

METODOLOGIA Y DIRECTRICES BASICAS PARA EL ESTUDIO DEL RECICLADO DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN EL LABORATORIO

BALTASAR RUBIO

Centro de Estudios de Carreteras (CEDEX)

RESUMEN

El reciclado de una mezcla bituminosa exige la realización de un estudio en laboratorio que permita establecer el tipo y las proporciones ponderadas de áridos nuevos de aportación y de rejuvenecedor, necesarias para obtener una mezcla reciclada que cumpla las características deseadas.

En este artículo se expone la metodología general para realizar el estudio en laboratorio, así como las directrices básicas y métodos de ensayo más adecuados para realizar cada una de las fases de dicho estudio.

1. INTRODUCCION.

Los pavimentos asfálticos se deterioran paulatinamente con el tiempo, bajo la acción del tráfico y de los elementos ambientales.

Cuando aparecen los primeros signos de deterioro en la carretera, se mantiene el nivel de seguridad y confort mediante las operaciones normales de conservación. Los bacheos, tratamientos superficiales, lechadas bituminosas, etc., pueden prolongar la vida de un firme con un costo relativamente bajo; pero en un período de tiempo más o menos largo el deterioro alcanza un nivel que hace necesario proceder, mediante las técnicas de rehabilitación, a restituir al firme las cualidades perdidas.

La crisis energética, ocurrida en los últimos años, junto con la carestía progresiva de los yacimientos naturales para la extracción de áridos de buena calidad, así como la política general de protección del medio ambiente, han motivado un gran desarrollo de las técnicas, equipos y maquinaria del reciclado de mezclas bituminosas, debiéndose contar con esta nueva tecnología, como una alternativa más para la rehabilitación de las carreteras.

La elección del reciclado en la rehabilitación

del firme ha de basarse en criterios técnicos y económicos. En primer lugar ha de hacerse un análisis profundo de los defectos a corregir, que ha de ir acompañado de un estudio en laboratorio que permita establecer si es posible conseguir una mezcla reciclada que cumpla las características deseadas, y una vez elegida la técnica más adecuada, hacer una valoración económica para ver la viabilidad del proyecto.

Las técnicas existentes y equipos disponibles de reciclado de mezclas bituminosas, así como los objetivos y estrategia para su aplicación, han sido ampliamente descritos en la bibliografía, tanto extranjera como nacional.

En el presente artículo se va a considerar solamente uno de los aspectos del reciclado de mezclas bituminosas: el estudio en el laboratorio. Se pretende, por tanto, recoger de forma general la metodología y directrices básicas para realizar dicho estudio, indicando la sistemática para su correcta ejecución, así como los métodos de ensayo normalizados más adecuados para realizar cada una de las fases del trabajo de laboratorio.

2. SISTEMATICA PARA EL ESTUDIO EN EL LABORATORIO DEL RECICLADO DE MEZCLAS BITUMINOSAS.

En el reciclado de una mezcla bituminosa es necesario realizar un estudio en laboratorio, que tiene por objeto evaluar las características de la mezcla a reciclar y determinar las proporciones ponderadas de áridos de aportación y de rejuvenecedor, necesarias para obtener una mezcla reciclada que cumpla las exigencias requeridas para la nueva aplicación a que se destine.

El estudio en laboratorio de un proceso de reciclado exige la realización de tres etapas fundamentales:

1º Determinación de las características de la mez-

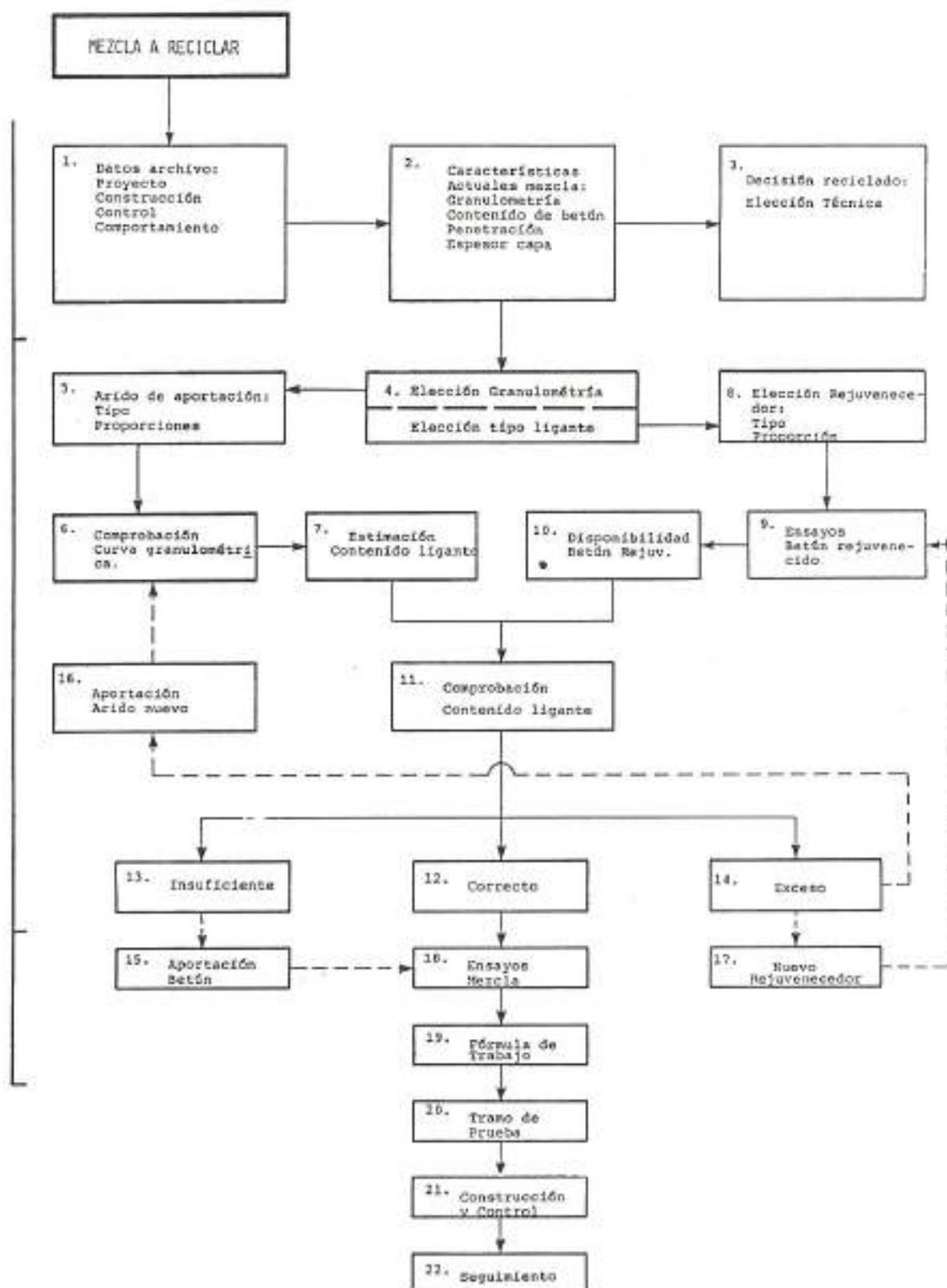


FIGURA 1. Esquema operativo del estudio del reciclado en el laboratorio.

ela a reciclar (granulometría, contenido de ligante y características de este último).

2ª Determinación de las proporciones necesarias de áridos nuevos de aportación para obtener la curva granulométrica, y la de rejuvenecedor para alcanzar la consistencia y el contenido de betún comparables a los de una mezcla bituminosa convencional, y definir los materiales necesarios para su consecución.

