

# Estudio en laboratorio de la aplicación de la espuma de betún en el reciclado de mezclas bituminosas.

## Parte II: Caracterización de mezclas

I. PÉREZ BARRENO (\*); A. GÓMEZ SAIZ (\*)

**RESUMEN** En los últimos años se ha desarrollado un interés creciente en el estudio de las aplicaciones de la espuma de betún. Los trabajos y experiencias realizados en España hasta ahora han sido más bien escasos, por lo que el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX decidió abordar un estudio en laboratorio sobre la espumación de betunes asfálticos y su aplicación en el reciclado en frío de mezclas bituminosas.

En una primera fase, publicada anteriormente en esta revista, se seleccionaron y caracterizaron tres betunes asfálticos convencionales de distintas penetraciones, un betún modificado con polímero y un betún rejuvenecedor. Posteriormente se estudió la capacidad de espumación de estos cinco ligantes en un planta de espumación de laboratorio, obteniéndose las condiciones óptimas para la espumación de cada ligante. Aunque casi todos los ligantes utilizados se podían espumar de una manera más o menos aceptable, se observaron diferencias significativas entre ellos, tanto en su capacidad de espumación como en las propiedades de la espuma obtenida.

En esta segunda fase del trabajo se dosificaron, prepararon y caracterizaron en laboratorio las mezclas bituminosas obtenidas a partir de las distintas espumas de betún con material fresado procedente de capas bituminosas envejecidas. A pesar del distinto comportamiento de las espumas de betún, no se encontraron diferencias significativas en las mezclas bituminosas recicladas en el laboratorio, obteniéndose resistencias conservadas inferiores a las conseguidas habitualmente en los reciclados con emulsión bituminosa. Por otro lado se observó que la aportación de pequeños porcentajes de cemento mejora notablemente la resistencia conservada de estas mezclas.

### LABORATORY INVESTIGATION OF THE USE OF FOAMED BITUMEN FOR BITUMINOUS PAVEMENT RECYCLING

**ABSTRACT** *In recent years a growing interest in the study of foamed bitumen has been developed. To date, the works and experiences performed in Spain have been rare. Therefore, the "Centro de Estudio de Carreteras" of the CEDEX decided to carry out a laboratory study about bitumen foaming and cold recycling of bitumen mixes.*

*In a first phase, former published, three different conventional bitumens, a polymer modified bitumen and a rejuvenating bitumen were characterised. Then, the foam capacity of these five bitumens were measured in a laboratory foaming plant, obtaining the best conditions to each binder. Although most of bitumen could be foamed in an acceptable way, remarkable differences were observed in their foaming capacity and in the foam properties.*

*In this second phase, bitumen mixes obtained from the different binder foams with a milling material from old deteriorated bitumen mixes, were prepared and characterised in the laboratory. No significative differences between the different mixes were observed, and lower moisture resistences than the ones ususally obtained with the use of bitumen emulsions were obtained. On the other hand, it was observed that small percentages of cement remarkably improved the moisture resistance of these mixes.*

**Palabras clave:** Espuma de betún; Ligantes bituminosos; Mezclas bituminosas; Reciclado en frío.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los materiales que resultan adecuados para ser tratados con espuma de betún se extienden desde estabilización de arenas naturales y suelos de baja plasticidad, hasta tratamientos o reciclados de capas granulares y reciclados de mezclas bituminosas.

Para obtener una distribución adecuada de la espuma de betún, es recomendable que la granulometría y la plasticidad del material a tratar estén dentro de unos límites. En la Figura 1 se representa el huso granulométrico adecuado (zona A) para obtener buenos resultados con la espuma de betún. Cuando se dispone de materiales con granulometrías dentro de la zona C es necesaria la aportación de finos, mientras que los materiales con exceso de finos (zona B) requieren la mezcla previa con un árido grueso para obtener un tratamiento efectivo con la espuma, excepto para carreteras de poco tráfico.

