

Comportamiento del sistema betún viejo-betún rejuvenecedor en reciclado a altas tasas

Se trata de un trabajo para contribuir al conocimiento del comportamiento de las mezclas de betunes viejos con rejuvenecedores en el reciclado a altas tasas, comportamiento que ofrece muchas dudas y que no ha sido suficientemente esclarecido. La orientación del trabajo ha sido la de medir las características mecánicas de las mezclas con distintos tiempos de amasado.

Palabras clave: Reciclado en caliente, Betunes rejuvenecedores, Compactación giratoria, Tiempos de mezclado

This work aims at contributing to knowledge of behavior of mixes of old bitumen with high rates of rejuvenation agents in recycling; this behavior still raises many doubts and has not been cleared up sufficiently. The work was based on measurement of mechanical characteristics of mixes with different mix intervals.

Keywords: Hot recycling, Rejuvenating binders, Gyrotory compactor, Mixed times

Julio del Pozo, juliodelpozo@telefonica.net
Nuria Querol, nuria.querol@sorigue.com
Sorigué

1. Introducción

Una de las incógnitas del reciclado a altas tasas, independientemente de los problemas de su fabricación en planta con la maquinaria disponible en la actualidad, es el tiempo de amasado para que la mezcla sea no solamente homogénea en cuanto a los áridos vírgenes con el RAP, sino sobre todo, del betún viejo con el rejuvenecedor, de tal forma que el nuevo betún que envuelva a los áridos del RAP sea razonablemente igual a que envuelve a los áridos vírgenes. Si este tiempo de amasado fuera elevado, podría constituir un límite en el reciclado a altas tasas.

Los factores más evidentes que influyen en el problema son: el porcentaje de RAP, el grado de envejecimiento de betún, la cantidad de betún respecto de la nueva mezcla, la naturaleza de los áridos y la temperatura de fabricación.

Para intentar una aproximación a este fenómeno, se ha diseñado el siguiente experimento en laboratorio:

- Se ha tomado un RAP de una mezcla muy envejecida.
- Se ha extraído y caracterizado el betún.
- Se ha formulado el rejuvenecedor correspondiente.
- Se han fabricado probetas de 10 cm de diámetro y 6,5 cm de altura, con granulometría S20, al 50 % y al 80% en proporción de betunes, y con tiempos de amasado de 30 s, 60 s y 180 s.
- Se ha fabricado una probeta de referencia mezclando primeramente los betunes viejo, extraído del RAP, y betún rejuvenecedor, y posteriormente mezclando el betún resultante con el árido en blanco del RAP, y los áridos vírgenes (REF).
- Se han obtenido las curvas de compactación en máquina giratoria.
- Se han hallado los **módulos de rigidez** a tracción indirecta.

2. Características del RAP

Se ha fresado material de una mezcla en rodadura con una antigüedad de 20 años fabricada con una granulometría D12 y un betún B 60/70. El material se ha pasado un molino de impacto para deshacer los bloques gruesos y conseguir una granulometría lo más parecida a la original.

Las características físicas del betún extraído son, Penetración, 9 dmm, y A&B, 88 °C, y la viscosidad dinámica:

Comportamiento del sistema betún viejo-betún rejuvenecedor en reciclado a altas tasas

Tabla 1.

Temperatura (°C)	B 50/70, Pa.s	B Viejo, Pa.s
100	5,074	-
135	0,518	8,500
150	0,256	3,013
180	0,082	0,509

Se han representado las viscosidades, Penetraciones y A&B en el espacio Temperatura-log(log(viscosidad))-Penetración, cuya variación, como es conocido, es lineal. De esta relación se estima la viscosidad del betún viejo a 60°C, en 15.000 Pa.s, y la del B 50/70 a la misma temperatura, en 270 Pa.s. Figura 1.

La granulometría del RAP, una vez pasado por el molino, es la representada en la Figura 2, correspondiente a una D12 de granulometría algo más abierta que la actual del PG3. También se ha representado el huso de la S20, que es la mezcla que se va a fabricar.

