

# Uso de mezclas bituminosas recicladas (RAP), sin precalentamiento, rejuvenecidas con aditivo

Vitor Gomes, vitor.gomes@kraton.com  
Kraton

José Ramón López, jrlopez@pavasal.com  
Jesús Felipo, jfelipo@pavasal.com

Pavasal

El empleo de fresado de firmes asfálticos (RAP) en la fabricación de mezclas bituminosas es una solución sostenible que presenta muchos beneficios económicos y ambientales. El problema principal a superar es el betún envejecido y extremadamente duro del RAP, siendo esto especialmente notable en España. Por esta razón, la incorporación de aditivos y procesos específicos capaces de restaurar las propiedades originales de los betunes envejecidos es recomendable a la hora de asegurar las características mecánicas en la mezcla final. Esta publicación presenta los resultados de secciones de prueba realizadas en una obra en Valencia usando como referencia comparativa una AC 16 BIN 50/70 S. Las mezclas fueron fabricadas con un 30% RAP sin precalentamiento, tanto en mezclas en caliente a 160°C (HMA), como semicaliente mediante el espumado de betún a 130°C (WMA). Los resultados muestran que la utilización del aditivo rejuvenecedor, aplicado directamente sobre el RAP frío antes de mezclar, fue muy positiva.

**Palabras clave:** mezcla bituminosa reciclada, aditivo, rejuvenecedor, mezcla bituminosa, secciones de prueba

The reuse Reclaimed Asphalt (RAP) in new asphalt mixes is a sustainable solution with economic and environmental benefits. The main problem to overcome is the aged and extremely hard binder from RAP, especially noticeable in Spain. For this reason, the use of a specific additive and process for incorporating the additive is strongly recommended in order to restore the desired bitumen properties, and consequently produce an asphalt mixture with the desired mechanical performance. Here are presented the results from the road trials done in Valencia using as reference an AC 16 BIN 50/70 S. Asphalt mixes with 30% RAP without pre-heating, were produced at about 160°C (HMA) and also at about 130°C with foamed bitumen (WMA). The results show that it was very positive the application of the rejuvenating additive directly on the cold RA, before mixing.

**Keywords:** RAP, reclaimed asphalt, additive, rejuvenator, asphalt mix, road trials

## 1. Introducción

La reutilización del RAP en nuevas mezclas bituminosas genera beneficios tanto económicos como medioambientales, asumiendo que las características de la mezcla final se mantienen.

En este artículo se presentan los resultados procedentes de unas secciones de prueba realizadas en una obra en Valencia, usando como referencia comparativa una AC 16 BIN 50/70 S.

Se han extendido un total de cuatro mezclas adicionales todas ellas con un contenido en RAP del 30% y un betún virgen 50/70. Dos de ellas han sido fabricadas en caliente a 160°C (HMA) y las otras dos usando la técnica semicaliente de espumado de betún a 130°C (WMA). En dos de las mezclas, una para HMA y otra para WMA, se ha incorporado el aditivo rejuvenecedor, en este caso aplicado en frío directamente sobre la cinta transportadora de alimentación de RAP justo antes de su intro-

# Uso de mezclas bituminosas recicladas (RAP), sin precalentamiento, rejuvenecidas con aditivo

ducción en el mezclador de la instalación. Este aditivo específico, SYLVAROAD™ RP1000, está basado en la química del pino y existe abundante bibliografía que demuestra su eficacia, así como su carácter biodegradable y sostenible.

Durante la realización de las pruebas se han tomado muestras de las diferentes pruebas y se han extraído testigos de obra para su análisis en laboratorio, realizando los análisis básicos y fundamentales para obtener las propiedades mecánicas de las mezclas, así como la caracterización del betún extraído de las mismas.

Los resultados muestran que usando el aditivo rejuvenecedor especificado aplicado directamente en frío antes del mezclador es posible fabricar mezclas al 30% de RAP, manteniendo o incluso mejorando las características mecánicas de una mezcla asfáltica convencional y cumpliendo con las actuales especificaciones técnicas.