(\*) Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX

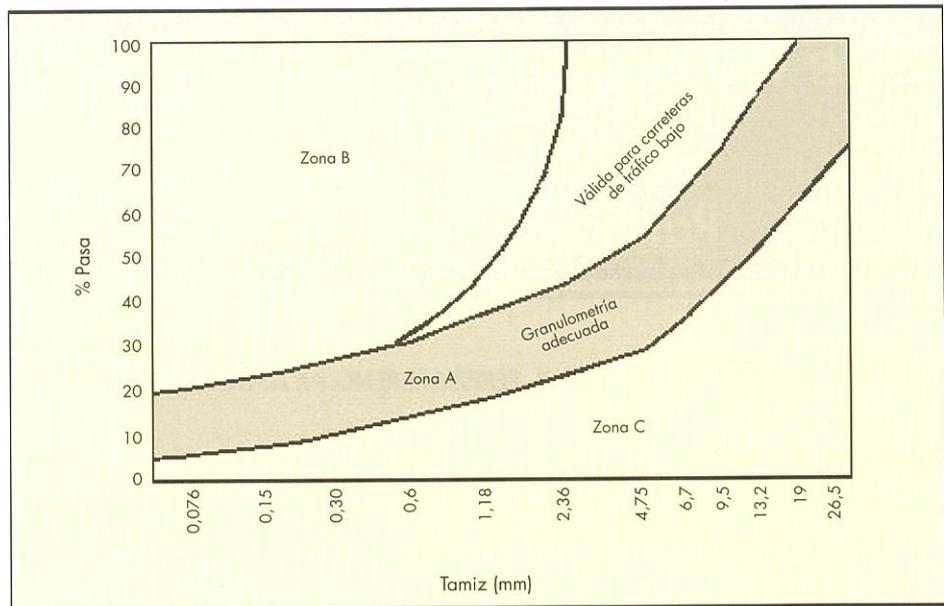


FIGURA 1. Huso recomendado para tratamientos con espuma de betún.

Por otro lado, es importante que el contenido de polvo mineral se sitúe entre el 5% y el 20%, mientras que el índice de plasticidad no debe ser superior a 12. Para reducir la plasticidad de ciertos materiales ( $IP > 8$ ) se suele añadir un 1-2 % de cemento o cal. En ciertos casos, se emplea además un agente promotor de adhesividad (bien sobre el betún o mezclado con el agua de preenvuelta).

En las mezclas con espuma de betún, no es posible definir un contenido óptimo de ligante de manera tan clara como en las mezclas bituminosas en caliente. Depende en gran medida del contenido de finos y de su superficie específica. En estabilización de capas granulares, los intervalos recomendados van desde un 3% de betún para contenidos del 5% de polvo mineral, hasta el 5% de betún para un 20% de finos. En cualquier caso, el límite superior estará definido por la estabilidad de la mezcla y el límite inferior por la resistencia a la acción del agua.

Las mezclas con espuma de betún requieren que el material a tratar tenga un cierto grado de humedad para disgregar el material y alcanzar una buena dispersión del ligante durante el proceso de mezclado, facilitando la compactación de la mezcla. Se han sugerido valores entre el 60 y el 80% de la humedad óptima que resulta del ensayo Próctor Modificado. Las propiedades finales de las mezclas con espuma de betún dependen en gran medida del grado de compactación conseguido. En relación con las condiciones climáticas que resultan apropiadas para el empleo de la espuma de betún, se recomienda que la temperatura ambiente y de los materiales a tratar no sea inferior a 10 °C.

De manera similar a lo que sucede con las mezclas en frío elaboradas con emulsiones bituminosas, las mezclas con espuma de betún desarrollan su resistencia con el tiempo, aunque requieren de un periodo relativamente menor para alcanzar su resistencia final. Igualmente, parece existir consenso en que la susceptibilidad al agua de estos tratamientos debe ser analizada especialmente, debido a que la durabilidad de estas mezclas se ve afectada de forma notable cuando se someten a los efectos del agua.

Una diferencia clara entre las mezclas elaboradas utilizando espuma de betún y el ligante mezclado en caliente, o las mezclas en donde se utiliza betún emulsionado, es la

manera en que el betún se dispersa sobre el árido. En los últimos casos, el betún tiende a cubrir uniformemente todas las partículas, mientras que en las mezclas de espuma de betún las partículas grandes no quedan totalmente recubiertas. La espuma de betún presenta más afinidad y se dispersa mejor entre las partículas más finas, formando un mortero que unifica toda la mezcla de una manera más o menos eficaz.

Este revestimiento parcial justifica el escaso cambio de color que sufren los materiales tratados con espuma de betún. Materiales similares mezclados con betún caliente o con emulsión bituminosa tienden a ser negros o de color oscuro. Si se utiliza un árido de color claro, el producto tratado con espuma tenderá a mantener dicho color, aunque con un aspecto moteado.

Esta dispersión no uniforme del ligante en las mezclas tratadas con espuma de betún da lugar a que se preserve la resistencia al corte generada por el contacto directo entre las partículas gruesas siendo, en general, mezclas más rígidas y menos susceptibles a la temperatura de lo que cabría esperar. Por contra, estas mezclas tienen poca resistencia a los esfuerzos tangenciales y a la abrasión, lo que origina desprendimiento de gravillas, no siendo recomendables para capas de rodadura. Sin embargo, el hecho de concentrarse el ligante en la fracción fina da lugar a un mortero más resistente que en otros tratamientos en frío.

