

**EL PROYECTO FÉNIX EN LA UPC.
MEZCLAS ASFÁLTICAS RECICLADAS FABRICADAS CON
ALTAS TASAS DE MATERIAL BITUMINOSO RECICLABLE (RAP)**

Valdés Vidal, Gonzalo A. (*)
Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
Universidad de La Frontera
Temuco, Chile.
gvaldes@ufro.cl

Miró Recasens, Rodrigo
Universidad Politécnica de Cataluña
Barcelona, España.
r.miro@upc.edu

Martínez Reguero, Adriana H.
Universidad Politécnica de Cataluña
Barcelona, España.
adriana.martinez@upc.edu

Amorós Parras, José
Universidad Politécnica de Cataluña
Barcelona, España.
j.amoros@upc.edu

Buisson, Julien
División Asfaltos, Sorigué, España.
jbuisson@sorigue.com

Resumen

En el marco del Proyecto FENIX, financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial, y más concretamente dentro de la Tarea de Reciclado en Caliente, el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña, junto a las empresas Sorigué, Pavasal y Sacyr, han realizado un estudio destinado a determinar la variabilidad de las propiedades del material bituminoso reciclable (RAP) y de las mezclas bituminosas fabricadas en caliente con altas tasas de RAP en su composición. Para el estudio de homogeneidad se seleccionaron tres proyectos, construidos en diferentes provincias españolas entre los años 2004 y 2007, los cuales utilizaron mezclas recicladas con tasas entre el 40 y el 60% de RAP. En el RAP se evaluó la variabilidad existente en los acopios en torno al contenido de ligante y granulometría, mientras que en las mezclas recicladas se analizaron las mismas variables junto con las propiedades volumétricas y mecánicas obtenidas de los ensayos Marshall realizados durante el control de ejecución de las mezclas. Finalmente, se presenta una caracterización mecánica de las mezclas recicladas con altas tasas utilizadas en un tramo de la carretera A-140 de España, a través de los ensayos de módulo de rigidez y tracción indirecta, realizados sobre probetas y testigos, comparando los resultados obtenidos con el comportamiento de una mezcla semidensa convencional.

INTRODUCCIÓN

En el marco del proyecto de investigación FÉNIX, actualmente en curso en España, que tiene por objetivo principal crear los conocimientos técnicos necesarios para la obtención de tecnologías en la construcción de infraestructura viaria que haga que éstas sean más seguras para los usuarios y con un impacto medioambiental mínimo y sostenible, y dentro del área de mezclas recicladas en caliente, se presenta el siguiente estudio destinado a evaluar, las propiedades de las mezclas asfálticas recicladas fabricadas con altas tasas de RAP.

Cuando se emplea RAP en mezclas asfálticas el producto final puede presentar características mecánicas distintas a las de una mezcla confeccionada con materiales vírgenes. Algunos autores plantean que el comportamiento de las mezclas asfálticas recicladas con tasas de hasta un 30% de RAP presentan un comportamiento similar al de las mezclas convencionales; sin embargo otros, concluyen en sus investigaciones que existe una pérdida de cohesión y propiedades mecánicas de la mezcla (Miró y Pérez, 2002; McDaniel and Anderson, 2001). Sin embargo, estudios revisados sobre mezclas asfálticas con altas tasas de RAP no han entregado pautas claras sobre el comportamiento de este tipo de mezclas.

De acuerdo a lo anterior, en una primera etapa de esta investigación, se ha estudiado la variabilidad existente en el RAP, y la influencia de éste, en las propiedades de las mezclas con altas tasas de material reciclado. Además se ha determinado los posibles factores que originan estas variaciones.

En una segunda parte del estudio, se ha evaluado el comportamiento de las mezclas recicladas mediante la determinación del módulo de rigidez y de la resistencia a tracción indirecta, comparando los resultados obtenidos con una mezcla semidensa convencional con un tamaño máximo de árido de 20 mm, fabricada con un ligante de penetración 60/70. A su vez, se han realizado los mismos ensayos a testigos en diferentes periodos para ver la evolución de estos parámetros en el tiempo.

ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Los ensayos de control realizados, tanto al RAP como a las mezclas recicladas en caliente, junto con los ensayos para obtener la fórmula de trabajo de las mezclas evaluadas se ejecutaron de acuerdo a las especificaciones españolas mediante las normas que se señalan a continuación:

NLT-164/90 Contenido de ligante en mezclas bituminosas.