3ª Determinación de las características mecánicas y reológicas de la mezcla reciclada que permitan establecer la fórmula de trabajo.

Los pasos necesarios para realizar estas operaciones se recogen en el esquema operativo representado en la figura 1, que se va a comentar brevemente.

Como fase previa al trabajo de laboratorio, se obtendrán los datos de archivo correspondientes al proyecto, construcción, control y comportamiento de la mezcla a reciclar (1).

Se iniciará propiamente el trabajo, con la toma de muestras de la mezcla asfáltica en número suficiente y de forma que sean representativas de la misma. Sobre estas muestras se determinará, granulometría, proporción del betún y su penetración, y se medirá el espesor de la capa. El tratamiento de los resultados nos dará información sobre la homogeneidad de la capa a reciclar, así como los valores medios y su dispersión (2).

La comparación de estos dos grupos de datos (1) y (2) nos dará información sobre las posibilidades del reciclado con la técnica escogida (3).

Determinadas las características medias y las dispersiones de la mezcla a reciclar, se procederá a la elección de la granulometría y el tipo de ligante para la mezcla reciclada (4).

Con los datos granulométricos de la mezcla a reciclar y la mezcla elegida, se determinará el tipo y proporción de árido de aportación (5). Esta corrección granulométrica dependerá fundamentalmente del contenido de filler.

Se comprueba la granulometría resultante y se estima o determina la cantidad óptima de ligante rejuvenecido necesario para la mezcla reciclada (6) y (7).

Por otra parte, se realiza con el betún envejecido el estudio de su rejuvenecimiento, y se elige el tipo y proporción de rejuvenecedor, exigiéndose tan sólo, normalmente, conseguir la consistencia o penetración deseada (8).

Este ligante rejuvenecido se somete a los ensayos correspondientes y, en especial, a pruebas de envejecimiento mediante ensayo en película fina (9).

En función de la relación, betún envejecido/-rejuvenecedor y del porcentaje de betún en la

mezcla a reciclar, tendremos una determinada disponibilidad de betún rejuvenecido para satisfacer la demanda de ligante de la mezcla reciclada (10).

La comparación entre el porcentaje de betún obtenido en (7) y (10) permite comprobar el contenido de ligante de la mezcla (11), pudiendo ocurrir las siguientes situaciones:

Si el contenido de betún es correcto (12), se prosigue con el ensayo de dosificación de la mezcla (18).

Si el contenido de ligante es insuficiente, (13) se adiciona la cantidad necesaria de betún de la penetración elegida (15) para obtener el contenido de ligante estimado, y se prosiguen los ensayos de dosificación de la mezcla (18).

En el caso de resultar un contenido excesivo de ligante rejuvenecido (14), pueden adoptarse dos soluciones:

A. Aportar más árido nuevo (16) con lo que se consigue que el exceso de betún se emplee en la envuelta de estos últimos áridos aportados, si bien la cantidad de mezcla a reciclar disminuye. Volviendo de nuevo a (6) para continuar el proceso.

B. Elegir otro agente rejuvenecedor (17) de forma que la relación betún envejecido/rejuvenecedor sea más alta, con lo que el porcentaje de betún rejuvenecido disminuirá. Se vuelve a la fase (9) para repetir el proceso.

Una vez conseguida la composición granulométrica definitiva y el contenido de ligante correcto (12) se determinarán las características de la mezcla reciclada (18), y se establecerá la fórmula de trabajo (19).

Realizada la puesta a punto de la instalación de reciclado de acuerdo con la fórmula de trabajo, se construye un tramo de prueba (20) para establecer las condiciones de construcción (21). El control de fabricación y puesta en obra de la mezcla reciclada debe programarse y realizarse de forma que se cumplan las prescripciones establecidas.

Por último, y con objeto de adquirir la máxima experiencia, será necesario realizar un seguimiento de las características de la mezcla para comprobar, sobre todo, su evolución en obra (22).