## 2. Utilización de RAP en Europa

En la tabla 1 se puede observar datos del uso del RAP en Europa, recopilados por la Asociación Europea del Asfalto (EA-PA). Podemos observar que el uso de las mezclas recicladas está lejos de lo deseable en la mayoría de los países europeos. Es urgente incrementar el nivel de reciclado de RAP, y sobre todo la reutilización del mismo en mezclas bituminosas, generando el máximo de valor añadido.

## 3. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes, (PG3 2015)

De acuerdo con las nuevas especificaciones existentes en España, para la producción de mezclas bituminosas para capas de base e intermedias pueden ser empleadas cantidades de RAP hasta 60%, cumpliendo las especificaciones vigentes (artículo 22 del PG4). Más del 60% de RAP también es posible aunque en este caso será preceptiva la autorización expresa de la Dirección General de Carreteras y también la realización de un estudio específico.

Es importante subrayar que en el artículo 542.5.4 se especifica que los áridos vírgenes no pueden ser secados o calentados a temperaturas superiores a 220°C ni que el material reciclado puede ser calentado por encima de la temperatura del ligante virgen. Esto limita el contenido total de RAP y hace que, para lograr dichas especificaciones y temperaturas de

producción, sea necesario el rejuvenecimiento del ligante del RAP, bajando el grado del betún final, ya que ello permite fabricar la mezcla a una menor temperatura.

## 4. Pruebas iniciales en el laboratorio

Inicialmente se realizaron pruebas en el laboratorio para evaluar el efecto del aditivo sobre ligantes y mezclas bituminosas. Los resultados se presentaron en esta misma revista Asfalto y Pavimentación, número 14, con el título "Empleo de rejuvenecedores en reciclado de mezclas bituminosas" (Laurent et al 2014).

Las conclusiones extraídas sobre el uso del rejuvenecedor fueron positivas, e incluso se observó que la aplicación del mismo en RAP caliente (130°C) obtenía mejor resultado comparado con la adición del rejuvenecedor en RAP frío. Esto podría ser un factor limitante para posteriores pruebas debido a que la mayoría de las plantas en España dosifican el RAP en frío. Es por ello que en estas nuevas pruebas a realizar en planta, la idea principal era introducir el aditivo en frío sobre el RAP previamente a su introducción en el mezclador de la planta. Como referencia cabe decir que la mezcla asfáltica analizada en el laboratorio usando rejuvenecedor, aplicado sobre RAP caliente (130°C), produjo resultados equivalentes a una mezcla con el 100% de materiales nuevos.

## 5. Pruebas en planta

Este trabajo presenta los resultados técnicos del ligante y las mezclas asfálticas aplicadas el 7 de julio de 2015 en una obra cercana a Valencia. Las mezclas asfálticas fueron producidas en la planta de Cheste y extendidas en una carretera secundaria cerca de la planta. Se fabricaron 5 productos, una mezcla con materiales nuevos, dos mezclas en caliente (HMA) con y sin aditivo empleando 30% de RAP y dos mezclas semicalientes (WMA) con y sin aditivo empleando 30% de RAP. Todas las mezclas se fabricaron para cumplir las especificaciones de una AC 16 S. En todas las mezclas, el RAP se introdujo a temperatura ambiente directamente al mezclador.

### 5.1 Producción de mezclas asfálticas y evaluación

Las pruebas de la AC 16 S se realizaron buscando un contenido en ligante de 4,5% de betún sobre áridos. Las mezclas

Tabla 1: Uso de RAP en Europa, de acuerdo con la EAPA (2013).

Country	Available reclaimed asphalt (tonnes)	% of available reclaimed asphalt used in				% of the new hot and warm mix production that contains reclaimed material
		hot and warm recycling	half warm recycling	cold recycling	unbound layers	
Austria	750.000	95		3	2	
Belgium	1.500.000	61	No data	No data	No data	51
Czech Republic	1.450.000	18	0	25	20	10
Denmark	790.000	83			17	58
Finland	860.000					20
France	6.900.000	64	No data	No data	No data	> 65
Germany	11.500.000	90			10	No data
Greece	No data					0,03
Great Britain	4.000.000-5.000.000					
Hungary	88.000	80	0	10	10	20
Iceland	15.000					3,0
Ireland	150.000					
Italy	10.000.000	20				
Luxembourg	300.000	90	0	10	0	50
Netherlands	4.500.000	76				70
Norway	686.268	21	0	5	74	20
Romania	22.000	20	20	20	30	10
Slovakia	26.000	90	0	5	5	
Slovenia	26.000	26	0	20	54	5
Spain	205.000	85		7	8	1,3
Sweden	900.000	80	5	5	10	70
Switzerland	1.370.000	48	17	15	8	27
Turkey	1.200.000	3		1	96	1
Japan						76
USA	69.000.000	92			8	

