliente, particularmente en lo que respecta a su aportación estructural al firme.

Por ello, se ha analizado el comportamiento estructural de las diferentes actuaciones de rehabilitación con mezclas recicladas, llevadas a cabo en los tramos experimentales del proyecto PARAMIX (Road Pavement Rehabilitation Techniques Using Enhanced Asphalt Mixtures). Este proyecto de investigación, financiado por la Comunidad Europea en el marco de su programa Competitive and Sustainable Growth, pretendía, fundamentalmente, analizar los condicionantes de las técnicas de reciclado y proponer mejoras en los diferentes ámbitos involucrados -materiales, maquinaria, diseño y construcción-, con una visión conjunta e integradora, con objeto de mejorar los procesos, el producto final y su vida útil.

En particular se han analizado las deflexiones medidas sobre el firme de los tramos experimentales, antes y después de cada una de las diferentes actuaciones de rehabilitación con capas recicladas, así como los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre los testigos extraídos de los mismos tramos, a partir de los cuales es posible estimar el periodo de servicio de las diferentes secciones de firme.

## 2. Actuaciones de Rehabilitación

Durante los meses de septiembre del 2002 a enero del 2003, se llevaron a cabo, en el marco del proyecto europeo de investigación PARAMIX, diferentes actuaciones de rehabilitación sobre la carretera C-58, próxima a Barcelona, utilizando diferentes tipos de mezclas recicladas, que constituyen un total de 11 tramos experimentales, con una extensión aproximada de entre 300 y 400 metros cada uno. Algunos de los tramos se rehabilitaron con un refuerzo de mezcla convencional fabricada en caliente, para disponer de tramos de referencia. La categoría de tráfico pesado que soportaba la carretera en el momento de las actuaciones era T1.

El antiguo firme estaba compuesto por cuatro capas bituminosas, de aproximadamente 23 cm, apoyadas sobre una capa granular de 15 cm. Las capas asfálticas fueron fresadas en una profundidad variable, dependiendo de la actuación llevada a cabo en cada sección. El material procedente del fresado tenía un contenido medio de betún del 4,3% en peso de áridos,

con una penetración de  $9 \times 10^{-1}$  mm y un punto de reblandecimiento de 72,5 °C.

A partir de este material, se diseñó una mezcla reciclada en caliente, tipo S-20, a utilizar como capa de base, incorporando dos porcentajes de RAP, 30% y 50%, con betunes de penetración B-80/100 y B-150/200, respectivamente. Adicionalmente, para la mezcla con el 30% de RAP, se utilizó un betún modificado con polímeros de baja penetración, que denominaremos BmAM (betún modificado de alto módulo).

Un segundo tipo de mezcla reciclada en caliente fue diseñada para utilizarse como capa de rodadura. Se trata de una mezcla fina, tipo SMA, con un 10% y un 30% de un RAP que procedía, únicamente, del fresado de las viejas capas de rodadura. Este RAP tenía un contenido medio de betún del 4,7%, con una penetración de  $8 \times 10^{-1}$  mm y un punto de reblandecimiento de 77,5 °C. Para estas mezclas se utilizaron exclusivamente betunes modificados con polímeros (BmP).

Para el reciclado en frío se utilizaron tres tipos de emulsiones catiónicas de rotura lenta: una emulsión convencional ECL-2 con betún base de penetración 90, una emulsión con agentes rejuvenecedores (ECL-2-r) con betún base de penetración 150 y una emulsión modificada con polímeros (ECL-2-m) con betún base de penetración 90.

Algunas de las secciones fueron rehabilitadas, únicamente, con un refuerzo convencional empleando una mezcla semidensa nueva (sin RAP), tipo S-12, fabricada con un betún de penetración B-60/70.

Las fórmulas de trabajo de las mezclas recicladas utilizadas para las distintas actuaciones de rehabilitación, Tablas 1, 2 y 3, fueron definidas a partir de las especificaciones españolas para mezclas convencionales. La fórmula de trabajo para la mezcla S-12 convencional se recoge en la Tabla 4.

En la Tabla 5 se muestra la ubicación y la descripción de cada una de las actuaciones de rehabilitación llevadas a cabo en las secciones experimentales. La referencia carril derecho (D) o carril izquierdo (I), corresponde a la dirección ascendente o descendente de la carretera, respectivamente.

