

Capítulo 5

CONCLUSIONES

La conservación del medio ambiente se ha convertido en los últimos años en una de las principales preocupaciones de la mayoría de las administraciones de los países de todo el mundo. Por esta razón se invierte cada día más en el desarrollo de técnicas y equipos que ayuden a la preservación de los recursos naturales existentes.

Gracias al estudio bibliográfico realizado, se ha podido comprobar que una gran cantidad de administraciones y grupos de investigación han estado trabajando desde hace muchos años, en el desarrollo de diferentes técnicas que permitan el reciclado de los materiales utilizados en la construcción de carreteras, en especial de las capas de pavimento, por ser las más costosas y las que contienen los materiales de mejor calidad dentro del firme. La construcción de tramos de prueba empleando diferentes técnicas de reciclado, el diseño y construcción de equipos específicos para la reutilización de los materiales recuperados de pavimentos, así como los estudios de laboratorio llevados a cabo para conocer el comportamiento de las mezclas recicladas, son muestras claras de que existe una gran preocupación en muchos países por el reciclado de los pavimentos, y que se está investigando para desarrollar y mejorar las técnicas existentes.

Lo que está claro, es que las administraciones están tratando de potenciar el reciclado de pavimentos, en algunos casos por presiones ecologistas, por un análisis de costos, o impulsados por los acuerdos y normativas europeas que pretenden que, en un corto plazo, se reciclen todos los materiales potencialmente reciclables. Algunos países están implantando medidas para favorecer el desarrollo de esta técnica, como la aplicación de tasas por la extracción de áridos nuevos o por el vertido de residuos o la entrega de bonificaciones a las empresas que utilicen materiales reciclados.

A pesar de esto, hasta hace pocos años, en España era muy poco frecuente que se considerara el reciclado como una alternativa en los proyectos de rehabilitación de carreteras. Esto se debe principalmente, a que los materiales reciclados se han considerado, equivocadamente, como de menor calidad, además de esto, la falta de normativa y de soporte técnico han influido también de forma negativa para lograr su implantación definitiva en este país.

De las diferentes metodologías para el reciclado de firmes de carreteras, nos centramos en el “*Reciclado de Pavimentos Asfálticos en Caliente en Planta*”, una técnica bastante desarrollada en algunos países como Estados Unidos, Dinamarca, Alemania, Holanda o Suecia, en donde su empleo es casi habitual, pero que en España ha sido poco utilizada y por lo tanto se cuenta con poca experiencia en ella.

Una vez analizado todo lo anterior, en el Laboratorio de Caminos de la UPC se decidió efectuar este completo estudio de las características de diferentes mezclas bituminosas fabricadas con la técnica de reciclado en caliente en planta, con la finalidad de comprobar que son adecuadas para formar parte de los pavimentos asfálticos de carreteras. Después de la realización y análisis de cerca de 1000 ensayos de laboratorio, se han obtenido una serie de conclusiones que se comentan a continuación.

En primer lugar debemos mencionar la gran importancia que tiene la correcta caracterización de los materiales que formarán parte de las mezclas recicladas, en especial del MBR, ya que se pueden presentar grandes variaciones en la granulometría del árido y en el contenido y características del betún envejecido que contienen.

Para evitar estas variaciones en las características del MBR, deben controlarse adecuadamente los acopios, intentando que sean lo más homogéneos posible mediante un machaqueo secundario que logre que todo el material pase por el tamiz de 25 mm, además de realizar una serie de mezclados sucesivos, o incluso, si es posible, separándose por tipo de capa, es decir, MBR procedente de capa de rodadura, MBR procedente de capa de base, etc.

Otro punto de importancia consiste en definir el porcentaje de MBR que se utilizará en la mezcla, para esto se debe tomar en cuenta la capacidad de la planta de fabricación, las características del material fresado y la normativa existente. Actualmente en España se permite utilizar un máximo del 50% de MBR para mezclas de carreteras.

Al fabricar las mezclas recicladas, se debe poner especial cuidado en mantener constante la granulometría ya que estamos trabajando con un material (MBR) que, como se ha mencionado, no es homogéneo y puede generar variaciones significativas, sobre todo en las fracciones finas del árido.

Elegir el betún de aportación adecuado es un punto determinante en el comportamiento de la mezcla final. Para contenidos de MBR inferiores al 25% bastaría, en principio, con hacer un estudio de la penetración del ligante final y verificar que cumple con lo especificado en el PG-3. Sin embargo, para contenidos mayores al 25% de MBR o cuando el betún del material fresado tiene una penetración muy baja (menor a 15 dmm), es recomendable hacer un estudio más profundo del comportamiento del ligante final, analizando su punto de reblandecimiento, índice de penetración, y punto de fragilidad Frass, para comprobar que se ha logrado reestablecer sus propiedades.

Sin embargo, hacer un adecuado análisis de las características del ligante final, mediante dichos ensayos, es complicado y no nos garantiza su buen comportamiento dentro de la mezcla reciclada. Es aquí, donde podemos destacar la gran conveniencia de estudiar el comportamiento del mástico de las mezclas recicladas mediante el método UCL[®], ya que nos muestra de forma clara y sencilla, la variación de la cohesión de las mezclas al utilizar diferentes ligantes de aportación, así como su susceptibilidad al envejecimiento.