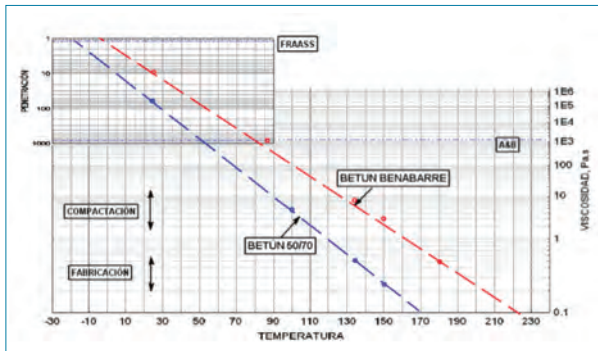


Figura 1.

3. Diseño de los betunes

Para fabricar las mezclas se trata de conseguir un betún final B 50/70 con el betún viejo, un B 50/70 y un aceite rejuvenecedor, es decir, compuesto básicamente por aromáticos. En términos de viscosidades para conseguir el betún rejuvenecedor habrá que mezclar un betún B 50/70 con el aceite rejuvenecedor de que se dispone, de 0.3 Poises de viscosidad.

Los porcentajes de betún rejuvenecedor y aceite para rejuvenecer el betún del RAP están representados en escala log(log(viscosidad)), lo que permite de una forma sencilla establecer las proporciones de cada uno. Ver Figuras 3 y 4.

4. Fabricación y compactación de las mezclas. Ensayos efectuados

Las mezclas tipo S20, se han fabricado mediante la incorporación de un árido virgen en las proporciones adecuadas para que la relación betún viejo / betún rejuvenecedor sea el 50% y

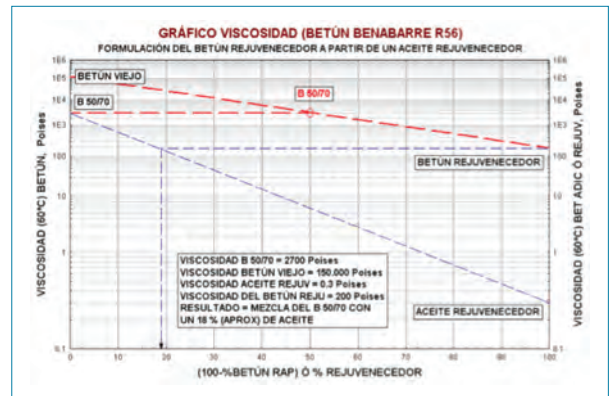


Figura 3.

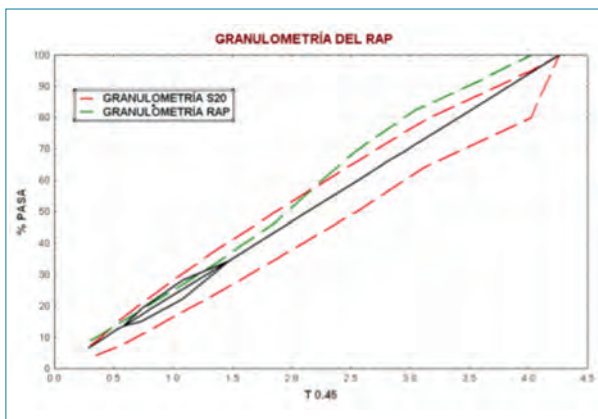


Figura 2.

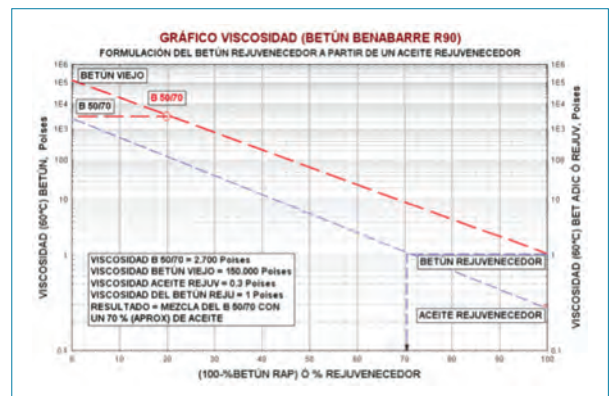


Figura 4.

Tabla 2.