Todas las secciones de los tramos experimentales con mezcla reciclada se terminaron con una capa de rodadura de mezcla convencional en caliente, tipo S-12,

Características de la mezcla	Betún convencional B-60/70
Contenido de betún (%)	4,7
Relación filler/betún (en peso)	1,0
Densidad máxima (g/cm <sup>3</sup> )	2,379
Estabilidad Marshall (kN)	15,0
Deformación Marshall (mm)	3,2

Tramo	P.K. de obra*	Carril	Espesor (cm)	Actuación
1	0+480 al 0+800	D	10	Reciclado en frío con ECL-2
		I		
2	0+800 al 1+115	D	10	Refuerzo S-12, sin RAP, B-60/70
		I		
3	1+440 al 1+740	D	15	Reciclado en caliente S-20, 30% RAP, BmAM
		I		
4	1+740 al 2+020	D	15	Reciclado en caliente S-20, 30% RAP, BmAM
		I		
5	2+750 al 3+160	D	15	Reciclado en caliente S-20, 50% RAP, B-150/200
		I	5	Refuerzo convencional S-12, sin RAP, B-60/70
6	3+160 al 3+540	D	5	Refuerzo convencional S-12, sin RAP, B-60/70
		I	10	Reciclado en frío con ECL-2-m
7	3+540 al 4+005	D	10	Reciclado en caliente S-20, 30% RAP, B-80/100
		I		Refuerzo convencional S-12, sin RAP, B-60/70
8	4+005 al 4+290	D	5	Refuerzo convencional S-12, sin RAP, B-60/70
		I		
9	4+290 al 4+660	D	10+10	S-20, 50% RAP, B-150/200 + Rec. frío, ECL-2-m
		I	15	Reciclado en frío con ECL-2
10	4+730 al 5+040	D	2,5	Reciclado en caliente SMA, 30% RAP, BmP
		I	2,5	Reciclado en caliente SMA, 10% RAP, BmP
11	5+040 al 5+350	D	15+2,5	Rec. frío, ECL-2-r + SMA, 10% RAP, BmP
		I	5+2,5	S-12, sin RAP, B-60/70 + SMA, 10% RAP, BmP

(\* el P.K. de obra 0+000 corresponde al P.K. 23+358 de la carretera

de 5 cm de espesor, excepto las secciones de los tramos 10 y 11, en ambos sentidos, cuya capa de rodadura estaba formada por la mezcla tipo SMA reciclada en caliente, de 2,5 cm de espesor, extendida tras fresar la vieja capa de rodadura.

Tabla 6

Deflexiones medias por tramo obtenidas con el FWD

Tramo	Tipo de actuación	Carril	Deflexiones (mm/100)		
			Antes	Después	$\Delta\delta$
1	Reciclado en frío	D	44	41	-3
		I	40	38	-2
2	Refuerzo convencional	D	36	27	-9
		I	47	27	-20
3	Reciclado en caliente	D	56	34	-22
		I	43	26	-17
4	Reciclado en caliente	D	39	28	-11
		I	53	26	-27
5	Reciclado en caliente	D	43	25	-18
	Refuerzo convencional	I	32	-	-
6	Refuerzo convencional	D	42	-	-
	Reciclado en frío	I	33	-	-
7	Reciclado en caliente	D	40	25	-15
	Refuerzo convencional	I	32	-	-
8	Refuerzo convencional	D	36	27	-9
		I	31	26	-5
9	Reciclado en caliente y frío	D	46	26	-20
	Reciclado en frío	I	38	33	-5
10	Reciclado en caliente (rod)	D	42	31	-11
		I	35	30	-5
11	Reciclado en frío	D	44	23	-21
	Refuerzo convencional	I	45	-	-

### 3. Deflexiones antes y después de la rehabilitación

Como se ha indicado anteriormente, se realizó una campaña de medición de deflexiones antes y después (un año aproximadamente) de la rehabilitación de los tramos experimentales. El equipo utilizado para la medición de deflexiones fue el deflectómetro de impacto (FWD), con una carga de 65 kN.