HMA se fabricaron a una temperatura de 155°C, mientras que las WMA se fabricaron alrededor de 135°C. En las mezclas con RAP, en una HMA y en otra WMA, se añadió un 5% de aditivo rejuvenecedor mediante rociado sobre la cinta que transportaba el RAP al mezclador.

El betún virgen para producir todas las mezclas era un betún de penetración 50/70. El RAP se introdujo a temperatura ambiente (sin secado) y los áridos vírgenes se secaron y calentaron para lograr las temperaturas de pro-

ducción. Durante dichas pruebas se fabricaron las siguientes mezclas:

- HMA - AC 16 BIN 50/70 S (estándar virgen sin RAP). Esta era la mezcla de control. La temperatura de producción fue superior (178°C) que la empleada normalmente ( $\leq 160^\circ\text{C}$ ), por variación de producción.
- WMA30RA - AC 16 BIN 50/70 S R30 Espumada (WMA con espumado de betún 50/70 con 30% RAP). La temperatura de producción fue 130°C.

## Uso de mezclas bituminosas recicladas (RAP), sin precalentamiento, rejuvenecidas con aditivo



Figura 1 y 2: Adición de rejuvenecedor en frío sobre RAP y su transporte en planta.



Figura 3: Compactación del material en obra.

- HMA30RA - AC 16 BIN 50/70 S R30 (HMA con 30% RAP). Fue utilizado betún virgen 50/70 y la temperatura de producción fue 155°C.
  - HMA30RA5A - AC 16 BIN 50/70 S R30 (HMA con 30% RAP+ 5% Aditivo). Fue utilizado betún virgen 50/70 y la temperatura de producción fue 155°C.
- 5.2 Pruebas de ligante extraídos y recuperados**
- Se extrajeron muestras del ligante virgen, del ligante recuperado del RAP y del recuperado de las mezclas producidas en planta. Los betunes recuperados presentaban las características descritas en la Tabla 2.
- WMA30RA5A - AC 16 BIN 50/70 S R30 Espumada (WMA con espumado de betún 50/70 con 30% RAP + 5% Aditivo). La temperatura de producción fue 120°C.

Tabla 2: Resultados obtenidos sobre los betunes vírgenes y sobre los betunes recuperados, del RAP y mezclas.

Ligante	Temperatura de producción en la planta (°C)	Penetración (x 0,1 mm)	Punto de reblandecimiento (°C)
1) 35/50	-	42	52.6
2) 50/70	-	53	49.8
3) RAP <sup>(a)</sup>	-	5	104.4
4) HMA, mezcla estándar	178	18	68.7
5) WMA30RA	130	14	72.0
6) WMA30RA5A	120	19	66.3
7) HMA30RA	155	- <sup>(b)</sup>	- <sup>(b)</sup>
8) HMA30RA5A	155	16	68.0
9) Mezcla: 70% 50/70+30% ligante RAP (+5% aditivo sobre el ligante envejecido) Después de RTFOT <sup>(c)</sup>	-	17	69.5

<sup>(a)</sup> El betún envejecido era más duro de lo que inicialmente se esperaba. <sup>(b)</sup> Se produjeron errores en el muestreo y los resultados no fueron representativos. <sup>(c)</sup> Mezcla simulada, fabricada en el laboratorio, para comparación de envejecimiento.