En los tratamientos *in situ*, la espuma de betún se produce normalmente en una barra de riego que dispone de varias boquillas que proyectan la espuma en la cámara de mezclado de la máquina recicladora (Figura 2). Para evitar obstrucciones, todo el circuito está calentado eléctricamente. Aunque menos frecuente por razones obviamente económicas, el tratamiento con espuma de betún se puede realizar en una planta fija de mezcla asfáltica, como la desarrollada en Noruega (Figura 3).

La aplicación principal de los materiales tratados con espuma de betún es para la construcción de capas de base o de subbase (producidas por estabilización de suelos y gravas localmente disponibles o a partir de reciclado de capas envejecidas), aunque en Estados Unidos se ha empleado abundantemente para capas de rodadura. En Europa, la espuma

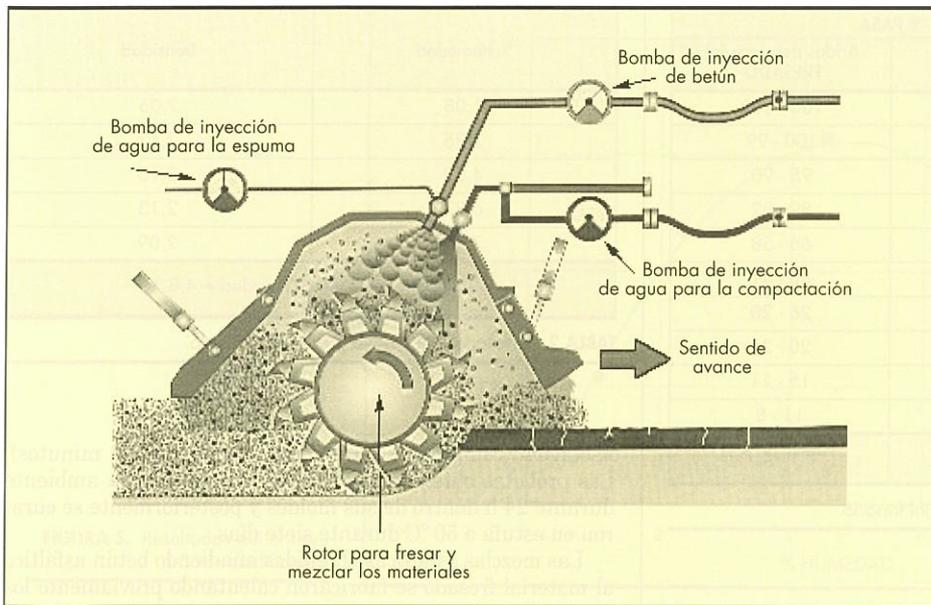


FIGURA 2. Esquema de una recicladora con espuma de betón.

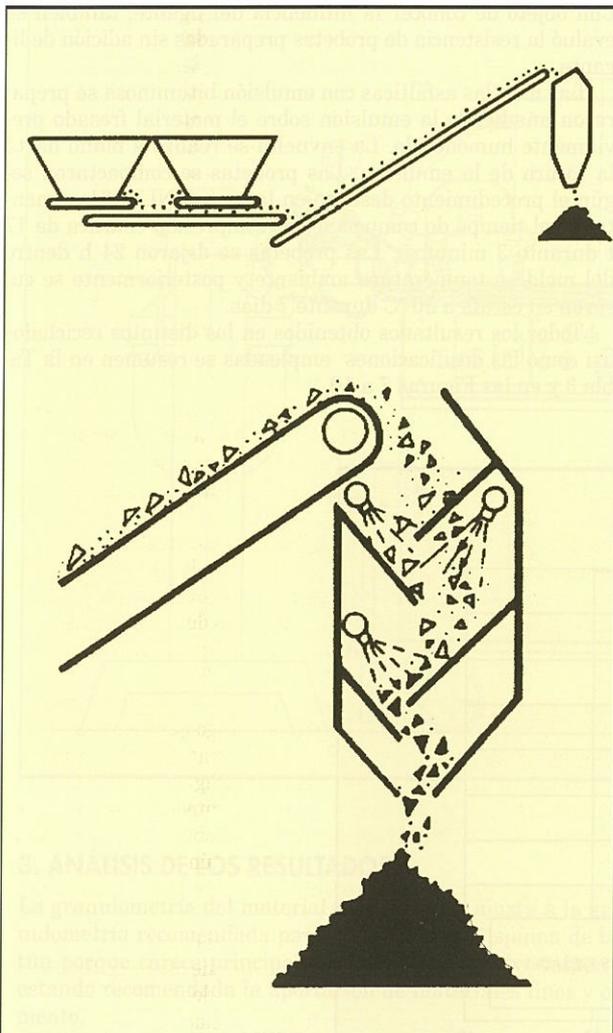


FIGURA 3. Esquema de una planta fija para espuma de betón.

de betón se utiliza frecuentemente en Francia para elaborar gravas-espuma y riegos superficiales con gravilla en donde el ligante es un betón modificado.