NLT-165/90 Análisis granulométrico de los áridos recuperados de las mezclas bituminosas.

NLT-168/90 Densidad y huecos en mezclas bituminosas compactadas.

NLT-159/00 Resistencia a la deformación plástica de las mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall.

El módulo de rigidez de las mezclas bituminosas es una de las propiedades más importantes a la hora de caracterizarlas mecánicamente. El ensayo de módulo de rigidez se ha realizado de acuerdo a la norma europea UNE-EN 12697-26. La temperatura de ensayo ha sido 15°C. El módulo de rigidez se obtiene aplicando la siguiente expresión:

$$S_m = \frac{F(\nu + 0,27)}{z \cdot h} \quad (1)$$

Donde,

- Sm: Módulo de rigidez. (MPa)
- F: Valor máximo de la carga vertical aplicada (N)
- ν : Coeficiente de Poisson.
- H: Espesor de la probeta (mm).
- Z: Amplitud de la deformación horizontal (mm).

Para evaluar la resistencia a tracción indirecta de las mezclas analizadas se ha utilizado el ensayo descrito en la norma europea UNE-EN 12697-23. La temperatura de ensayo ha sido 15°C y la velocidad de ejecución de 50 mm/min. La resistencia a tracción indirecta se determina mediante la siguiente expresión:

$$RTI = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot H} \quad (2)$$

Donde,

- RTI: Resistencia a la tracción indirecta (MPa)
- P: Carga (N)
- D: Diámetro muestra (mm)
- H: Espesor muestra (mm)

PROYECTOS SELECCIONADOS

Para el estudio de variabilidad se seleccionaron tres proyectos. En ellos se realizó un análisis de los resultados de los ensayos de control efectuados tanto al material a reciclar como a las mezclas recicladas, fabricadas en una misma planta continua, de doble tambor.

El primer proyecto seleccionado fue el refuerzo y rehabilitación de la carretera nacional N-230, ubicada en la provincia de Lérida, España, ejecutado en el 2004. Se realizó el fresado de los 6 cm superiores de mezcla asfáltica del pavimento antiguo y luego se extendió una capa asfáltica de 8 cm de mezcla reciclada en caliente tipo S-20 con una tasa de 50% de RAP (S20R50, Figura 1), y sobre ésta, una capa de rodadura de 6 cm de mezcla convencional. En esta obra se realizó un proceso de cribado en fracción de 40 mm del RAP previo a su utilización, rechazando los tamaños superiores.

El segundo proyecto seleccionado fue la rehabilitación del pavimento de la autovía A-7, ubicada en la provincia de Murcia, España, ejecutado en el 2005. Se realizó un fresado del carril derecho en todo el espesor de la mezcla existente. Luego, se empleó en las capas de reposición y primera capa de refuerzo una mezcla reciclada única, entre gruesa y semidensa, denominada GS-20 con una tasa de 50% de RAP (GS20R50, Figura 1); sobre ésta, se extendió una capa de 7 cm de mezcla convencional tipo S-20 y, finalmente, se extendió una capa de rodadura discontinua de 3 cm de una mezcla tipo M-10. En esta obra se realizó un proceso de cribado por le tamiz de 40 mm, homogenización y secado del RAP previo a su utilización.

El tercer proyecto seleccionado fue la rehabilitación del pavimento de la carretera A-140, ubicada en la provincia de Huesca, España, ejecutado durante el 2007. Se realizó un fresado de los 8 cm superiores de mezcla asfáltica del pavimento antiguo y luego se extendió una capa

asfáltica de 8 cm de mezcla reciclada en caliente en planta tipo S-20 con una tasa de 60% de RAP (S20R60, Figura 1). Sobre ésta, se construyó una capa intermedia de 5 cm de mezcla reciclada en caliente tipo S-12 con una tasa de 40% de RAP (S12R40, Figura 1), y finalmente se dispuso de una capa de rodadura discontinua tipo F8 en la que se utilizó un ligante asfáltico modificado con polímeros. Este proyecto tuvo la particularidad de utilizar de dos fracciones del RAP en el proceso de fabricación de las mezclas de recicladas, con el objetivo de disminuir la heterogeneidad del material. Las fracciones y proporciones de RAP utilizadas para la mezcla S-20 fueron 15% de RAP 0/8 mm y 45% de RAP 8/25mm, y para la mezcla S-12 fueron 20% RAP 0/8 mm y 20% RAP 8/25mm.