Material	% betún s/a	% RAP mezcla	% RAP betún	% betún s/m
RAP	4,17	56,47	50,00	4,00
Áridos VIR	5,41	43,53	50,00	5,14
Total	4,71	100,00	100,00	4,50

Tabla 3.

Material	% betún s/a	% RAP mezcla	% RAP betún	% betún s/m
RAP	4,17	90,00	80,00	4,00
Áridos VIR	9,89	10,00	20,00	9,00
Total	4,71	100,00	100,00	4,50

el 80%, por lo cual, dado que el RAP y la mezcla final no tienen la misma proporción de betún, queda, en términos de mezcla, de la siguiente manera:

- **Mezcla al 50% sobre betún:**

En este caso la proporción 50% sobre betún, supone una proporción del 56,47 % de RAP, es decir la mezcla podría denominarse **R56**.

- **Mezcla al 80% sobre betún:**

En el caso del 80% sobre betún, supone una proporción del 90% de RAP, es decir la mezcla podría denominarse **R90**.

Los granulométricos del RAP, áridos vírgenes, y mezclas R56 y R90, están representados en la Figura 5.

Las temperaturas de los áridos y betunes para las mezclas de referencia han sido: RAP, 110 °C, **R(56)** y 140 °C **R(90)**; Áridos vírgenes, 210 °C (**R56**), 360 °C (**R90**), y 160 °C (**REF**), y Betunes y aceite, 160 °C.

Las mezclas se han compactado en maquina giratoria hasta 200 vueltas con un ángulo de 0,82° y presión de 600 kPa, obteniendo los diagramas de compactación de las Figuras 6 y 7, donde se han unificado las escalas de ordenadas para comparar mejor las densidades del R56 y R90. En ellas pueden verse dos tendencias distintas: mientras en la R56, a medida que el tiempo de mezclado ha si-

do mayor la mezcla se ha compactado más fácilmente, en la mezcla R90 ocurre todo lo contrario, y en ambos casos, la mezcla de referencia, la que se supone que los betunes están presentes en su proporción en toda la mezcla, ha quedado situada entre las fabricadas con tiempos de mezclado de 60 y 180 s.

Se ha llamado **D128** y **D200** a las densidades a 128 y 200 ciclos, al igual que **H128** y **H200** son los huecos a los mismos ciclos. Los resultados obtenidos en densidades y huecos tienen una interpretación complicada, por cuanto que era de esperar que la mezcla de referencia fuera la tendencia asintótica a la que convergerían las resultantes de tiempos crecientes de amasado. Por otro lado las densidades del R50 han sido menores que las del R80.

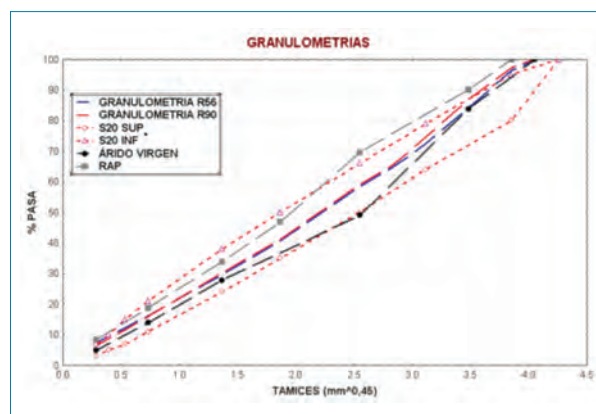


Figura 5.

Comportamiento del sistema betún viejo-betún rejuvenecedor en reciclado a altas tasas

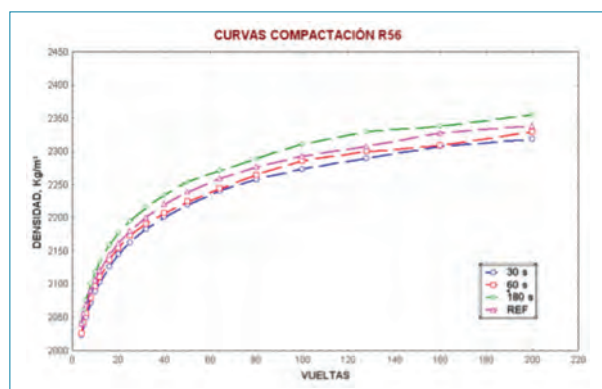


Figura 6.