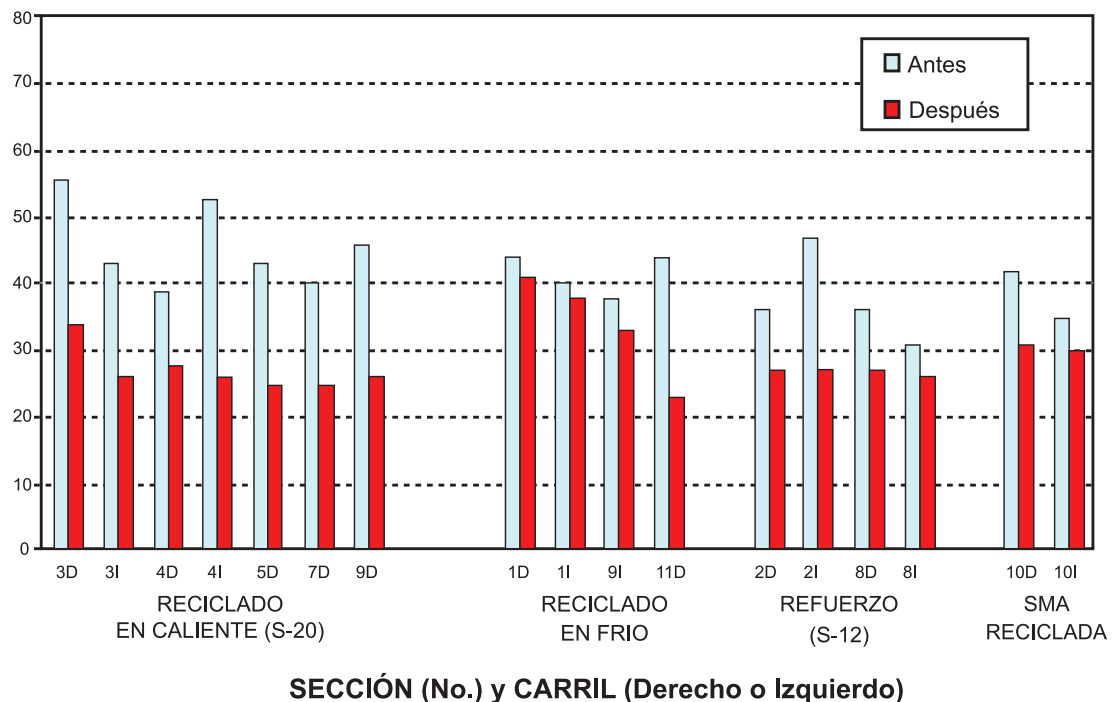
En la Tabla 6 se presentan las deflexiones medias, corregidas por la temperatura del firme y por la humedad de la explanada, de cada uno de los tramos, antes y después de la correspondiente actuación de rehabilitación. En ella se puede observar una disminución generalizada de las deflexiones como consecuencia de la rehabilitación llevada a cabo en cada uno de los tramos.

No obstante, la disminución de las deflexiones es diferente para cada tipo de actuación, como puede apreciarse en la Figura 1, donde se han agrupado las deflexiones por tipo de actuación y por técnica de reciclado, incluyendo los resultados para los refuerzos con mezcla convencional a modo de referencia.

La técnica de rehabilitación que más redujo las deflexiones fue realizada con mezclas recicladas en caliente, con una reducción entre  $11 \times 10^{-2} \text{mm}$  y  $27 \times 10^{-2} \text{mm}$ ; de éstas, las mezclas que disminuyeron