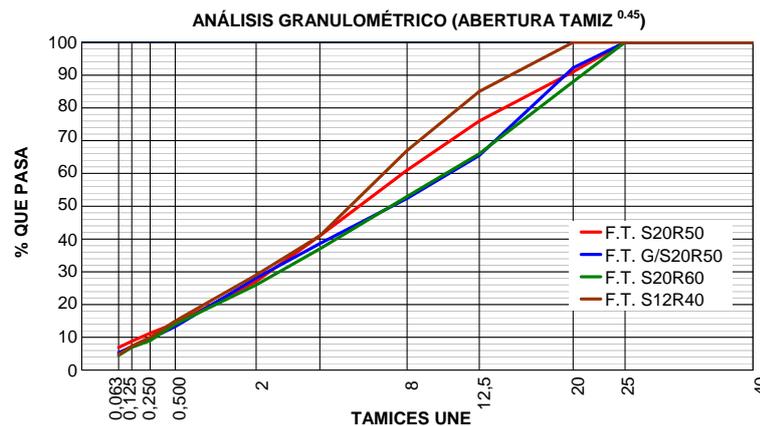


Figura 1: Fórmulas de trabajo mezclas recicladas

La caracterización mecánica de las mezclas recicladas por medio de los ensayos de módulo de rigidez y resistencia a la tracción indirecta se realizaron sobre probetas y testigos procedentes del tercer proyecto seleccionado, la carretera A-140 de la provincia de Huesca.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de Variabilidad

Análisis de Variabilidad del RAP. Los resultados de los ensayos de extracción de betún del RAP muestran una cierta dispersión durante el periodo en que éstos fueron realizados, Figura 2, aunque la mayor parte de los resultados fluctuaron entorno al contenido considerado en la fórmula de trabajo, por lo que el promedio de las extracciones fue similar al contenido de ligante utilizado para realizar la fórmula de trabajo.

Las variaciones granulométricas obtenidas en el RAP se recogen en la Tabla 1, en la que se observa que las mayores desviaciones se producen en los tamices 2, 4, 8 y 12,5 mm UNE. Según los datos observados en la Tabla 1, la fracción fina de RAP 0/8 mm fue la que obtuvo menores desviaciones en su granulometría respecto a las otras fracciones analizadas para los mismos tamices. A su vez, se aprecia también que la fracción gruesa de RAP 8/25 tuvo desviaciones similares a la del RAP 0/25.

El análisis de variabilidad realizado al RAP utilizado en dos de los tres proyectos seleccionados, carreteras N-230 y A-140, pone de manifiesto que al separar el RAP en diferentes fracciones y su posible utilización en distintas proporciones de cada una de las fracciones puede influir en la disminución de variabilidad en el contenido de betún y la granulometría de la mezcla reciclada, puesto que la mayor variabilidad se encuentra en los

tamaños mayores de RAP, tanto para el contenido de betún como para los tamaños de sus partículas.

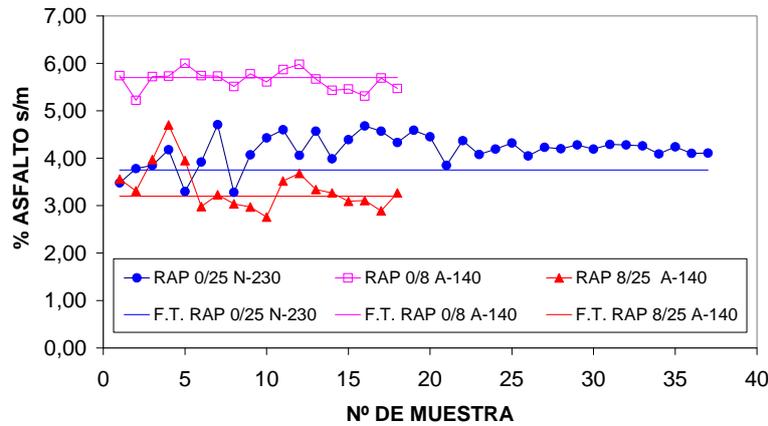


Figura 2: Contenido de asfalto RAP

Tabla 1 Estadísticas de las granulometrías realizadas al RAP

Granulometría del RAP											
Proyecto	Tamices UNE (mm)	25	20	12,5	8	4	2	0,5	0,25	0,125	0,063
RAP 0/25 N-230	Desviación estándar	0,42	3,18	6,23	6,44	6,49	5,36	3,14	2,17	1,42	1,24
RAP 0/8 A-140	Desviación estándar	-	-	-	0,61	3,12	3,61	1,82	2,15	1,38	0,67
RAP 8/25 A-140	Desviación estándar	0,51	1,70	6,36	7,90	6,51	5,04	2,48	1,88	1,23	0,91