3. DIRECTRICES BÁSICAS Y MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL ESTUDIO EN LABORATORIO DEL RECICLADO DE MEZCLAS BITUMINOSAS.

Una vez referida la sistemática a seguir en el laboratorio para el estudio del reciclado de mezclas bituminosas, se expone en este apartado la forma de realizar las operaciones más relevantes inclui-

das en dicho estudio, así como los métodos de ensayo normalizados más idóneos para llevarlas a cabo.

3.1. TOMA DE MUESTRAS DE LA MEZCLA A RECICLAR

Aparte de los procedimientos generales empleados en la toma de muestras en capas bituminosas, puede resultar práctico, en los procesos de reciclado, la extracción de testigos mediante sonda, de acuerdo con las recomendaciones del comité técnico de la RILEM. El diámetro de los testigos será de 15 cm para las capas con espesor inferior a 5 cm, y de 10 cm para las de mayor espesor.

El número de muestras será de un testigo por cada km y por cada carril, siempre que se cumplan las siguientes exigencias respecto al valor medio del tramo.

% árido grueso = $\bar{X} \pm 5$

% árido fino = $\bar{X} \pm 3$

% filler = $\bar{X} \pm 2$

% ligante s/a = $\bar{X} \pm 0,5$

Penetración del ligante, 0,1 mm = $\bar{X} \pm 5$.

Si no se cumplen estas exigencias, se tomará un mayor número de muestras o se dividirá el firme en tramos más homogéneos.

3.2. COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA A RECICLAR.

Realizada la toma de muestras se procederá a determinar la composición de la mezcla bituminosa, es decir, la granulometría de los áridos y el contenido de ligante.

La granulometría de los áridos y el contenido de ligante de las muestras de mezcla bituminosa envejecida, se determinarán mediante los correspondientes métodos de ensayo normalizados en nuestro país, pero utilizando como disolvente para la extracción de los áridos y recuperación del ligante, cloruro de metileno, que tiene un punto de ebullición muy bajo, para que, en el proceso posterior de recuperación, el disolvente pueda ser destilado con facilidad, y tener así garantía de que no queden restos del mismo en el ligante que puedan alterar los resultados de sus ensayos.

Estos métodos son:

NLT-165/76. Análisis granulométrico de los áridos extraídos de mezclas bituminosas.

NLT-164/76. Determinación del contenido de ligante de mezclas bituminosas.

Cuando las mezclas bituminosas a reciclar presenten una elevada cantidad de filler y de ligante, o cuando los áridos sean muy absorbentes, la extracción completa del ligante en centrífuga suele ser difícil, por lo que en estos casos es recomendable la extracción en un "sohxlet". Este procedimiento con "sohxlet" no está normalizado en nuestro país, pero puede realizarse de acuerdo

con la norma ASTM-D-2172/72 (procedimiento B).

Con los áridos extraídos y secos se procederá a efectuar los ensayos necesarios para su caracterización de acuerdo con el PG-3/75. El tipo y número de ensayos habrá que fijarlos para cada caso concreto, y dependerá de la aplicación que se vaya a dar a la mezcla reciclada, así como de los datos de archivo de que se disponga de los mismos.

Con los datos granulométricos de la mezcla a reciclar se calculará la proporción de árido de aportación necesaria para encajar la granulometría de la mezcla reciclada en el huso elegido.

3.3. RECUPERACIÓN DEL LIGANTE ENVEJECIDO

Como fase previa e imprescindible para la caracterización del ligante envejecido es necesaria su recuperación de manera que se asegure una alteración mínima de sus propiedades.

Cuando se están determinando, mediante el ensayo normalizado, los dos parámetros más característicos de la composición de la mezcla a reciclar (granulometría y contenido de ligante), el betún envejecido se encuentra disuelto en cloruro de metileno.