Figura 1

Deflexiones medias de cada tramo antes y después de cada actuación



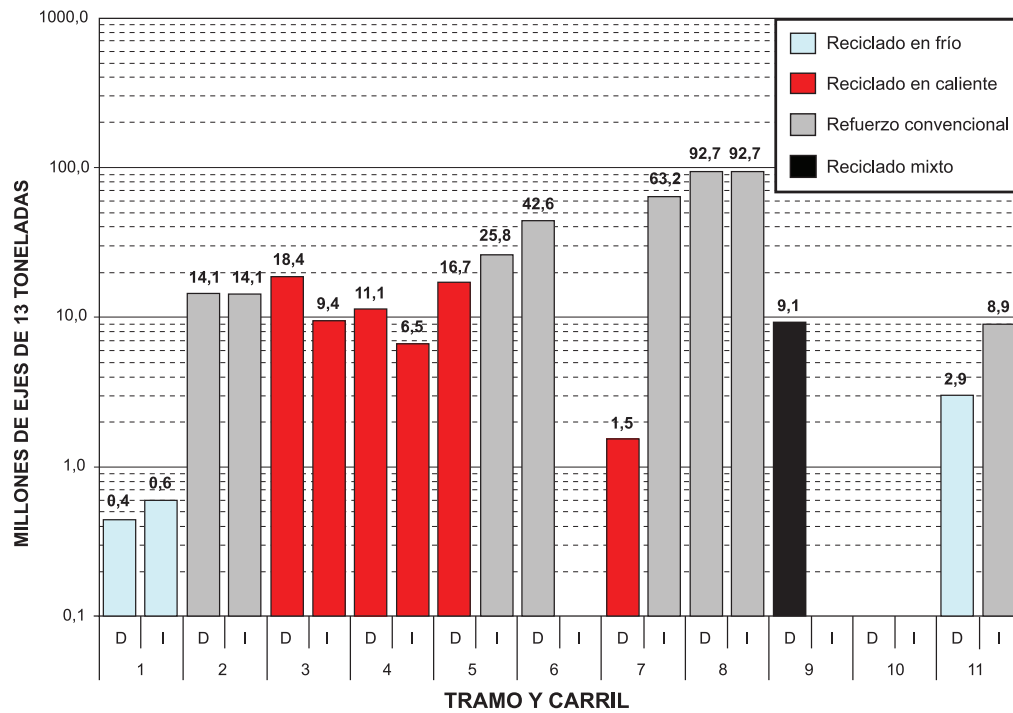
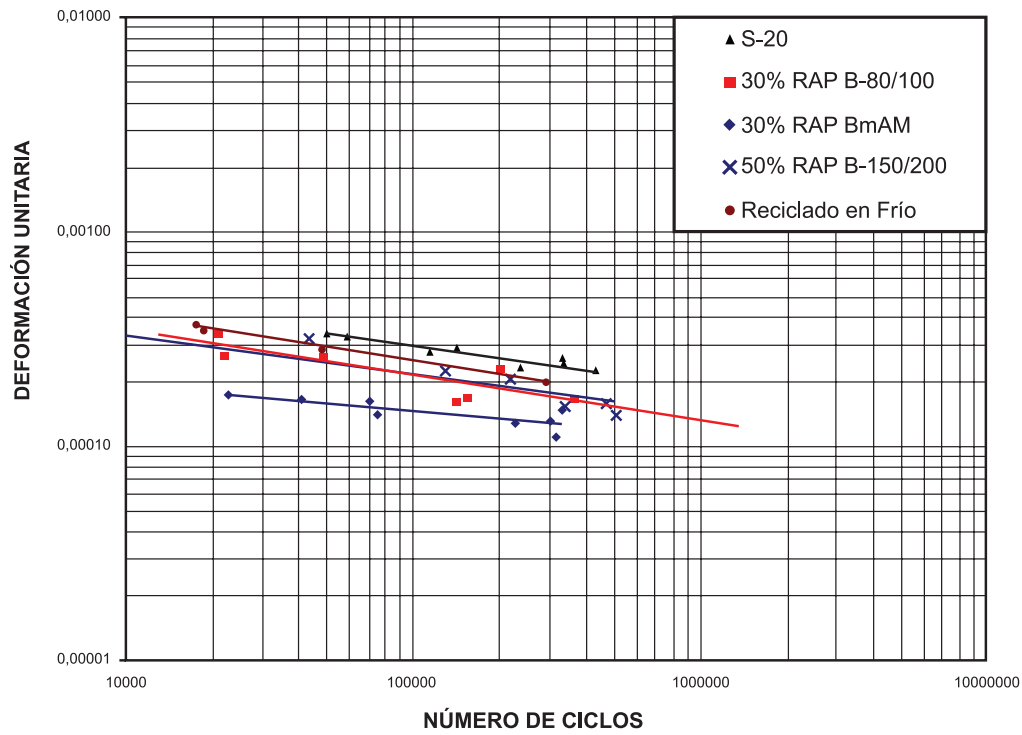


Tabla 7

Resultados de los ensayos de laboratorio sobre los testigos extraídos

Tipo de actuación	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Tracción indirecta	Módulo Resiliente (MPa)
<b>Mezclas en caliente</b>			
30% de RAP con BmAM	2,405	3,5	9302
50% de RAP con B-150/200	2,399	2,7	8789
30% de RAP con B-80/100	2,373	2,6	7019
<b>Mezclas en frío</b>			
Mezcla con ECL-2-r	2,263	2,2	6293
Mezcla con ECL-2-m	2,280	1,4	4477
Mezcla con ECL-2	2,192	1,6	4415
<b>Mezclas convencionales</b>			
Mezcla convencional en caliente con B-60/70	2,276	2,6	6452

más las deflexiones, fueron las que incorporaron betún modificado de alto módulo (tramo 4I). Estos resultados eran en cierto modo predecibles, ya que es lógico esperar que las secciones con mezclas más rígidas, en este caso las que incorporan betún modificado de alto módulo, tengan una menor deflexión.

En cuanto a la rehabilitación con mezclas recicladas en frío, se observa, en general, una disminución de las deflexiones sensiblemente inferior a la anterior, oscilando entre  $2 \times 10^{-2}$  mm y  $5 \times 10^{-2}$  mm. No obstante, en la sección en la que se utilizó la emulsión con rejuvenecedores (tramo 11D), esta reducción fue de  $21,10^{-2}$  mm, equiparable a la de una actuación de reciclado en caliente; este hecho ha sido corroborado a partir de otras actuaciones en las que se ha utilizado el mismo tipo de emulsión con rejuvenecedores.