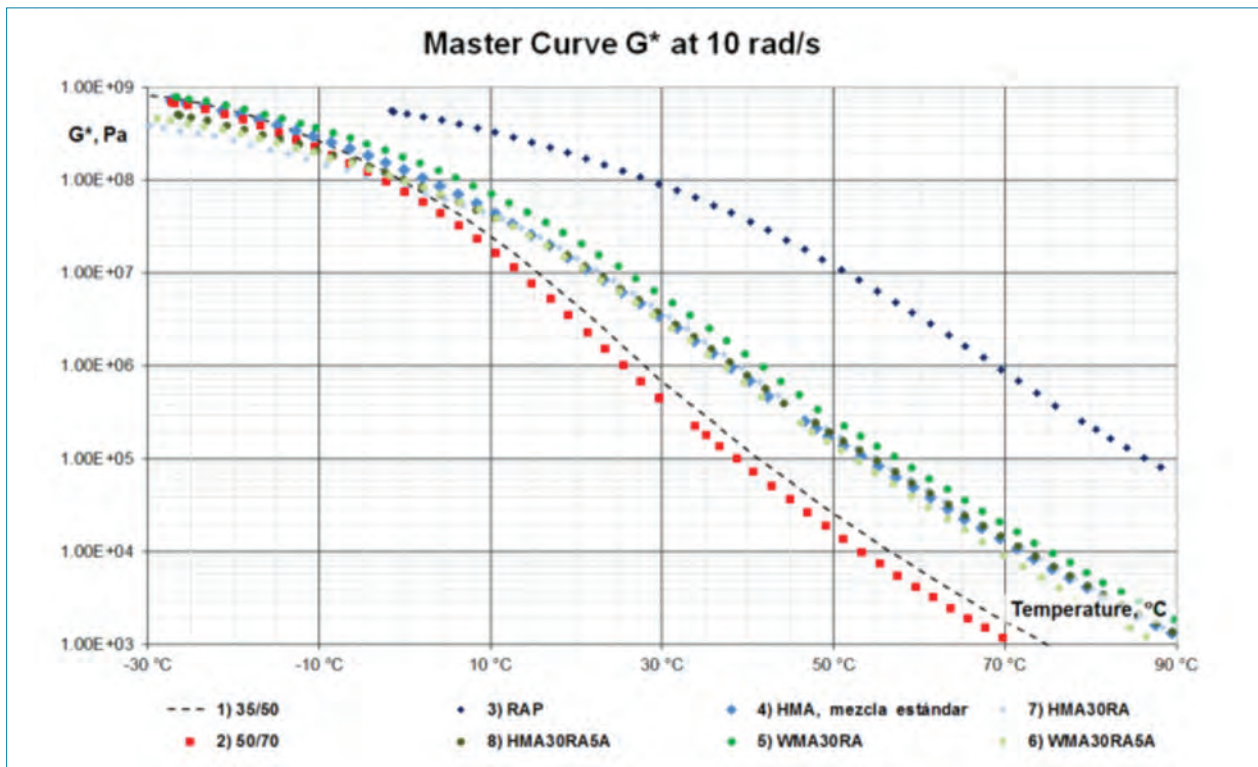


Figura 4: Resultados reológicos DSR.

En los resultados obtenidos se puede observar el efecto del rejuvenecedor en las propiedades finales del ligante, siendo similares a las propiedades del betún virgen recuperado de la mezcla original, incluso considerando el envejecimiento extra al que está sometida dicha muestra por mayor temperatura de fabricación. También se puede observar el efecto de la disminución de la temperatura de fabricación para producir WMA, lo que genera menor envejecimiento en el ligante y menor punto de reblandecimiento.

Hoy en día las empresas productoras de betún están trabajando para utilizar cada vez más ensayos reológicos sobre el betún evaluando el comportamiento viscoelástico de sus productos. Aquí se presentan también los resultados obtenidos mediante reometría de corte dinámico (DSR) y reometría de viga de flexión (BBR).

Los resultados DSR obtenidos muestran el efecto positivo del aditivo rejuvenecedor, sobre los betunes de las mezclas con el 30% de RAP, para temperaturas intermedias y bajas. Además, se puede apreciar que a medida que se reduce la temperatura, los ligantes rejuvenecidos (6 y 8) del RAP tienen mejor comportamiento a baja temperatura que los betunes vírgenes 35/50 y 50/70 testados. Este

efecto se puede ver en la Figura 4, a temperaturas por debajo de 0 °C.