La recuperación del ligante de esta disolución se realizará mediante destilación, a presión reducida, con columna de fraccionamiento, siguiendo el método recogido en la norma NLT-353/77. Pero si se dispone en el laboratorio de un destilador rotatorio a vacío (rotavapor) es más conveniente recuperar el betún con este aparato (Fig. 2) de acuerdo con el método puesto a punto en el Centro de Estudios de Carreteras, ya que es más rápido y presenta una mejor repetibilidad.

Las condiciones de trabajo de este método pueden resumirse así:

1.ª Etapa: Destilación de la mayor parte de disolvente

— Velocidad de rotación = 7,8 rad/s (aprox. 75 r.p.m.)

— Temperatura = 40 °C

— Presión = 50 KPa (aprox. 375 mm de Hg)

— Tiempo = necesario para destilar la mayor parte del disolvente.

2.ª Etapa: Eliminación de las últimas trazas de disolvente.

— Velocidad de rotación = 7,8 rad/s (aprox. 75 r.p.m.)

— Temperatura = 160 °C

— Presión = 8 KPa (aprox. 60 mm de Hg)

— Tiempo = 15 minutos

3.4. CARACTERIZACIÓN DEL BETÓN ENVEJECIDO

La evaluación de las características del betún

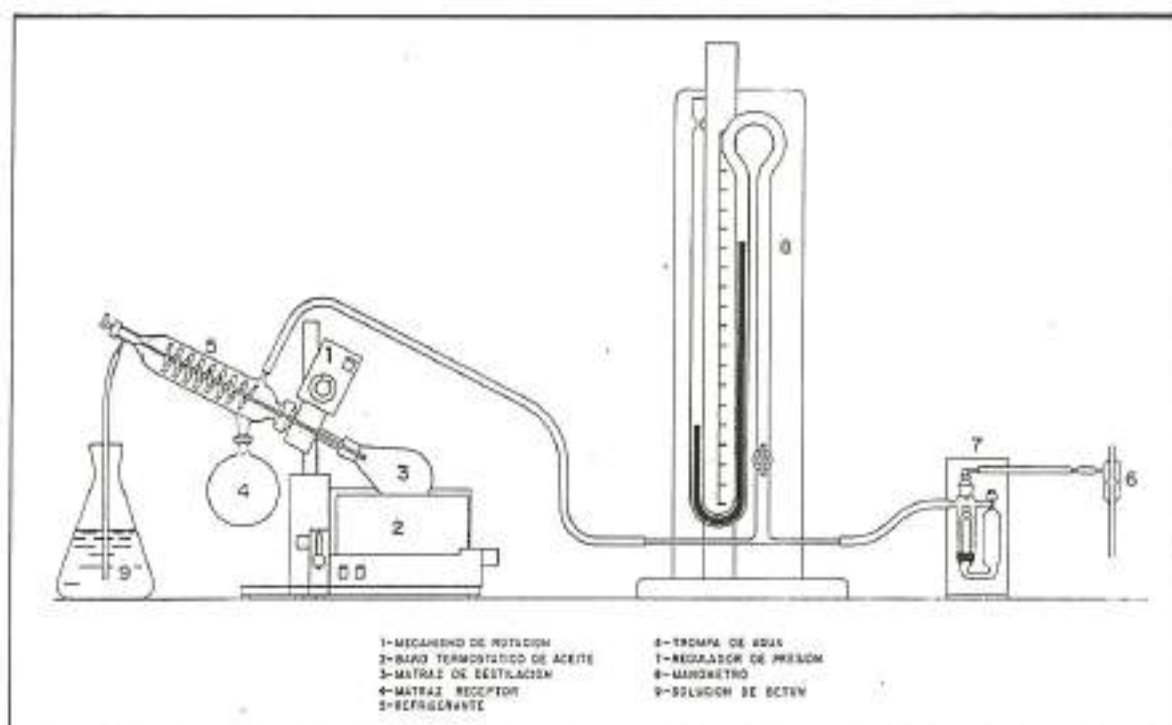


FIGURA 2. Esquema de la instalación de destilación completa.