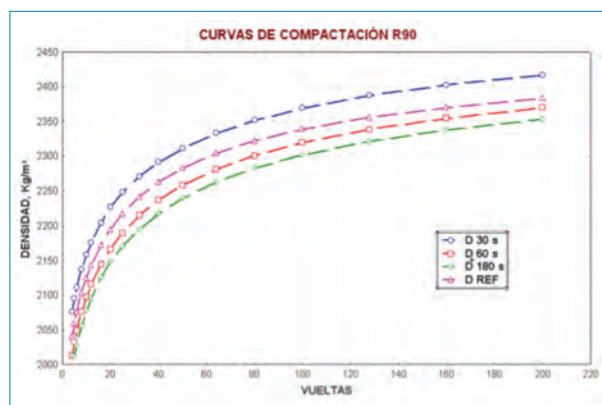


Figura 7.

Se han ensayado las probetas según la norma UNE-EN 12697-26 para conocer la evolución de los **módulos de rigidez dinámicos**. La temperatura ha sido de 20 °C. Las mismas probetas fabricadas para las curvas de compactación, se han utilizado para hallar los **módulos de rigidez**.

5. Interpretación de los resultados

Los componentes relativos de cada una de las mezclas son:

Observando la Figura 8, en el caso del R56 la relación betún viejo-B 50/70 es la más fuerte, quedando el aceite como

agente minoritario. En el caso del R90 el aceite domina sobre el B 50/70, pasando éste a ser residual.

Una interpretación al comportamiento densidad-ciclos de compactación, es que puesto que el betún rejuvenecedor del R56 está presente en mayor cantidad y con una mayor viscosidad, dominando el betún 50/70 sobre el aceite, ha prevalecido el betún viejo en los tiempos de mezcla más bajos, haciéndose la mezcla progresivamente más compactable a medida que se ha mezclado el betún rejuvenecedor con más tiempo de amasado. La transferencia de calor será rápida afectando menos a los tiempos cortos de amasado.

En el caso del R90, a pesar de que el betún rejuvenecedor está presente en menor cantidad, no se puede decir lo mismo del aceite, donde la baja viscosidad del mismo, con tan poca cantidad de B 50/70 domina sobre el RAP en los primeros momentos, endureciéndose la mezcla a medida que el tiempo de amasado es mayor, así como la transferencia térmica que se verifica en un tiempo más largo. Simplificando, en los primeros momentos se mezcla el RAP, comportándose como un árido, con el aceite que hace de lubricante y facilita la compactación, posteriormente el aceite irá mezclándose con el betún viejo y el poco B 50/70 endureciéndose la mezcla y disminuyendo su densidad.

Estos dos procesos en su fase final, y por la misma razón, llegarían a ser inversos, justificando la posición en retroceso de la mezcla de referencia. En definitiva, el proceso desde su situación inicial, hasta la saturación, estaría condicionado por la diferente viscosidad de las tres fases, por las cantidades relativas de las mismas, su dinámica de mezclado, y por la transferencia térmica.

Dado que las densidades máximas de las cuatro mezclas no son exactamente iguales, se han hecho intervenir los huecos analizando el espacio ciclos-huecos, pero la situación relativa de las curvas no ha cambiado.

Tabla 4.

% RAP	% Árido virg	% betún s/m	% betún viejo s/total betún	% betún REJ, s/m	% betún 50/70, s/m	% aceite s/m	% aceite s/total betún
56,47	43,53	4,5	50	2,25	1,845	0,405	9
90	10	4,5	80	0,9	0,27	0,63	14

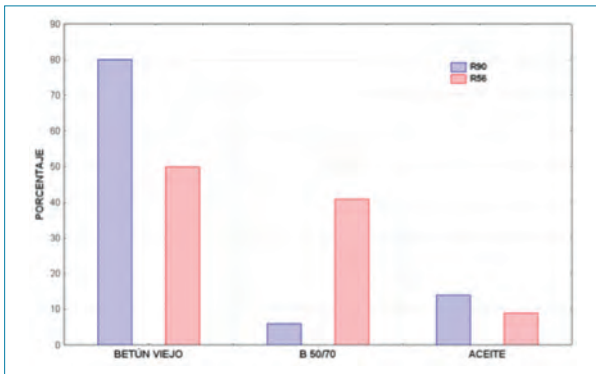


Figura 8. Composición final del betún.