El BBR es un método que evalúa el comportamiento a baja temperatura de los ligantes y es esencial en las especificaciones para el grado PG de los betunes empleados en Estados Unidos. Se espera que forme parte de las especificaciones europeas en un futuro próximo. El BBR se realiza en muestras previamente envejecidas mediante el horno de envejecimiento acelerado (PAV) que simula el envejecimiento del betún en la carretera en un periodo de entre 8 y 10 años.

Los datos obtenidos mediante el BBR, presentados en la Tabla 3, confirman los valores obtenidos por el DSR a baja temperatura, mostrando el efecto positivo del aditivo sobre los ligantes rejuvenecidos. Los resultados de las mezclas con RAP tratadas con aditivo son mejores que la mezcla de referencia producida con ligante 50/70, y que dicha mejora es más destacable para mezclas WMA con aditivo.

### 5.3 Pruebas de las mezclas bituminosas

Durante las pruebas se extrajeron testigos de las diferentes mezclas. Las HMA fueron compactadas a 150°C y las

## Uso de mezclas bituminosas recicladas (RAP), sin precalentamiento, rejuvenecidas con aditivo

Tabla 3: Resultados del ensayo reológico de baja temperatura BBR.

Muestra de ligante	Temperatura para 300MPa rigidez (°C)	Temperatura para valor 0.300 m (°C)	Criterio de baja temperatura BBR
4) HMA, mezcla estándar	-13.4	-8.8	-8.8
5) WMA30RA	-9.8	-5.4	-5.4
6) WMA30RA5A	-14.3	-12.0	-12.0
8) HMA30RA5A	-15.2	-9.4	-9.4

Tabla 4: Resultados de la compactación en obra

Mezcla bituminosa	Densidad Marshall (kg/m³)	Densidad media testigos (kg/m³)	Espesor medio de la capa (mm)	Compactación relativa (%)
4) HMA, mezcla estándar	2411	2332	48	97
5) WMA30RA	2415	2333	46	97
6) WMA30RA5A	2455	2319	55	94
7) HMA30RA	2412	2293	44	95
8) HMA30RA5A	2423	2397	43	99

Tabla 5: Resultados del análisis granulométrico de las pruebas de obra.

Tamices (mm)	22,4	16	8	4	2	0,5	0,25	0,063
Máximos	100	100	76	55	37	19	16	8,8
Mínimos	98	86	58	37	23	9	6	2,8
4) HMA, mezcla estándar	100	94	61	41	26	13	10	4,2
5) WMA30RA	100	96	71	47	29	11	9	5,2
6) WMA30RA5A	100	96	60	40	27	11	8	4,5
7) HMA30RA	100	98	71	47	29	12	9	5,2
8) HMA30RA5A	100	97	63	42	27	12	9	4,9

WMA a 130°C, en la referencia de compactación Marshall. Los resultados obtenidos se presentan a continuación en la Tabla 4.

De los resultados obtenidos es importante remarcar que la mezcla WMA30RA tiene una compactación similar a la HMA estándar, aunque la temperatura de extendido era inferior en unos 30°C. La mezcla WMA30RA5A con aditivo presenta una compactación inferior, pero probablemente sea a la menor temperatura de ejecución (10 o 15 °C inferior) y a su mayor espesor. De hecho, la WMA30RA5A con aditivo fue la que obtuvo una mayor densidad aparente en el laboratorio, lo que deberá ser investigado en un futuro. Observando las mezclas tipo HMA, la mezcla que tenía aditivo presenta un mayor grado de compactación. En la Tabla 5 y Figura 5 se

puede apreciar el análisis granulométrico después de realizar la extracción de las diferentes mezclas utilizadas. No se observan diferencias significativas entre las granulometrías, por lo que no se considera relevante para la comparación entre las mezclas.

Además, también se ha efectuado la caracterización volumétrica y mecánica de las mezclas, Tabla 6.

Observando la Tabla 6, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Las mezclas WMA tienen similar o incluso mejor compatibilidad que las mezclas HMA.
- La estabilidad Marshall y la fluencia son similares entre todas las mezclas WMA y HMA.