envejecido procedente de una mezcla a reciclar, se realizará con los siguientes ensayos:

NLT-124/72. Penetración a 25 °C

NLT-125/72. Punto de reblandecimiento (A y B)

NLT-182/72. Punto de fragilidad Fraass

Estos ensayos son generalmente suficientes en un proceso de reciclado; pero cuando las características de la mezcla reciclada lo requieran o se compruebe mediante los ensayos reseñados arriba, que el ligante está muy alterado, se realizarán los ensayos necesarios (ductilidad, viscosidad a varias temperaturas, etc.), para completar la caracterización del ligante recuperado.

También se podrá evaluar, en caso necesario, la composición y estructura coloidal del betún envejecido, mediante el método de fraccionamiento de Rostler, recogido en la norma ASTM-D-2006/75, ó con otro método adecuado, con objeto de determinar las proporciones de asfaltenos, agentes peptizantes y gelificantes, lo que facilitaría la elección adecuada del rejuvenecedor.

3.5. REJUVENECIMIENTO DEL LIGANTE ENVEJECIDO.

La reconstitución del ligante, en un proceso de reciclado, tiene por objeto restablecer al betún asfáltico envejecido sus cualidades iniciales, para que pueda cumplir nuevamente la misión que tenía encomendada, lo que lleva implícito no sólo

devolverle la consistencia adecuada, sino que, además, hay que restituir el equilibrio coloidal.

Los materiales desarrollados para restaurar los ligantes envejecidos y restituir su propiedades aglomerantes y de durabilidad se denominan "rejuvenecedores".

Los agentes rejuvenecedores, por tanto, deben cumplir en el reciclado de mezclas bituminosas cuatro funciones fundamentales.

A. Reblandecer el betún envejecido hasta alcanzar el nivel de consistencia adecuado para el uso a que se destine la mezcla reciclada.

B. Restablecer el equilibrio coloidal del betún envejecido de manera que se restauren sus propiedades reológicas, aglomerantes y de durabilidad.

C. Cumplir, junto con la mezcla a reciclar y los áridos nuevos aportados, las características exigidas para la aplicación concreta a la que se destina la mezcla reciclada.

D. Proporcionar la cantidad adicional de ligante requerida para envolver correctamente los áridos nuevos, aunque en los casos en que sea insuficiente se puede adicionar betún de la penetración exigida, en la proporción necesaria para alcanzar el contenido óptimo de ligante.

En la figura 3 se pone de manifiesto, gráficamente, la función de rejuvenecimiento que debe

llevar a cabo un agente rejuvenecedor. En ella se muestra de forma esquemática la composición fraccionada de un betún en su estado original, así como la que tendría este mismo betún una vez envejecido. A continuación, se representa la composición que debe tener el rejuvenecedor para que al mezclarse con el ligante envejecido se obtenga un betún rejuvenecido, que presente una relación entre sus componentes, tal que proporcione un sistema coloidal estable, como lo tenía el betún original, lo que lleva implícito unas buenas características del betún rejuvenecido.

La proporción de agente rejuvenecedor para obtener la penetración deseada se estimará, en el caso de rejuvenecedores ligeros, mediante la utilización de gráficos semilogarítmicos en los que se representa el logaritmo de la penetración vs porcentaje de rejuvenecedor, y en el caso de rejuvenecedores pesados (betunes blandos) con este mismo gráfico o mediante la expresión:

$$\alpha = \frac{\log P - \log P_B}{\log P_r - \log P_B}$$

donde:

α = tanto por uno de rejuvenecedor en la mezcla

P = penetración a 25 °C que se desea para el ligante rejuvenecido

P_B = penetración a 25 °C del betún envejecido, y,

P_r = penetración a 25 °C del rejuvenecedor.