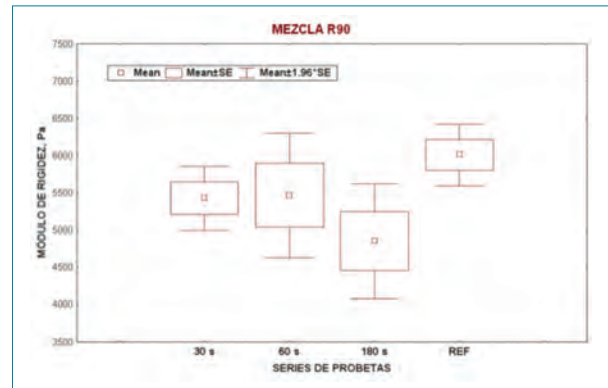


Figura 10.

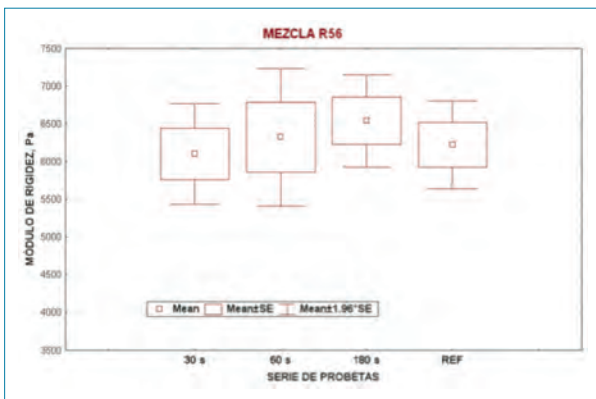


Figura 9.

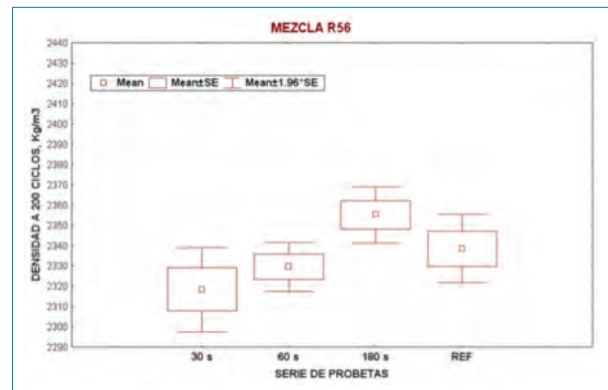


Figura 11.

Las representaciones gráficas de la distribución del error standard de las medias de los módulos de cada serie de 30 segundos, 60 segundos, 180 segundos, y de referencia, en las mezclas R56 y R90, son las de las Figuras 9 y 10 adjuntas.

Es también de interés representar la distribución del error standard de las medias de las densidades correspondientes a los módulos, es decir las finales a 200 ciclos. Se han unificado las escalas de las ordenadas para facilitar la comparación entre las dos mezclas estudiadas.

La dinámica de la densidad en función de los ciclos de compactación y los tiempos de mezclado puede apreciarse en las figuras 13 y 14, donde se manifiesta la evolución de los dos tipos de mezcla. La regularidad en el R56, la irregularidad en el R90, y las variaciones crecientes y decrecientes de ambas mezclas.

Adicionalmente se ha efectuado un análisis de varianza (ANOVA) para ver si las distintas variables son o no sensibles al tiempo de amasado, Tablas 5 y 6, y donde puede verse que solamente el módulo de rigidez, en el R56, es indistinguible en los cuatro tipos de mezcla, todas las demás variables han

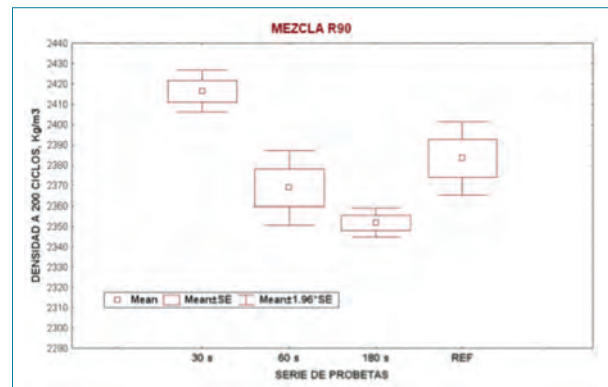


Figura 12.

resultado sensible al tiempo de amasado incluso el módulo de rigidez de la mezcla R90.