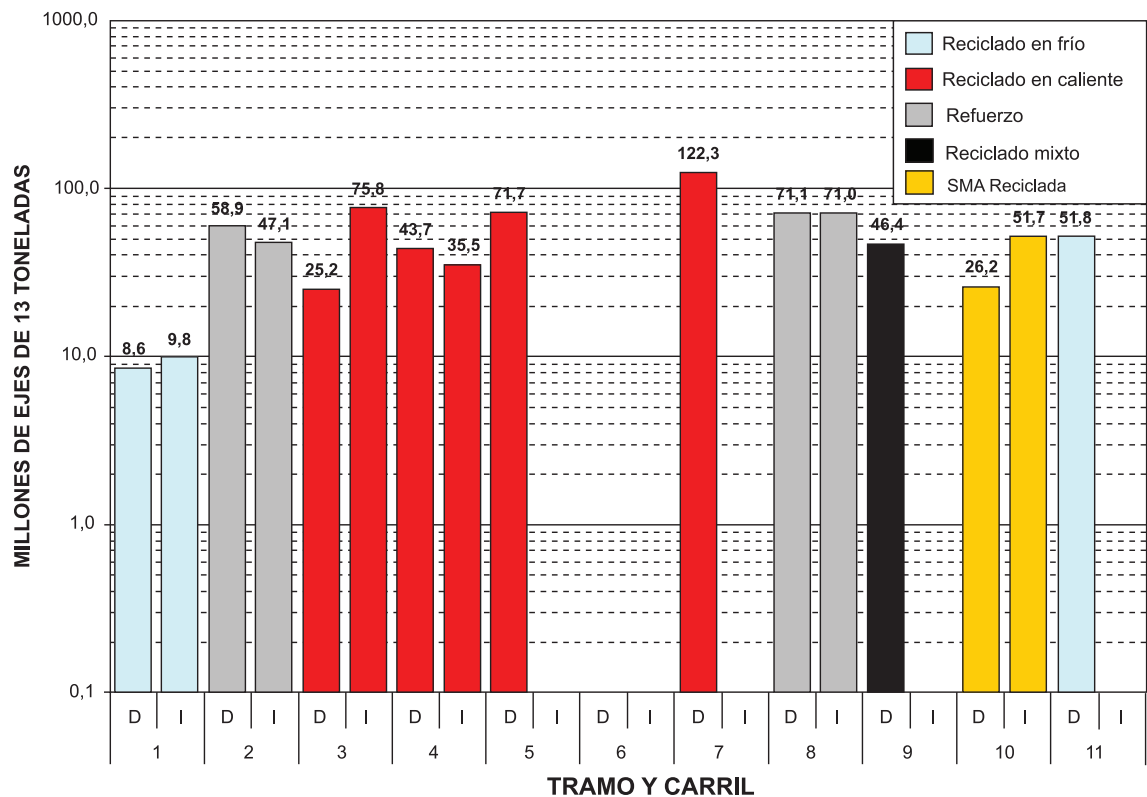
En los tramos rehabilitados únicamente a partir del reciclado de la capa de rodadura con las mezclas de granulometría discontinua, tipo SMA, las deflexiones disminuyeron entre  $5 \times 10^{-2}$  mm y  $11 \times 10^{-2}$  mm, valores muy similares a los obtenidos a partir de un refuerzo convencional.