Se comprobará la proporción de rejuvenecedor, determinando experimentalmente la penetración de la mezcla betún-rejuvenecedor. En caso necesario se variará ligeramente dicha proporción hasta conseguir la penetración deseada.

Cuando la proporción de rejuvenecedor determinada sea insuficiente para satisfacer la demanda de ligante de la nueva mezcla reciclada, se añadirá el betún necesario de la penetración elegida, para obtener el contenido óptimo de ligante establecido en la fórmula de trabajo.

Si por el contrario, de la proporción de rejuvenecedor determinada resultase un contenido excesivo de ligante para la mezcla reciclada, habría que elegir otro rejuvenecedor de menor viscosidad, que permitiese obtener la misma penetración deseada con menor proporción de rejuvenecedor.

3.6. VALORACION DE LAS PROPIEDADES DEL LIGANTE REJUVENECIDO.

La caracterización de los betunes rejuvenecidos se realizará mediante los ensayos convencionales recogidos en la propuesta de especificaciones de los betunes asfálticos para carreteras (Norma B/84). Los betunes rejuvenecidos deben cumplir

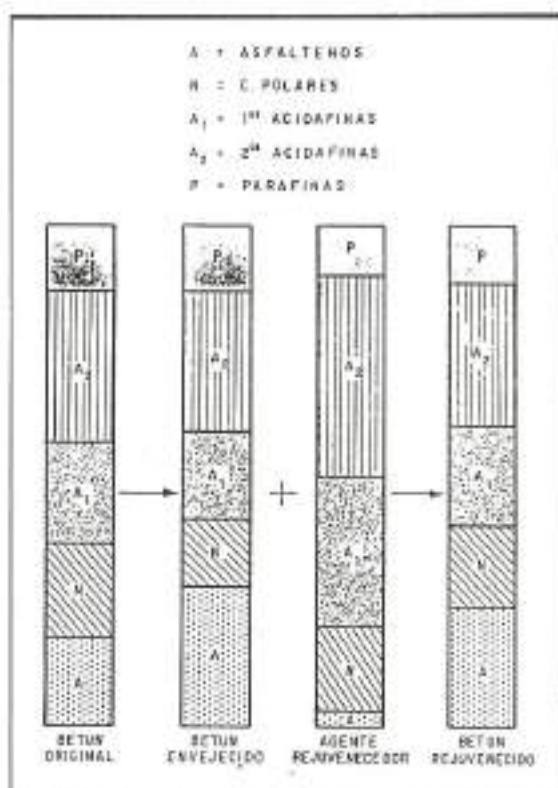


FIGURA 3. Variación de los componentes del betún asfáltico durante su envejecimiento y en el proceso de reciclado.

la totalidad de especificaciones como si se tratase de betunes originales.

Los resultados de los ensayos de caracterización de los betunes rejuvenecidos, servirán para determinar la aceptación o rechazo del agente rejuvenecedor estudiado, basándose únicamente en que el betún rejuvenecido cumpla o no las especificaciones.

En el caso de que los betunes rejuvenecidos no cumplan las especificaciones, se puede valorar su composición por fraccionamiento, aplicando el método de Rostler (ASTM D-2006/75) y de esta forma, conociendo los componentes descompensados, elegir el rejuvenecedor más idóneo para restablecer su estructura y propiedades.

3.7. PROPORCION DE MEZCLA BITUMINOSA A REICLAR

La proporción de mezcla bituminosa a reciclar debe determinarse con los datos del estudio de reciclado en el laboratorio, ya que el máximo aprovechamiento de ella, dependerá del grado de envejecimiento y de las características del ligante envejecido, así como de la granulometría de la mezcla bituminosa.

Por tanto, el rejuvenecimiento del betún envejecido (proporción de rejuvenecedor) y la recomposición de la curva granulométrica (proporción de áridos de aportación) son los que imponen unos límites bien definidos sobre la proporción de mezcla a reciclar, que hay que respetar para obtener una mezcla reciclada con buenas características.