La incorporación de contenidos relativamente bajos de espuma de betón a una gran variedad de suelos y gravas da lugar a mezclas de fácil manejo, que se pueden compactar inmediatamente y que poseen propiedades notablemente mejoradas con respecto al material no tratado. En los reciclados en frío, los estudios disponibles coinciden en afirmar que el comportamiento en servicio de las capas recicladas con espuma de betón es equivalente al que se obtiene cuando se usa una emulsión asfáltica como agente estabilizador. Con respecto a los tratamientos superficiales, la espuma de betón facilita el mojado de los áridos con ligantes viscosos y recubre las caras laterales de las gravillas, lo que suministra una cohesión horizontal adicional que permite resistir mejor los esfuerzos tangenciales.

La ventaja principal del empleo de la espuma de betón frente a otros ligantes hidrocarbonados es indudablemente económica; frente a los ligantes hidráulicos permite obtener mezclas más flexibles que evitan el problema de la fisuración.

## 2. TRABAJO EXPERIMENTAL

El material fresado utilizado en este trabajo procedía de distintos trabajos de fresado y fue homogeneizado en planta mediante un machacador secundario y una criba. Antes de su empleo en laboratorio, este material fue secado en estufa y tamizado por 20 mm. El material resultante (Tabla 1 y Figura 4) tenía un contenido medio de betón de 4,2% (s/a), más del 70% del material entre los tamices de 5 y 0,63 mm y un contenido bajo de la fracción más fina (sólo un 5% de material pasa por el tamiz de 0,32 mm). La humedad necesaria para obtener la máxima compactación del material fresado se determinó mediante el ensayo Próctor Modificado (NLT-108) obteniéndose un valor de 4,8 % (Tabla 2 y Figura 5).

El trabajo con espuma de betón desarrollado en este trabajo se ha realizado con un equipo WIRTGEN modelo WLB 10, fijando la presión del aire en 4,5 bares y la del agua en

	EN CALIENTE			EN EMULSIÓN				CON ESPUMA							
	SIN ligante	B 200/300	BM-4'	SIN ligante	ECL-2	ECL-2m (d)	B 200/300	B 150/200	B 80/100	B-Rejuvenecedor	BM-4'				
<b>FORMULACIÓN</b>															
% betún	0	1,25	2	1,25				2,25	2,75	2,25					
% emulsión					0	2,1	3,1	2,1							
% cemento											1				
% agua preenv.					4,1	4,1	3,7	4,1	3,9						
T (°C)	170			180	25				170				180		
% agua inyect.									2	2	2,5	2,5	2,5		
Expansión									10	11	15	9	6		
t <sub>1/2</sub>									12	15	15	13	8		
<b>Ensayo de INMERSIÓN-COMPRESIÓN (4 días a 49 °C) (NLT-162)</b>															
Densidad	2,32	2,35	2,36	2,36	2,16	2,25	2,30	2,22	2,26	2,26	2,31	2,28	2,24	2,25	2,23
R seco (kgf)	9665	7490	8190	10356	1000	4180	4170	5225	4100	3670	4100	4240	2760	2950	4010
R húmedo (kgf)	4250	4550	6087	7946	666	2380	2700	2600	1680	1680	1750	1680	1170	2430	1545
R seco (Mpa)	12,2	9,4	10,3	13,0	12,3	5,3	5,2	6,6	5,2	4,6	5,2	5,3	3,5	3,7	5,0
R húm. (Mpa)	5,3	5,7	7,7	10,0	8,2	3,0	3,4	3,3	2,1	2,1	2,2	2,1	1,5	3,1	1,9
IRC	44%	61%	75%	77%	67%	57%	65%	50%	41%	46%	43%	40%	42%	82%	39%