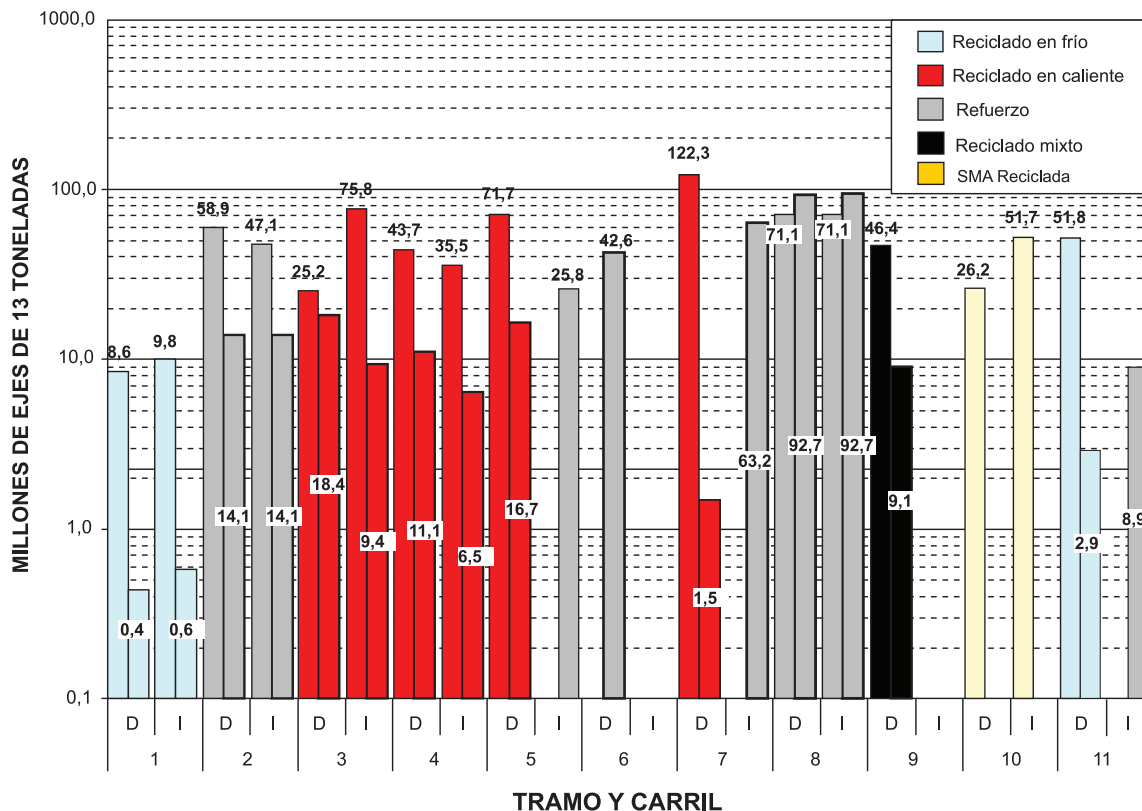
#### 4. Ensayos de laboratorio

De cada uno de los tramos rehabilitados se extrajeron testigos durante la campaña de medición de deflexiones después de la actuación. A partir de estos testigos, se determinó, para las capas recicladas, la densidad, la resistencia a tracción indirecta (NLT-346), a 5 °C, y el módulo resiliente instantáneo (NLT-360). Los resultados de los ensayos de laboratorio se muestran en la Tabla 7.

Figura 4

Vida estimada de las secciones rehabilitadas por métodos analíticos





Los datos presentados en la Tabla 7 están agrupados por técnica de reciclado y ordenados de manera decreciente según su valor de módulo resiliente, ya que este parámetro es el que se relaciona directamente con la capacidad estructural, medida también a partir de la deflexión. Al igual que se observó en las deflexiones, los tramos que fueron rehabilitados con mezclas recicladas en caliente presentan una mayor densidad, una mayor resistencia a tracción indirecta y un mayor módulo resiliente que el resto de las mezclas.

Adicionalmente, se determinaron las leyes de fatiga de las mezclas recicladas, a 20 °C, a partir de un ensayo a flexotracción, con control de desplazamiento (NLT-350), sobre probetas prismáticas fabricadas en laboratorio a partir del material de obra, Figura 2.

### 5. Estimación de la vida de las secciones rehabilitadas

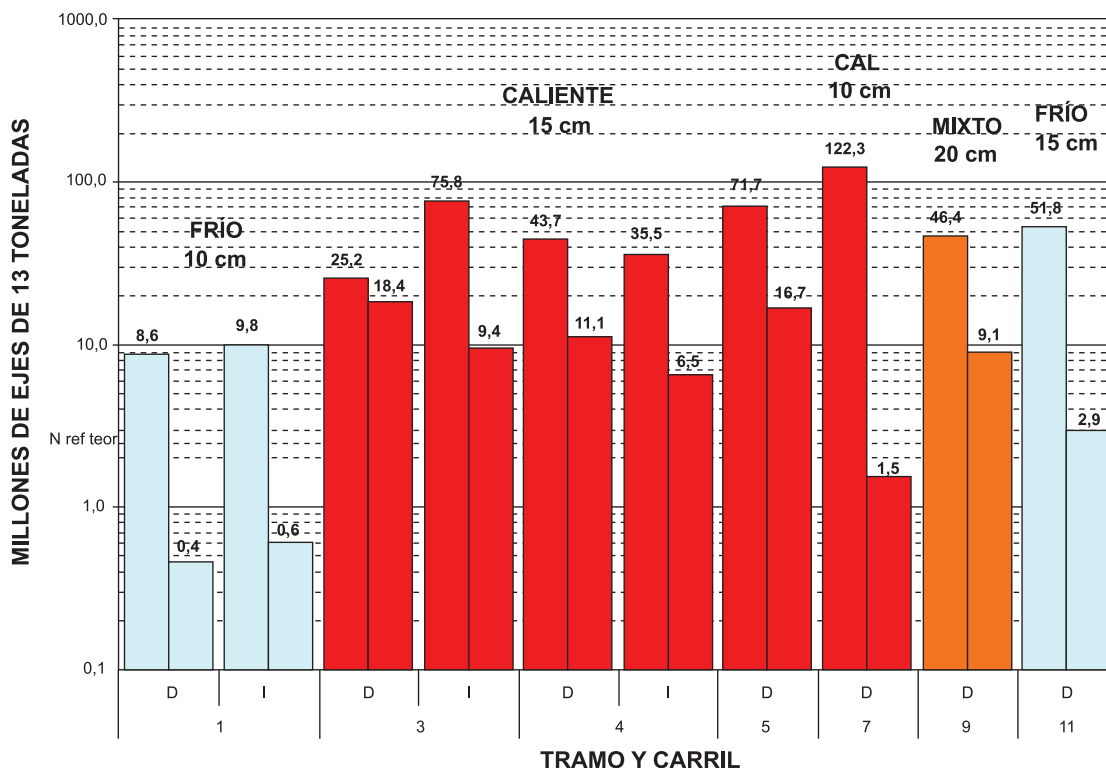
Para estimar la vida de servicio de las secciones rehabilitadas se han utilizado dos procedimientos. El primero, determinando el estado de tensiones y/o deformaciones producido por la carga tipo suponiendo