Definida la proporción de mezcla a reciclar con estos criterios, es necesario comprobar, que la instalación disponible para el reciclado es técnicamente viable para reciclar este porcentaje de mezcla bituminosa.

3.8. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA RECICLADA.

El objeto final del reciclado es obtener una mezcla bituminosa que cumpla las características exigidas al fin propuesto, siendo por tanto necesario, además de caracterizar los materiales, evaluar la calidad de la mezcla obtenida.

Para ello, de acuerdo con las proporciones relativas de los distintos materiales que intervienen en la fabricación de una mezcla reciclada (mezcla a reciclar, áridos nuevos y rejuvenecedor), se prepararán mezclas en laboratorio para determinar sus características mecánicas y reológicas que permitan establecer la fórmula de trabajo.

El procedimiento de mezclado en el laboratorio debe simular en lo posible al sistema real a utilizar en obra. A título orientativo, para un proceso de reciclado en caliente, el método operativo sería el siguiente:

A. Calentar, separadamente, la mezcla a reciclar y los áridos nuevos, a una temperatura de unos 150-160 °C.

B. Homogeneizar la mezcla a reciclar, añadir los áridos nuevos y mezclar el conjunto durante unos 30 segundos.

C. Añadir el rejuvenecedor, y mezclar todos los materiales durante unos 2 minutos, o hasta que se consiga una buena envuelta.

Las características mecánicas para evaluar el comportamiento de la mezcla bituminosa reciclada dependerán del tipo de mezcla elegida y de la aplicación concreta a que se destine ésta. Se valorará su comportamiento como si fuese una mezcla convencional, de acuerdo con las normas técnicas recogidas en el PG-3/75, para el tipo de mezcla que se fabrique y aplicación concreta a que se destine.

BIBLIOGRAFIA

- G. BICHERON; J. GIGER, R. GROLLEMUND, M. SIRÉYS. Caractéristiques des enrobés à recycler. Leur modification par l'emploi d'additifs. Seminar on Recycling of pavement materials. Rome. March (1981).
- G. BICHERON; B. BRULE, F. MIGLIORI. Regeneration des liants pour enrobés: méthodologie d'étude en laboratoire. Exemple des quelques cas de chantiers. 3rd Eurobitume Symposium. The Hague (1985).
- W. CANESSA. Rejuvenation and recycling of asphalt pavements. Seminar on recycling of pavement materials. Rome. March (1981).
- J.L. ELMIRA y J.F. VIGUERAS. Tecnología del reciclado de mezclas bituminosas procedentes de pavimentos envejecidos. AEPCR. Información Técnica de Carreteras nº 5 (1981).
- K. MAJIDZADEH. Mixture characterization of recycled bituminous paving materials. Seminar on recycling of pavement materials. Rome. March (1981).
- L. VALERO. El reciclado como técnica de rehabilitación: problemas, equipos y técnicas. Jornadas sobre rehabilitación de firmes. AEPCR (1982).
- L. VALERO, B. RUBIO. Draft standard method of test of the recovery of hidrocarbon binders by rotavapor apparatus. Report Technical Comité 56 MHM-RILEM, May (1983).



Un aliado
muy rentable.

Motobasculantes



14 Modelos de 1000 a 3000 Kgs.
Diferentes sistemas de descarga.
Tracción a 2 y 4 ruedas.



Carretillas Elevadoras

De 1000 a 2500 Kgs.



Pala Cargadora

Modelo standard: 400 litros.
Versiones con pinzas para troncos,
retro excavadora, etc.



Auto - hormigonera

Capacidad de amasada: 750 litros.



APART. P.O.B. 194
TEL. (93) 874 73 11
TELEX 53102 AUDU E
MANRESA (Barcelona) ESPAÑA