Análisis de Variabilidad de la Mezcla Reciclada - Contenido de Betún y Granulometría. La variabilidad del contenido de betún en las mezclas recicladas se representa en la Figura 3, en la cual se ilustran las desviaciones medias y las desviaciones medias respecto a la fórmula de trabajo del contenido de betún de todas las mezclas analizadas en este estudio. Estas desviaciones representan, por una parte, el valor medio de las diferencias en valor absoluto entre los valores obtenidos en el contenido de betún y el valor medio de las muestras (ecuación 3), y por otra, el valor medio de las diferencias en valor absoluto entre los valores obtenidos en el contenido de betún respecto al valor señalado en la fórmula de trabajo (ecuación 4). Los valores estadísticos obtenidos son comparados con las desviaciones medias respecto de su fórmula de trabajo de mezclas convencionales, obtenidas de un promedio de 86 mezclas extendidas en proyectos ya ejecutados (Tahmoressi and Kennedy, 1988; Solaimanian and Kennedy, 1989).

$$DM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}| \quad (3)$$

$$DM_{FT} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - X_{FT}| \quad (4)$$

Donde,

DM: Desviación media

DMFT: Desviación media c/r a la fórmula de trabajo

Xi: Valor de una muestra

\bar{X} : Valor medio de las muestras

XFT: Valor propuesto en la fórmula de trabajo

La Figura 3 permite comparar las desviaciones medias respecto al promedio de los valores del contenido de betún obtenido de las extracciones realizadas a las muestras de las mezclas recicladas analizadas, apreciándose una tendencia a incrementar la variabilidad en el contenido de betún a medida que se incrementa el porcentaje de RAP en la mezcla. Sin embargo, se aprecia para la mezcla S20 R50, empleada en la carretera N-230 y la mezcla GS20R50, utilizada en la autovía A-7, con igual porcentaje de RAP en su composición, que existe una clara diferencia en las desviaciones medias obtenidas, observándose una mayor homogeneidad de la segunda mezcla descrita.

En las desviaciones medias del contenido de ligante respecto a la fórmula de trabajo de las mezclas analizadas, no se observa una tendencia clara, puesto que la mezcla con menor desviación media (GS20R50) no es la que contiene menor cantidad de RAP en su composición, pero si la que se realizó un proceso previo de homogenizado y secado del RAP antes de incorporarlo en la mezcla. Por otro lado, en la mezcla S12R40 (con una desviación similar) se utilizó un mayor porcentaje de la fracción de RAP 0/8 mm, lo que implica que tanto la utilización de RAP homogenizado y secado como la utilización de RAP en sus fracciones mas homogéneas conlleva una reducción de la variabilidad en la mezcla fabricada.

Las Figuras 4 y 5 ilustran las desviaciones medias respecto al promedio y las desviaciones medias respecto al valor señalado en las fórmulas de trabajo en los tamices 8 y 0,063 mm UNE para cada tipo de mezcla; estos valores son comparados con las desviaciones respecto de su fórmula de trabajo de mezclas convencionales, obtenidas de un promedio de 58 mezclas (Tahmoressi y Kennedy, 1988; Solaimanian y Kennedy, 1989).

En la Figura 4 se realiza una primera comparación de las desviaciones medias respecto al promedio de las granulometrías efectuadas en el tamiz 8 mm UNE, indicando variaciones que van de 1,6 a 4,3 %, apreciando una ligera tendencia a incrementar la variabilidad a medida que se incrementa el porcentaje de RAP en la mezcla. Si se analizan las desviaciones medias respecto a la media y respecto a la fórmula de trabajo de las mezclas con iguales contenidos de RAP de 50%, se observa una mayor homogeneidad para la mezcla GS20 R50, mezcla a la cual se le realizó al RAP un proceso de homogenizado previo, respecto a la mezcla S20R50, que solo se cribó el material en el tamiz de 40 mm. Si se comparan las diferencias de desviación respecto de la fórmula de trabajo con las obtenidas para el tamiz de 10 mm de mezclas convencionales, se observa que existe una gran diferencia, ya que para mezclas convencionales se tiene una desviación media respecto su fórmula de trabajo de un 1% y para las mezclas recicladas con alto contenido de RAP estas variaciones fluctúan entre 2,7 y 8,3%.