que la capa resistente de la sección es precisamente la capa reciclada o, en su defecto, la capa nueva (método analítico). El segundo, basado en la deflexión de la sección medida tras su rehabilitación (método empírico).

#### Método analítico

A partir de las deflexiones medidas en cada sección estructural antes de la rehabilitación es posible estimar, por cálculo inverso, los módulos de cada una de las capas que constituyen el firme viejo. Adoptando estos valores para las capas viejas, y los módulos correspondientes a las capas recicladas obtenidos en laboratorio (Tabla 7), se puede modelizar la estructura del firme y determinar, mediante un programa de cálculo analítico por ordenador, suponiendo que el firme es un sistema elástico multicapa, el estado de tensiones y/o deformaciones producido por un eje tipo de 13 toneladas en la sección considerada. Entrando en las leyes de fatiga de las mezclas recicladas (o de la mezcla nueva en caso de refuerzo), es posible obtener el número de aplicaciones de carga que soportará cada sección, Figura 3.





**Método empírico**

A partir de las deflexiones medidas en cada sección estructural después de la rehabilitación es posible obtener la vida remanente, en millones de ejes de 18 kips (80 kN), a partir de la siguiente expresión, propuesta por el Asphalt Institute:

$$ESAL_{18} = \left( \frac{1,0363}{\delta_d} \right)^{4,1017} \quad \text{Ecuación 1}$$

donde  $\delta_d$  es la deflexión (en pulgadas) y  $ESAL_{18}$  es el número de ejes equivalentes de 18 kips que resistirá la sección.

Transformando el número de ejes de 80 kN a ejes de 127 kN mediante la relación:

$$F.C.E. = \left( \frac{W}{80} \right)^4 \quad \text{Ecuación 2}$$

donde FCE es factor de carga equivalente y W es el peso del eje al cual se hará la transformación (en kN), se obtiene el número de aplicaciones de carga de un eje de 13 t que soportará cada sección, Figura 4.

La vida estimada por ambos procedimientos se ha representado conjuntamente en la Figura 5. Al comparar los resultados obtenidos se pone de manifiesto que el método analítico es, en general, más conservador que el método empírico, que proporciona unas mayores vidas. Únicamente en las secciones de refuerzo convencional el método analítico proporciona una vida ligeramente superior a la del método empírico. Esto puede ser debido a que en las secciones rehabilitadas con mezclas recicladas se ha considerado que la mezcla vieja que queda en el firme está totalmente fisurada y prácticamente no tiene contribución desde el punto de vista estructural, es decir, el papel resistente recae exclusivamente en las capas regeneradas, mientras que en las secciones reforzadas, la mezcla vieja permanece en todo su espesor y tiene un mayor aporte estructural.

Además, en la misma figura se incluye, a modo de referencia, la vida teórica que tendrían las secciones si se hubieran rehabilitado con un refuerzo convencional que tuviera, en cada caso, el espesor que fija la Norma 6.3-IC (*Rehabilitación de firmes*, 2003. Ministerio de Fomento, Madrid, España) de rehabilitación de firmes en función de la deflexión medida antes de la rehabilitación. Así, puede observarse que a pesar de que los métodos analíticos son más conservadores,



la vida estimada a partir de ellos está, en general, por encima que la que hubieran tenido en caso de realizar un refuerzo convencional con el espesor fijado en la normativa, a excepción del reciclado en frío del tramo 1 (con ECL-2) y el reciclado en caliente del tramo 7 (30% de RAP con B-80/100).