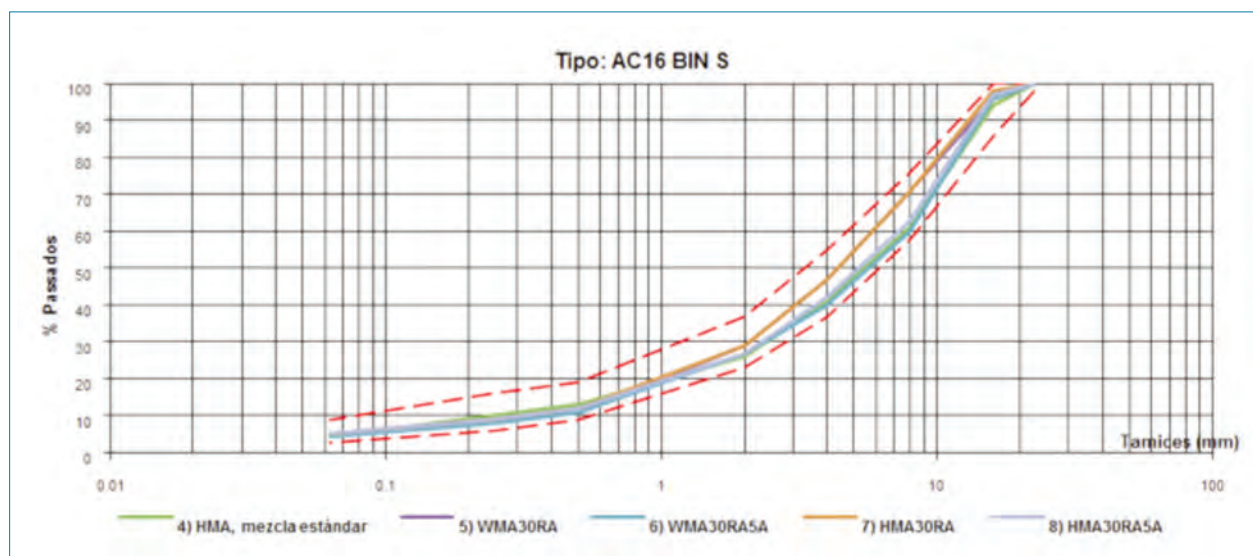


Figura 5: Gráfica de las curvas granulométricas de las mezclas de obra.

Tabla 5: Resultados del análisis granulométrico de las pruebas de obra.

Parámetro	Norma UNE 12697-	Mezcla bituminosa				
		4 HMA estándar	5 WMA30RA	6 WMA30RA5A	7 HMA30RA	8 HMA30RA5A
		1	2	3	4	5
Temperatura producción (°C)	-	178	155	155	130	120
Temperatura compactación (°C)	-	150	130	130	150	150
Contenido en betún (%)	1	4,1	4,5	4,3	4,8	4,6
Densidad máxima (kg/m <sup>3</sup> )	5	2573	2563	2539	2570	2560
Densidad aparente SSD (kg/m <sup>3</sup> )	6	2417	2415	2455	2412	2423
Huecos mezcla (%)	8	6,0	5,8	3,3	6,2	5,3
Huecos áridos (%)		15,7	16,2	13,5	17,3	16,1
Huecos rellenos (%)		61,4	64,3	75,5	64,4	66,9
Estabilidad Marshall (kN) <sup>a)</sup>	34	13,8	17,2	15,9	16,0	15,2
Fluencia (mm) <sup>a)</sup>		2,3	2,5	2,6	2,4	2,4
ITS seco (kPa) <sup>b)</sup>	23	1,53	2,44	1,77	2,17	2,38
ITS húmedo (kPa) <sup>b)</sup>		1,43	2,31	1,67	2,16	2,16
ITSR (%) <sup>b)</sup>	12	94	95	95	99	91
Rigidez (MPa) <sup>d)</sup>	26	8442	12313	9586	12518	10981
WTS (mm/10 <sup>3</sup> cycles) <sup>c)</sup>	22	0,11	0,09	0,16	0,11	0,12
Fatiga, 4PB 30 Hz (µm) <sup>d)</sup>	24	129	120	131	87	141

<sup>a)</sup> Las probetas Marshall se prepararon mediante 75 golpes por cara con un compactador Marshall

<sup>b)</sup> Las probetas para los ensayos de ITS se prepararon mediante 50 golpes por cara con un compactador Marshall

<sup>c)</sup> Las probetas para el ensayo en pista fueron compactadas al 98% de compactación respecto a las probetas Marshall

<sup>d)</sup> La rigidez y la fatiga fueron determinadas a 20°C.