En la Figura 5 se observan las desviaciones medias de las granulometrías realizadas respecto al promedio de las muestras y respecto a la fórmula de trabajo para el tamiz 0,063 mm UNE. En este gráfico se observa que no existe una gran desviación respecto al promedio de las muestras, mostrando que las mezclas más homogéneas en su composición, son las mezclas S12 R40 y S20 R60, con valores de 0,18 y 0,24%, respectivamente. Las desviaciones medias respecto a la fórmula de trabajo son similares a las obtenidas en mezclas convencionales e incluso menores en la mayoría de las mezclas recicladas analizadas.

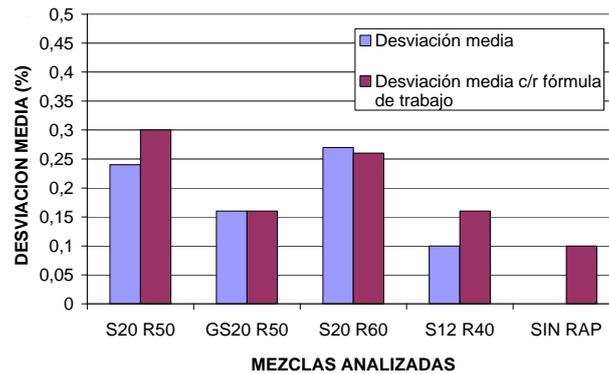


Figura 3: Desviaciones del contenido de betún

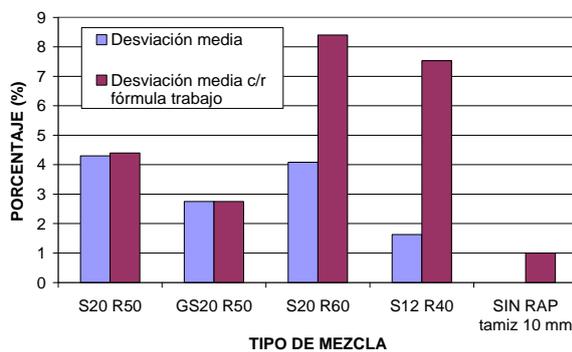


Figura 4: Desviaciones granulométricas para el tamiz 8mm UNE

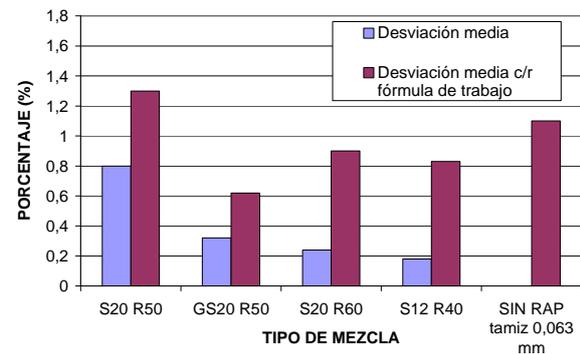


Figura 5: Desviaciones granulométricas para el tamiz 0,063 mm UNE

Análisis de Variabilidad de la Mezcla Reciclada - Propiedades volumétricas y mecánicas. Los parámetros volumétricos y mecánicos obtenidos de los ensayos Marshall realizados a las mezclas recicladas utilizadas en los proyectos seleccionados, fueron comparados entre sí y con los resultados obtenidos del análisis de ensayos realizados en otros seis proyectos en los que se utilizaron mezclas convencionales, ejecutados en la comunidad autónoma de Cataluña, España (Laboratorio de Caminos UPC, 2007).

Densidades. En la Figura 6 se presenta una comparación de las desviaciones estándar de la densidad de las mezclas analizadas, en la cual se observa una menor variabilidad para la mezcla S20R60; para el resto de las mezclas analizadas, la desviación fluctúa en torno a $0,020 \text{ g/cm}^3$, muy similar a la de las mezclas convencionales.

Contenido de Huecos. La variabilidad del contenido de huecos de las mezclas estudiadas se observa en la Figura 7, en la cual se aprecia que las desviaciones son inferiores a 0,9 % para todas las mezclas analizadas, y se encuentran incluso por debajo de la desviación de las mezclas convencionales.