En nuestro caso, después de ensayar másticos con diferentes porcentajes de MBR y manteniendo el porcentaje de betún total constante, hemos podido comprobar que si aumentamos el contenido de MBR, se incrementa la fragilidad y disminuye la cohesión de las mezclas. Por otra parte, hemos podido analizar con el método UCL[®] la resistencia al envejecimiento de másticos con un mismo porcentaje de MBR pero utilizando diferentes ligantes de aportación, de esta forma se ha podido observar, entre otras cosas, que el aceite reciclado utilizado como rejuvenecedor no es adecuado para la fabricación de mezclas recicladas, ya que presenta en todos los casos unas pérdidas elevadas y su curva de estado tiene una pendiente más acusada que el resto de los casos estudiados.

Con todo esto concluimos, que el método UCL[®] es una herramienta de gran ayuda a la hora de seleccionar el tipo de ligante de aportación adecuado para la fabricación de una mezcla reciclada.

El ensayo más utilizado para la dosificación de mezclas convencionales es, sin lugar a dudas, el ensayo Marshall. Al estudiar el comportamiento de las mezclas recicladas aplicando este ensayo, nos hemos dado cuenta que los parámetros utilizados normalmente no son suficientes para la correcta dosificación de las mezclas recicladas, ya que, a pesar de haber cumplido en prácticamente todos los casos con las especificaciones establecidas en la antigua O.C. 299/89 T “*Recomendaciones sobre mezclas bituminosas en caliente*”, en cuanto a estabilidad, deformación y porcentaje de huecos en mezcla, se ha observado que presentan un comportamiento muy rígido cuando se utilizan porcentajes elevados de MBR o se disminuye la penetración o el porcentaje del ligante de aportación, lo cual podría favorecer la aparición de fisuras en las capas de pavimento.

Una forma sencilla de medir esta rigidez es mediante el cálculo del Módulo Marshall, obtenido de dividir la estabilidad por la deformación. Después de analizar los resultados obtenidos de las mezclas recicladas y de las mezclas convencionales, hemos concluido que sería conveniente limitar el Módulo Marshall de las mezclas recicladas a un valor máximo de 8 kN/mm para asegurar que su comportamiento sea más dúctil y equivalente al de las mezclas convencionales.

Otro ensayo de fácil ejecución y que se está utilizando en el control de calidad de mezclas convencionales es el ensayo de Tracción Indirecta, el cual, aplicado a las mezclas recicladas puso nuevamente de manifiesto que estas mezclas se vuelven más frágiles al aumentar el contenido de MBR, ya que se incrementa su resistencias a tracción indirecta pero su deformación de rotura disminuye.

En general, las resistencias a tracción indirecta presentadas por las mezclas recicladas son satisfactorias, sin embargo, se ha podido observar con este ensayo, que el agua tiene un efecto negativo cuando los porcentajes de MBR sobrepasan el 30-35%, ya que a partir de estos valores su resistencia conservada disminuye drásticamente. Para evitar este problema, es necesario evitar que la resistencia conservada tras inmersión sea menor del 75%, además de exigir una resistencia a tracción indirecta en seco de 2 MPa como mínimo en el caso de mezclas gruesas y de 2.5 MPa para mezclas densas y semidensas.

El ensayo de tracción directa BTD muestra de una forma muy clara la variación que presenta la tenacidad de las mezclas recicladas con diferentes contenidos de MBR y con diferentes porcentajes y tipos de betunes de aportación. Otro parámetro que se mide de forma muy clara es la deformación de rotura dR de las mezclas recicladas. Estos dos parámetros, se relacionan con la vida a fatiga que pueden lograr las mezclas, por lo tanto, es importante que las mezclas recicladas tengan una tenacidad y deformación de rotura similares a las de las mezclas convencionales equivalentes.

En general, pudimos observar en los ensayos a tracción directa BTD realizados a diferentes mezclas recicladas en caliente, que la tenacidad y la deformación de rotura dR , disminuyen al aumentar el porcentaje de MBR utilizado, pero se incrementan con mayores contenidos de betún o al emplear betunes más blandos, de esta manera se pueden probar distintas combinaciones hasta lograr obtener mezclas recicladas con un comportamiento adecuado y similar a las mezclas convencionales.

Las leyes de fatiga en el ensayo de Flexotracción Dinámica de las mezclas recicladas no presentaron diferencias significativas con respecto a las mezclas de referencia. Sin embargo, el módulo dinámico, calculado en el ciclo 200, presentó ciertas variaciones que afectaron a la hora de calcular la vida a fatiga de las diferentes secciones estudiadas mediante el programa ECO-ROUTE™. A pesar de esto, el comportamiento a fatiga de las mezclas recicladas estudiadas se considera adecuado.

En resumen, hemos podido comprobar que las mezclas recicladas pueden alcanzar un comportamiento prácticamente equivalente al de las mezclas convencionales, siempre y cuando se tenga el suficiente cuidado en su diseño, y proceso de fabricación. Por lo tanto, el reciclado de pavimentos es una alternativa más que debería tomarse en cuenta en los proyectos de rehabilitación de firmes.

Como conclusión final podemos decir que el *“Reciclado de Mezclas Bituminosas en Caliente en Planta”* es una técnica que tiene un gran futuro en España y que la administración, las empresas privadas y las universidades deben unir esfuerzos para fomentar su desarrollo y utilización, ya que comporta importantes beneficios ecológicos y económicos en la fabricación de un producto de alta calidad para la construcción de pavimentos de carreteras.