TABLA 3. Resumen de la formulación utilizada y los resultados obtenidos

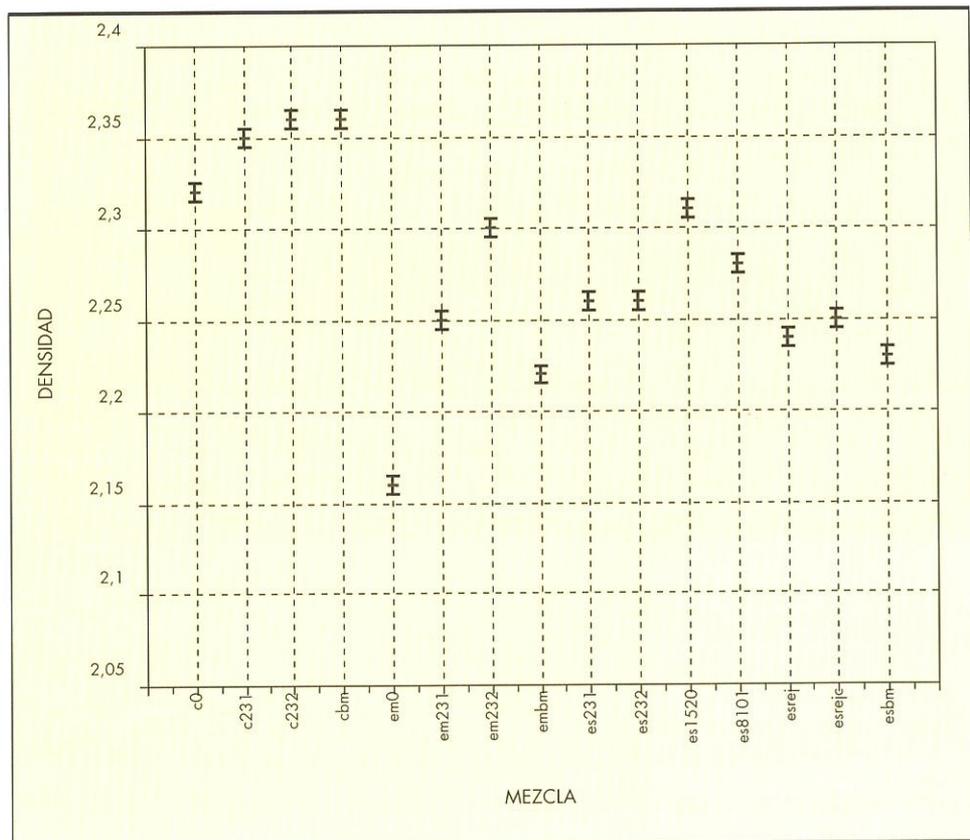


FIGURA 7. Densidades de las mezclas estudiadas.

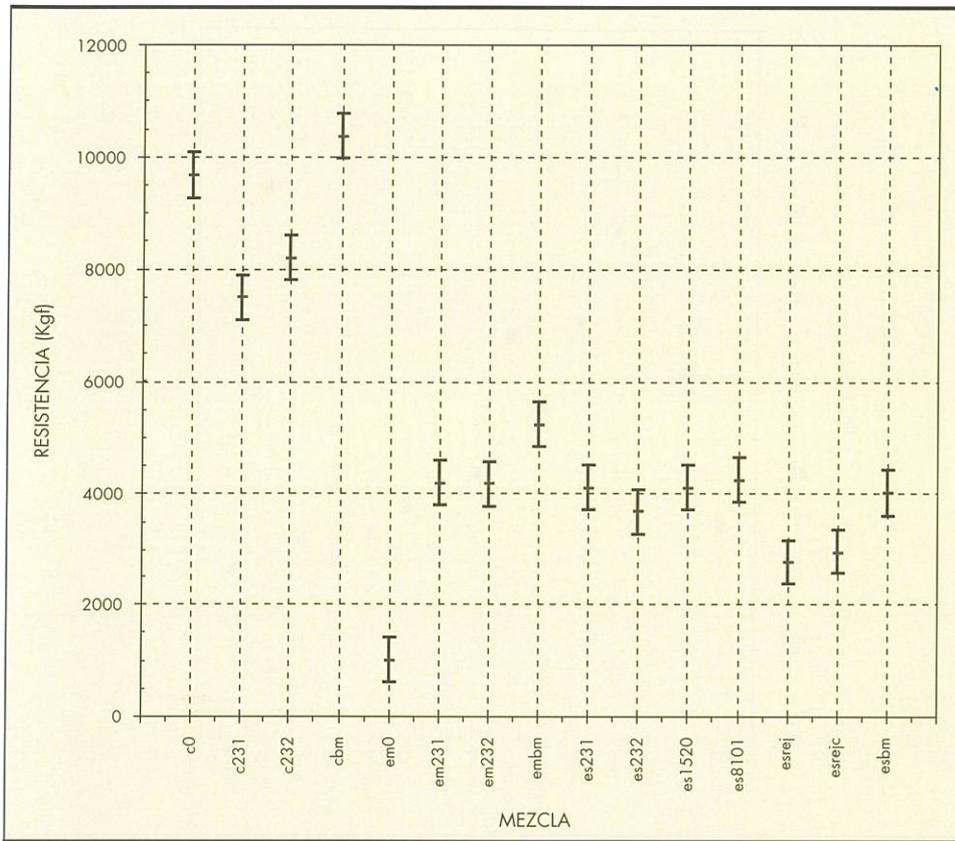


FIGURA 8. Resistencias en seco de las mezclas estudiadas.