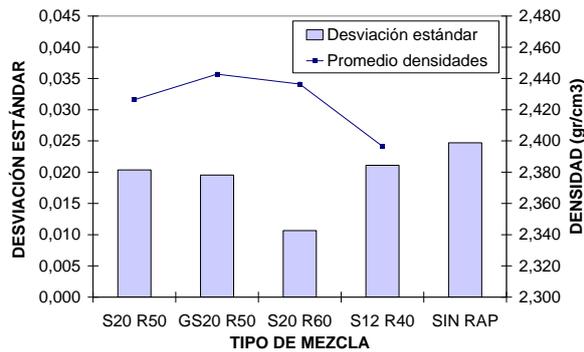


Figura 6: Desviación de densidades

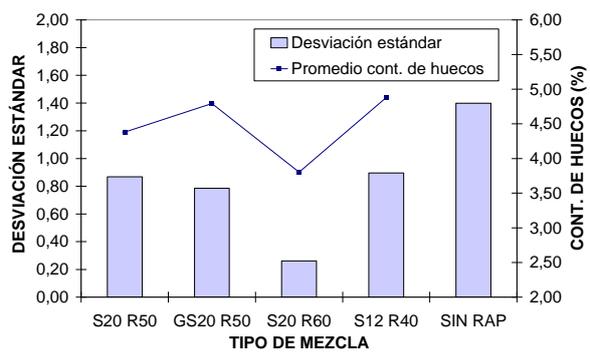


Figura 7: Desviación de contenido de huecos

Estabilidad Marshall. La variabilidad de las estabildades Marshall de las mezclas estudiadas se presenta en la Figura 8, donde se observa que las mezclas S12R40 y GS20R50 presentaron las menores desviaciones entre las mezclas recicladas analizadas que, en general, presentaron unos valores ligeramente superiores a los obtenidos en las mezclas convencionales sin RAP.

Deformación Marshall. La variabilidad de las deformaciones Marshall de las mezclas estudiadas se presenta en la Figura 9, en la cual se observa, al igual que en el análisis de las estabildades, que las mezclas S12R40 y GS20R50 presentaron las menores desviaciones estándar, con valores similares a los obtenidos en las mezclas convencionales sin RAP.

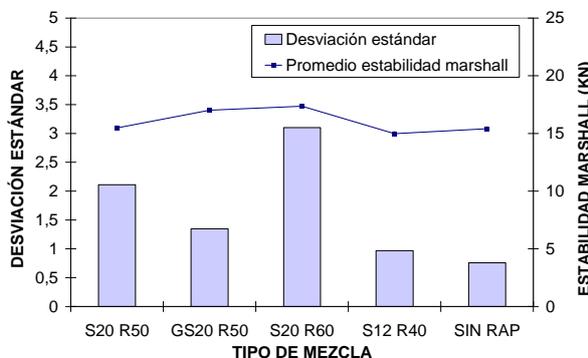


Figura 8: Desviación de estabilidad Marshall

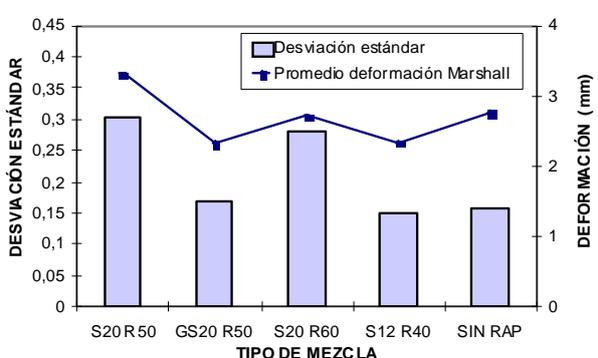


Figura 9: Desviación de deformación Marshall

Caracterización Mecánica

Luego de haber analizado la variabilidad del RAP y su influencia en la variabilidad de la mezcla reciclada en altas tasas, se presenta en esta sección los resultados obtenidos del estudio del comportamiento mecánico de las mezclas recicladas en altas tasas y su comparación respecto de una mezcla convencional. A su vez, se muestra la evolución en el tiempo del comportamiento mecánico de las mezclas recicladas en altas tasas, a través de los resultados obtenidos de sus propiedades mecánicas medidas sobre testigos. Las propiedades mecánicas de las mezclas recicladas y la mezcla convencional patrón, tanto de probetas como testigos, fueron obtenidas con los ensayos de módulo de rigidez y tracción indirecta.