Los valores en azul indican significancia, p, menor de 0,05 (5%).

Si el análisis de varianza se hace respecto al tipo de mezcla, se obtienen los valores de la Tabla 7, que indican que el conjunto de todas las series, independientemente del tiempo de amasado, son sensibles al porcentaje de RAP.

Comportamiento del sistema betún viejo-betún rejuvenecedor en reciclado a altas tasas

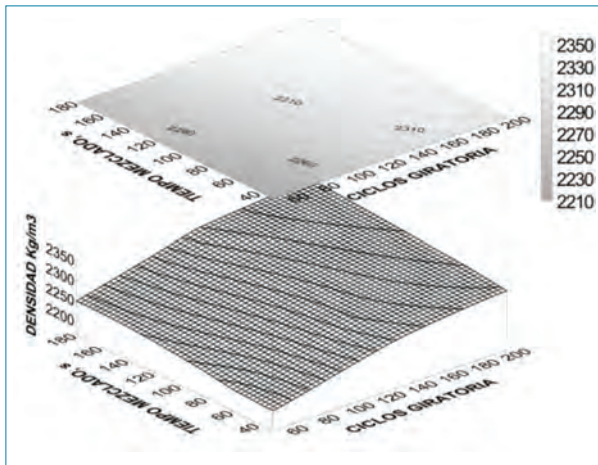


Figura 13. Mezclas R56.

Finalmente se han correlacionado las densidades con los módulos para cada una de las mezclas, manifestándose en el R56 un crecimiento bien acondicionado, aunque con una significancia algo alta por la escasez de datos, mientras que el R90 está claramente incorrelacionado, no encontrándose una tendencia significativa entre densidades y módulos.

6. Conclusiones

Las conclusiones del trabajo son cualitativas y evidencian que parte de la dispersión de resultados puede poner de manifiesto la heterogeneidad de unas probetas (D=10 cm; H = 6,5 cm), que procediendo de amasadas concretas y cuidadosamente dosificadas, parecen pequeñas respecto del tamaño máximo del árido, lo hace que al menos los módulos no sean lo repetitivos que sería de desear.

Este trabajo puede considerarse como una incursión en un tema complejo del cual se posee poco conocimiento cuan-

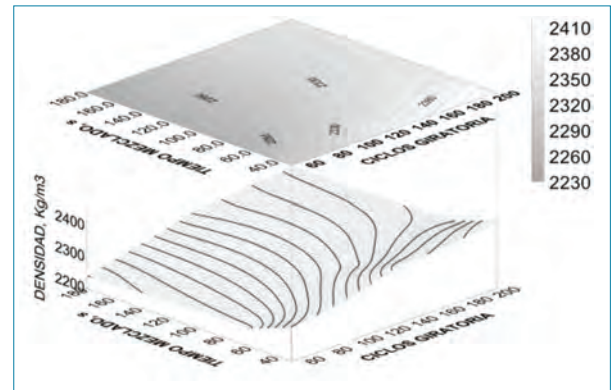


Figura 14. Mezclas R90.

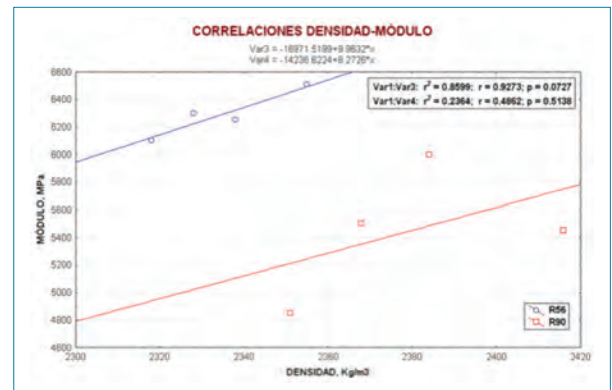


Figura 15. Correlación módulos densidad.

do se trata de altas tasas de reciclado, pero que en base a los resultados obtenidos, se pueden extraer claramente las siguientes tendencias:

- Las densidades conseguidas en el R56 han sido inferiores al R90, y su variación en función de los tiempos de amasado, han sido crecientes en el primer caso y decrecientes en el segundo. En principio, y en ausencia de mejores

Tabla 5. Tiempos de amasado R56.