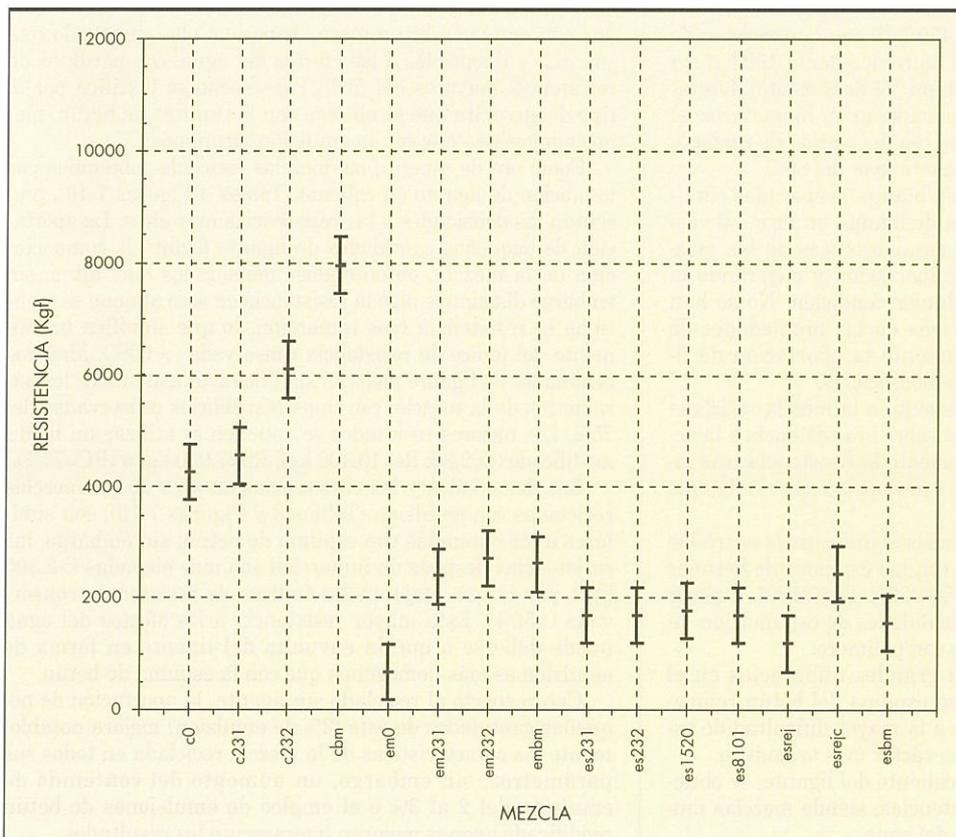


FIGURA 9. Resistencias en húmedo de las mezclas estudiadas.