Los resultados obtenidos de los ensayos de módulo de rigidez y resistencia a tracción indirecta realizados sobre probetas y testigos de las mezclas recicladas utilizadas en la carretera A-140 han sido representados en las Figuras 10 y 11, respectivamente, y los valores señalados corresponden a muestras individuales.

Los módulos de rigidez obtenidos a partir del ensayo de las probetas son, en promedio, mayores para las mezclas recicladas, S20R60 y S12R40, superando al módulo promedio obtenido para la mezcla convencional fabricada con el ligante de penetración B60/70. El módulo de la mezcla S12R40 fue ligeramente inferior al registrado por la mezcla S20R60. En cuanto a la densidad de las probetas, se observan que todas tuvieron densidades similares, cuyos valores fluctuaron entre 2,367 y 2,431 (g/cm^3).

Los resultados obtenidos de los testigos en el año 1, muestran una densidad media inferior a la obtenida en las probetas, con valores medios de módulos muy similares entre las mezclas recicladas fabricadas con diferentes tasas de RAP, pero también inferiores a los obtenidos en las probetas. Los módulos de rigidez de la mezcla S12R40, obtenidos de testigos extraídos en el año 2, presentan valores superiores a los obtenidos en el año 1, con densidades similares. Para la mezcla S20R60 se observa que los módulos obtenidos en el año 2 son similares a los obtenidos en el año 1, pero con densidades medias ligeramente superiores.

Los resultados de resistencia a tracción indirecta muestran en ambas mezclas recicladas valores muy similares, con rangos de densidad parecidos. Las mezclas recicladas presentan resistencias superiores a las de la mezcla convencional confeccionada con el ligante B60/70, pero con densidades medias ligeramente inferiores, Figura 11.

Los testigos obtenidos en el año 1 presentan, para ambas mezclas recicladas, resistencias inferiores a las obtenidas en las probetas, con densidades medias similares. Las resistencias obtenidas de los testigos en el año 2 son muy similares a las obtenidas en el año 1.

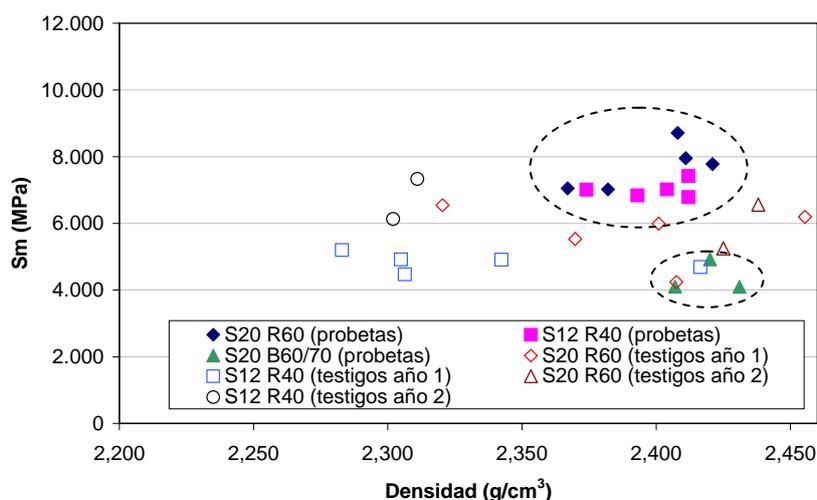


Figura 10: Módulos de rigidez a 20°C mezclas recicladas carretera A-140

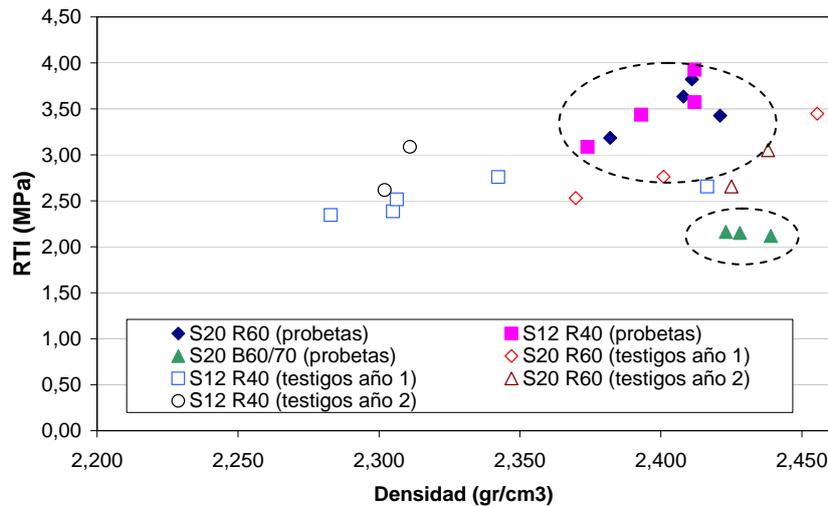


Figura 11: Resistencia a tracción indirecta a 15°C en mezclas recicladas carretera A-140