## Uso de mezclas bituminosas recicladas (RAP), sin precalentamiento, rejuvenecidas con aditivo

- La sensibilidad al agua de todas las mezclas es buena (>90%).
- El ensayo de deformación permanente (realizado mediante dispositivo pequeño) presenta valores similares excepto en el caso de la WMA30RA5A, posiblemente debido a la temperatura de producción o tal vez se necesite una optimización de la dotación de aditivo, debido al efecto combinado con el espumado del betún.
- Las mezclas con aditivo presentan valores más próximos en rigidez a la mezcla original con betún virgen, siendo un buen indicador del rejuvenecimiento del betún.
- Las mezclas con aditivo presentan los mejores resultados a fatiga, incluso mejor que la mezcla original con betún virgen. Esto es destacable debido a que el RAP fue añadido en frío al sistema. Sin embargo, también hay que tener en cuenta el efecto positivo del espumado de betún en la mezcla WMA30RA e incluso más en la WMA30RA5A en que se añadió también el aditivo.

### 6. Conclusiones

El objetivo de las pruebas era evaluar la influencia del aditivo rejuvenecedor en mezclas bituminosas con un porcentaje de RAP de un 30% añadiendo un 5% de aditivo y compararlas con mezclas con el mismo porcentaje de RAP sin aditivo y también con una mezcla sin RAP. Además se fabricaron las mezclas a diferentes temperaturas, unas a 155°C y otras a 130°C con tecnología de espumado de betún.

Los resultados sobre las muestras de betún recogidas muestran el efecto positivo del aditivo sobre el betún viejo, a temperaturas medias y bajas, cuando son comparadas con el betún de referencia. Esto fue confirmado mediante los test de fatiga sobre las mezclas bituminosas testadas, donde se observaba que las mejores mezclas eran las que incorporaban el aditivo. Los resultados obtenidos en el test BBR sobre los betunes recuperados de las mezclas con RAP tratadas con aditivo eran mejores que lo betún recuperado de la mezcla de referencia con betún virgen 50/70. Esta mejora es remarkable con la mezcla WMA con aditivo (WMA30RA5A).

Observando los test a alta temperatura y basándonos en el resultado del test de ligante, se esperaba que los ligantes que contenían betún envejecido tuvieran mejor resistencia a las deformaciones permanentes que los betunes vírgenes y que el uso de aditivo no influiría significativamente en el test.

Sin embargo, el resultado en pista para la mezcla WMA30RA5A necesita ser mejorado, si se compara con el resto de las mezclas es ligeramente peor, lo que puede ser un indicativo de que la dosificación del aditivo debe ser reducida debido al efecto combinado del betún espumado y el aditivo.

### 7. Bibliografía

- BOE, Sábado 3 de enero de 2015, Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Carreteras y Caminos Vecinales (PG-3), apartado 542, pág 881.
- UNE-EN13108-8:2007, Mezclas bituminosas – Especificaciones de materiales – Parte 8: Mezcla bituminosa reciclada;
- Grady W. et al, 2014, Rejuvenecimiento del ligante viejo para su reutilización en mezclas bituminosas con alta tasa de asfalto recuperable (RA), IX Jornada Nacional ASEF-MA 2014, Comunicación 34.
- Özcan A. 2014 European Asphalt Pavement Association EAPA report, "Asphalt in figures 2013", Brussels, pág 4, [www.eapa.org](http://www.eapa.org).
- Porot L. et al, 2014, "Empleo de rejuvenecedores en reciclado de mezclas bituminosas", Asfalto y Pavimentación, Madrid, Editorial Prensa Técnica, S.L., Número 14, Volumen IV, Tercer trimestre. pág 39-49.