R56	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
D128	7.773,9	3	2.591,3	18.310	32	572	4.529	0,009
D200	6.548,6	3	2.182,9	19.908	32	622	3.509	0,026
H128	17,4	3	5,8	29	32	1	6.393	0,002
H200	15,3	3	5,1	32	32	1	5.176	0,005
M. rigidez	870.704,5	3	290.234,8	35.591.336	31	1.148.108	0,252794	0,858734

Tabla 6. Tiempos de amasado R90.

R90	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
D128	22.663	3	7.554	21.172	35	604,9	12.488	0,000
D200	20.823	3	6.941	20.364	35	581,8	11.929	0,000
H128	85	3	28	33	35	0,9	29.850	0,000
H200	81	3	27	32	35	0,9	29.425	0,000
M. rigidez	14.149.226	3	4.716.409	31.703.381	32	990.730,6	4.761	0,007

Tabla 7. Tiempos de amasado en el conjunto R56 y R90.

R90 y R56	SS Effect	df Effect	MS Effect	SS Error	df Error	MS Error	F	p
D128	37.991	1	37.991	69.919	73	958	39.665	0,000
D200	40.047	1	40.047	67.644	73	927	43.218	0,000
H128	41	1	41	164	73	2	18.187	0,000
H200	43	1	43	159	73	2	19.889	0,0005
M. rigidez	7.825.680	1	7.825.680	82.314.648	69	1.192.966	6.560	0,013

criterios, se puede aceptar la hipótesis descrita en el presente estudio.

- Los **módulos de rigidez**, también han sido superiores y crecientes con el tiempo de amasado en el R56 aunque indistinguibles respecto del tiempo de mezclado, e inferiores decrecientes y más inestables en el R90.
- Los **módulos de rigidez** del R56 se han mantenido más uniformes con el tiempo de amasado que los del R90.
- Se evidencian los módulos bajos y la mayor inestabilidad en densidades en el R90, aún cuando, en las mezclas de referencia, donde la mezcla de betunes es perfecta, en el R90 se hayan conseguido mayores densidades y módulos algo inferiores que en la R56.
- Se puede deducir que el tiempo de amasado puede ser de 30 a 60 segundos, mejor este último valor, en las mezclas tipo R56, que aún mejorando en 180 segundos, no se justifica en su comparación con la mezcla de referencia. El tiempo de amasado queda más indeterminado en las R90, **donde los módulos han sido más bajos**, salvo el de referencia que iguala casi al R56, y donde también los 30 a 60 segundos son una buena opción, pero en un es-

cenario más inestable que exigiría profundizar más, **añadiendo ensayos de susceptibilidad al agua y fatiga**.

- Estos ensayos darán luz al comportamiento del R90 y su **decrecimiento inestable en módulo y densidad**.

7. Bibliografía

- Bernard F. Kallas. Flexible Pavement Mixure Design Using Reclaimed Asphalt Concrete. Research Report No 84-2.
- Imad L Al-Qadi, M Elseifi and S. Carpenter. Reclaimed Asphalt Pavement. A Literature Review.
- NCHRP. Recommended Use of Reclaimed Asphalt Pavement in the Superpave Mix Desogn Method: Tehnicians' Manual.
- Asphalt Recycling and Reclaimed Association. Manual Asphalt Recycling.
- K. Aravind, Animesh Das. Pavements design with central plant hot-mix recycled asphalt mixes.
- H.K.Cheung. Use of Recycled Asphalt Pavement. A Approach to Asphalt Recycling.
- F. Olard and alt. Very haigh recycling rate (> 50%)hot mix and worm mix asphalt for sustainable road construction.