CONCLUSIONES

En la caracterización del RAP, los resultados de los ensayos de extracción muestran una cierta variabilidad en el contenido de ligante y en la granulometría. Sin embargo, se observa que existe una menor variabilidad en estos parámetros en las fracciones de RAP más pequeñas.

Respecto a las granulometrías de las mezclas recicladas analizadas se observa una mayor variabilidad en los tamaños 4, 8 y 12,5 mm UNE, no así en los tamaños menores, cuyas variaciones son similares a las de mezclas convencionales, y para el contenido de betún, las mezclas recicladas que fueron elaboradas con RAP previamente homogenizado y secado tuvieron una menor variabilidad.

Las propiedades volumétricas de las mezclas recicladas analizadas, contenido de huecos y densidad, presentaron una variabilidad similar a la de las mezclas convencionales.

La estabilidad Marshall de las mezclas recicladas tiende a aumentar a medida que aumenta el porcentaje de RAP existente en la mezcla, al igual que la variabilidad observada. La deformación Marshall es, en general, similar o ligeramente inferior a la de las mezclas convencionales, aunque no se observa una clara tendencia al variar el contenido de RAP.

Tanto los módulos de rigidez como las resistencias a tracción indirecta de las mezclas recicladas, obtenidos a partir del ensayo de probetas, son mayores que los de las mezclas convencionales, presentando rangos de densidades similares. En el caso de los testigos se observa una cierta disminución respecto los valores obtenidos a partir de las probetas, pero no aprecian disminuciones importantes entre el año 1 y 2 en que éstos fueron extraídos.

AGRADECIMIENTOS

La realización del Proyecto Fénix (www.proyectofenix.es) ha sido posible gracias a la contribución financiera del Centro para el Desarrollo Tecnológico e Industrial (CDTI) dentro del marco del programa Ingenio 2010 y, más concretamente, a través del Programa CENIT. Las empresas y centros de investigación que participan en el Proyecto desean mostrar su gratitud por dicha contribución.

Los autores quieren agradecer a todas las organizaciones y empresas participantes del Proyecto Fénix: Centro de Investigación Elpidio Sánchez Marcos (CIESM) , Centro Zaragoza, Construcciones y Obras Llorente (Collosa), Ditecpesa, Asfaltos y Construcciones Elsan, Intrame, Pavasal, Repsol YPF, Sacyr, Serviá Cantó, Sorigué, CARTIF, CEDEX, CIDAUT, CSIC (IIQAB), GIASA, Intromac, Labein, Universidad de Alcalá de Henares, Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Castilla La Mancha, Universidad de Huelva, Universidad de Cantabria, Universidad Politécnica de Cataluña, Universidad Politécnica de Madrid, y a sus numerosos colaboradores cuya capacidad de trabajo y eficacia están permitiendo el desarrollo de este Proyecto en un ambiente de cooperación.

REFERENCIAS

- Laboratorio de Caminos, Universidad Politécnica de Cataluña. (2007). Informes Técnicos de Obras, ETSECCPB, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Martínez A. Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución. Tesis doctoral del Departamento de Infraestructura del Transporte y Territorio de la ETSECCPB-UPC, 2000.
- McDaniel R. and Anderson R. M. (2001). Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the Superpave mix design method: Technician's Manual, Rep. No. 452, NCHRP, Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C.
- Miró Recasens R. y Pérez Jiménez F. (2002). Características Mecánicas de las Mezclas Recicladas en Caliente, *Revista Carreteras*, N° 119, 29 -44.
- Solaimanian M. and Kennedy, T.W. (1989). Evaluation of Field Compaction, Density Variations, and Factors Affecting Density Through 1987 HMAC Field Construction Data. Report 468-4F. Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.
- Tahmoressi, M. and Kennedy, T.W. (1988). Organization and analysis of 1987 HMAC Field Construction Data. Report 1197-1F. Center for Transportation Research, University of Texas at Austin.