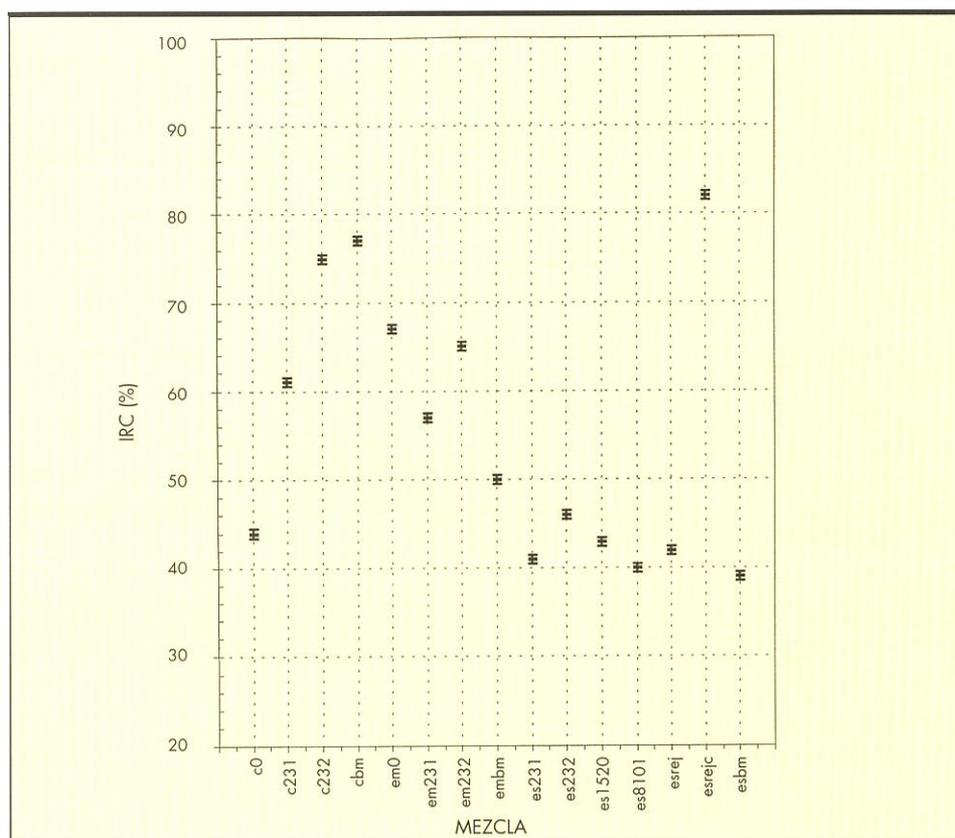


FIGURA 10. Índices de resistencias conservadas de las mezclas.

a partir del betún rejuvenecedor (< 3.000 kgf). Destacan por sus bajos valores, las resistencias obtenidas tras inmersión situándose entre 1.500 y 1.800 ( $\pm$  450 kgf) con la excepción de nuevo de las mezclas con el betún rejuvenecedor (1.100 kgf sin adición de cemento y 2.400 kgf con un 1% de cemento). Los índices de resistencia conservada no superan en ningún caso el 50%, con la excepción del reciclado con aportación de cemento en donde la resistencia conservada es mayor del 80%.

Con respecto a las muestras en blanco (preparadas sin ligante), se observa que la adición de ligante en forma de espuma mejora notablemente las características de las mezclas recicladas, facilitando la compactación y mejorando la resistencia de la mezcla en cualquier condición. No se han observado diferencias significativas en las propiedades de las mezclas al aumentar ligeramente la aportación de ligante o con el empleo de ligantes modificados.

La aportación de un 1% de cemento a la mezcla reciclada tiene una influencia muy acusada sobre la resistencia a la acción del agua, mejorando notablemente la resistencia tras inmersión y, por tanto, el índice de resistencia conservada, que pasa de un 42 a un 82%.

No se han encontrado diferencias significativas entre las mezclas bituminosas fabricadas con las espumas de betunes convencionales (B 200/300, B 150/200 y B 80/100), a pesar de sus distintas propiedades y facilidades de espumación, ni tampoco con el betún modificado con polímero.

Sin embargo sí se observan grandes diferencias en el comportamiento de la mezcla con espuma del betún rejuvenecedor, debidas probablemente a la mayor dificultad de espumación de este ligante y a su carácter más aromático.

Con respecto a la adición en caliente del ligante, se obtienen menores densidades y resistencias, siendo mezclas mucho más susceptibles a la acción del agua.

Por otro lado, las densidades y las resistencias en seco de las mezclas con espuma de betún son similares a las obtenidas con emulsión bituminosa, aunque se ha observado que son más susceptibles a los efectos del agua, con pérdidas de resistencia mayores del 50%. Este hecho se justifica por el tipo de envuelta que se obtiene con la espuma de betún, menos homogénea que con la emulsión bituminosa.

Como era de esperar, las mezclas recicladas obtenidas por la adición de ligante en caliente (Tablas 3 Figuras 7-10), presentan las densidades y las resistencias más altas. La aportación de pequeñas cantidades de ligante facilita la compactación de la mezcla, obteniéndose densidades más altas, sin embargo disminuye algo la resistencia en seco aunque se mantiene la resistencia tras inmersión, lo que significa un aumento del índice de resistencia conservada (> 60%). Mayores contenidos de ligante mejoran significativamente todos los parámetros de la mezcla, con unas resistencias conservadas del 75%. Los mejores resultados se obtienen al utilizar un betún modificado ( $d=2,36$ ;  $R_s=10.400$  kgf,  $R_h=7.900$  kgf e  $IRC=77\%$ ).

Las densidades y las resistencias en seco de las mezclas recicladas con emulsión (Tablas 3 y Figuras 7-10), son similares a las obtenidas con espuma de betún; sin embargo, las resistencias después de inmersión son más elevadas (>2.300 kgf), por lo que mejoran los índices de resistencia conservada (>50%). Esta mayor resistencia a los efectos del agua puede deberse a que la envuelta del ligante en forma de emulsión es más homogénea que con la espuma de betún.

Con respecto al reciclado sin ligante, la aportación de pequeñas cantidades de éste (2% de emulsión) mejora notablemente las características de la mezcla reciclada en todos sus parámetros; sin embargo, un aumento del contenido de emulsión del 2 al 3% o el empleo de emulsiones de betún modificado apenas mejoran ligeramente los resultados.