En la Figura 6, donde sólo se ha recogido la vida de las secciones con mezclas recicladas, se pone de manifiesto la importancia del espesor de la capa reciclada, ya que las actuaciones con un espesor de 10 cm, tanto en frío como en caliente, son las más críticas, mientras que si el espesor es mayor, incluso con la misma mezcla, la vida estimada es considerablemente mayor.

## 6. Conclusiones

Como se planteó inicialmente, el objetivo de este estudio era incrementar el conocimiento sobre el comportamiento estructural de las mezclas recicladas, tanto en frío como en caliente, a partir del análisis de los resultados obtenidos en los tramos experimentales del proyecto europeo de investigación PARAMIX. Las conclusiones generales de este estudio son las siguientes:

1. Las técnicas de reciclado constituyen una alternativa viable para la rehabilitación de firmes, siendo necesario poner especial atención en el diseño y puesta en obra de las mezclas recicladas.
2. Las actuaciones de rehabilitación con mezclas recicladas en caliente, permiten conseguir una disminución de las deflexiones mayor que la conseguida mediante los refuerzos convencionales. Aunque con las mezclas recicladas en frío esta disminución es menor, se obtiene un nivel de deflexiones comparable al obtenido con los refuerzos, aportando en cualquier caso una mejora de las capas deterioradas.
3. El uso de betunes modificados de alto módulo en las mezclas recicladas en caliente y de emulsiones con rejuvenecedores en las mezclas recicladas en frío, parece aportar las mejores respuestas desde el punto de vista de capacidad estructural.
4. La vida estimada de las diferentes tipologías de secciones rehabilitadas con mezclas recicladas, es superior a la que tendrían las secciones si se hubieran rehabilitado con un refuerzo convencional de acuerdo a la normativa vigente. No obstante, hay que tener muy en cuenta el espesor de las capas rehabilitadas, ya que las mezclas recicladas con buen comportamiento estructural pueden volverse críticas si el espesor no es suficiente.

## Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la Comunidad Europea por la ayuda recibida para la realización del proyecto Road Pavement Rehabilitation Techniques Using Enhanced Asphalt Mixtures (PARAMIX, GRD1-2000-25168), en el marco del GROWTH Programme. Así mismo, desean hacer constar la colaboración de todos los grupos de investigación que constituyen el consorcio del proyecto en la realización de los distintos trabajos relacionados en este artículo.

## Bibliografía

1. CENTENO, M.; MARTINEZ, A.; MIRÓ, R. (2004). Análisis del comportamiento de firmes con material reciclado a partir de tramos experimentales. VI Congreso Nacional de Firmes. León (España).
2. CENTENO, M.; MIRÓ, R.; MARTINEZ, A. (2004). Estudio del comportamiento estructural de firmes rehabilitados con mezclas recicladas. IX Jornadas de Conservación de Carreteras. Salamanca (España).
3. MIRÓ, R.; MARTINEZ, A. (2005). Comportamiento estructural de firmes rehabilitados con mezclas recicladas. Ingeopres, nº 135. Madrid (España).
4. MIRÓ, R. (2004). Diseño y caracterización de mezclas recicladas en caliente con elevados porcentajes de mezcla recuperada. Aproximación seguida en el proyecto de investigación PARAMIX. XXXIII Reunión del Asfalto. Mendoza (Argentina).
5. PÉREZ JIMÉNEZ, F.; CENTENO, M. (2003). Proyecto europeo PARAMIX sobre reciclado de pavimentos: reciclado in situ con emulsión. XII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Quito (Ecuador).
6. PÉREZ JIMÉNEZ, F.; MARTÍNEZ, C. (2003). Proyecto europeo PARAMIX sobre reciclado de pavimentos: reciclado de mezclas asfálticas en caliente. XII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Quito (Ecuador).
7. PÉREZ JIMÉNEZ, F.; MIRÓ, R.; MARTÍNEZ, C.; FERNÁNDEZ, M.; SOTO, J.A. (2004). "Mix Design and Performance of Cold Pavement Recycling with Emulsion in the Paramix-Project". 3<sup>rd</sup> Eurasphalt & Eurobitume Congress. Viena (Austria).
8. PÉREZ JIMÉNEZ, F.; MIRÓ, R.; MARTÍNEZ, C. (2003). Proyecto PARAMIX. Investigación sobre reciclado de pavimentos. Carreteras, nº 130. Madrid (España).
9. PÉREZ JIMÉNEZ, F.; RODRÍGUEZ, M.; DE VISSCHERJ.; VANELSTRAETE, A.; DE BOCK, L. (2004). Design and performance of hot mix asphalts with high percentages of reclaimed asphalt: approach followed in the PARAMIX project. Eurasphalt & Eurobitume Congress. Vienna (Austria).