#### 4. CONCLUSIONES

Como resultado de los ensayos realizados y su posterior análisis se deducen las siguientes conclusiones:

- 1.- Las mezclas recicladas obtenidas con espuma de betún tienen densidades y resistencias en seco similares a las obtenidas con emulsión bituminosa. Sin embargo, la envuelta es menos homogénea y son menos resistentes a los efectos del agua.
- 2.- No se han apreciado diferencias significativas al utilizar un ligante modificado o con ligeros aumentos del contenido de betún.
- 3.- La resistencia conservada mejora notablemente con la adición de un 1% de cemento.
- 4.- No se han apreciado tampoco diferencias significativas con el empleo de ligantes modificados en las mezclas recicladas obtenidas con emulsión bituminosa de referencia, ni tampoco al elevar el contenido de ligante añadido.
- 5.- Las mezclas recicladas en caliente utilizadas también como referencia, presentan las mayores densidades, resistencias e índices de resistencia conservada, como era de esperar, observándose una mejora importante con el empleo de ligante modificado o de mayores contenidos de

betún. Otra ventaja respecto a las mezclas recicladas en frío es que no necesitan un curado posterior, aunque sí un gasto energético mayor y una tecnología más compleja si se quiere hacer *in situ* en lugar de en planta.

#### 5. BIBLIOGRAFÍA

1. MUTHEN, K. M. "Foamed Asphalt Mixes. Mix Design Procedure". Contract Report CR-98/Draft. SABITA Ltd & CSIR Transportek. Pretoria, 1998. Y referencias citadas allí.
2. CAMPAGNOLI M., S. X. "Principios básicos de la tecnología de los cementos asfálticos espumados". IV Congreso Nacional de Firmes. Segovia, junio 1998.
3. SANTAMARIA GUZMAN, M. P. "Estabilización de suelos y materiales granulares con ligantes bituminosos para vías de baja intensidad de tráfico". IV Congreso Nacional de Firmes. Segovia, junio 1998.
4. PÉREZ BARRENO, I., GÓMEZ SAIZ, A. "Estudio en laboratorio de la aplicación de la espuma de betún en el reciclado de mezclas bituminosas. Parte I: caracterización de ligantes". Ingeniería Civil, 117, 2000.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo no podría haberse realizado sin la colaboración de las empresas Asfaltécnica, Nynas, Proas, Repsol y Rubau a quienes se agradece la aportación de materiales y equipos.



**AEP O**  
S. A. INGENIEROS CONSULTORES

#### ÁREAS DE LA EMPRESA:

- ✎ **ÁREA DE COMERCIAL**
- ✎ **ÁREA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS**
  - Departamento de Carreteras
  - Departamento de Transportes
  - Departamento de Hidráulica
  - Departamento de Estructuras
  - Departamento de Arquitectura y Urbanismo
  - Departamento de Medio Ambiente
  - Departamento de Energía e Instalaciones
- ✎ **ÁREA DE CONTROL Y VIGILANCIA**
  - Departamento de Asistencia Técnica en obra
  - Departamento de Obra
- ✎ **ÁREA DE GEOTECNIA Y LABORATORIO**
  - Departamento de Geotecnia
  - Laboratorio
- ✎ **ÁREA DE GESTIÓN Y AUSCULTACIÓN DE FIRMES**
  - Departamento de Auscultación
  - Departamento de Estudios Especiales
- ✎ **ÁREA DE CALIDAD Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL**

#### ÁREA DE ESTUDIOS Y PROYECTOS Y ÁREA DE CONTROL Y VIGILANCIA



**CONTROL Y VIGILANCIA DE LAS OBRAS DEL AVE MADRID-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA. TRAMO: ZARAGOZA-LLEIDA. SUBTRAMOS VI Y VII.**

**REDACCION DEL PROYECTO Y CONTROL DE LAS OBRAS DEL AVE MADRID-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA. TRAMO: MADRID-ZARAGOZA. SUB-TRAMO I.**

**REDACCION DEL PROYECTO Y CONTROL DE LAS OBRAS DE PLATAFORMA DE LOS ACCESOS A LLEIDA DEL AVE MADRID-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA.**

**REDACCION DEL PROYECTO Y CONTROL DE LAS OBRAS DE PLATAFORMA DEL AVE MADRID-ZARAGOZA-BARCELONA-FRONTERA FRANCESA. TRAMO: LLEIDA-MARTORELL. SUBTRAMO V.**



#### OFICINA CENTRAL:

c/ Bascones, 22 • 28029 Madrid  
Telf.: 913 78 96 60 • Fax: 913 23 26 44  
E-mail: info@aepo.es • http://www.aepo.es