

Mezclas de alto módulo

Por AURELIO RUIZ RUBIO
Ingeniero de Caminos,
Canales y Puertos



Tramo de ensayo de Zamora.

1. Introducción

LAS mezclas bituminosas de alto módulo (MAM) para capas de base ofrecen la posibilidad de reducir el espesor de las capas bituminosas y, por tanto, de abaratar los costes de los firmes. Dado el interés suscitado por este material, se organizó, en abril de este año, una Jornada sobre mezclas de alto módulo, copatrocinada por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas y el Centro de Investigación Elpidio Sánchez Marcos, y presidida por D. Bartolomé Sánchez, en representación de la Dirección General de Carreteras del MOPTMA, con el siguiente programa:

1. Panorámica general de las capas de base, por E. Balaguer.
2. Bases de alto módulo, por A. Bardsi.
3. Ligantes para bases de alto módulo, por J. Sánchez y A. Páez.
4. Caracterización de las mezclas de alto módulo, por A. Ruiz.
5. Experiencia española, por D. Morillo.
6. La experiencia francesa en mezclas de alto módulo, por J. Bonnot.

Se trata aquí de resumir el contenido de la jornada, complementando los datos aportados en ella con otros disponibles en la bibliografía, para exponer de forma general el estado de la técnica de este material.

2. Las mezclas de alto módulo

2.1. Historia

El concepto de mezclas de gran capacidad de soporte se introdujo en la técnica de carreteras en el decenio del 70, desarrollándose a partir de mezclas con ligantes especiales: ligantes modificados con EVA o SBS, alquitrán-PVC, asfalto de Trinidad, o Gilsonita. El objetivo fundamental en esta época era la lucha contra la formación de roderas. La elevación del coste debida a los ligantes especiales coincidió con la crisis de precios del petróleo que comenzó en el año 73, lo que llevó a un precio no competitivo de estos materiales, y a su empleo esporádico.

“**E**l resultado final es que, para una misma vida a fatiga, el espesor necesario de MAM es inferior al de las mezclas usuales.”

En 1980, en Francia, se dio un giro a la idea, enfocándola hacia el uso de betunes puros. La consiguiente reducción de precios del producto, y los éxitos de las primeras aplicaciones, extendieron la técnica, que empezó a emplearse con una cierta generalidad en 1985. Hasta marzo de 1994 se han colocado en Francia unos 5 millones de toneladas de mezclas de alto módulo, lo que supone aproximadamente un 3,3% de la producción de mezclas para bases bituminosas en el período 85-94.

Su empleo ha sido normalizado en Francia en la NFP 98 140 de octubre de 1992, en la que, por primera vez, aparecen las mezclas bituminosas especificadas exclusivamente por sus propiedades fundamentales (módulo dinámico, resistencia a la fatiga, resistencia a la acción del agua, resistencia a las deformaciones plásticas), eliminando los ensayos empíricos y limitando al máximo las prescripciones sobre las características de los componentes (no se define el tipo de ligante o la granulometría del árido, por ejemplo).

Las MAM de tipo 2 son las que se desarrollaron en primer lugar, y se definen con un contenido de ligante superior o igual al 5,7% (en general, entre el 5,5% y el 5,8%). El empleo de un betún duro, junto con un fuerte esqueleto mineral del árido, confiere a la mezcla una gran capacidad de absorción de cargas, reduciendo las deformaciones en el fondo de la capa respecto de una mezcla convencional; un alto contenido de ligante mejora el comportamiento a fatiga de la mezcla, igualándolo al de una mezcla tradicional. El resultado final es que, para una misma vida a



Testigo extraído del firme (mezcla drenante + mezcla alto módulo + firme antiguo).

fatiga, el espesor necesario de MAM es inferior al de las mezclas usuales.

Las MAM de tipo 1, surgidas a partir de 1988, se definen con la idea de que no siempre es necesaria una gran resistencia a la fatiga. Tienen también un fuerte esqueleto mineral, pero se dosifican con menores cantidades de ligante, en general inferior al 5%, y típicamente entre el 4,6% y el 4,8. Su precio es menor que las del tipo 2, pero no permiten, en general, reducciones de espesor frente a las mezclas convencionales, limitándose su empleo a las aplicaciones que exijan una gran resistencia a las roderas; necesitan un soporte muy estable.

Las MAM tipo 1 y 2 deben ir en capas relativamente gruesas (espesor superior a 7 cm) para evitar problemas de rotura frágil o de enfriamiento rápido durante la puesta en obra. Necesitan de una capa de rodadura, especialmente las de tipo 2, que, por su alto contenido de betún, presentan una superficie totalmente lisa, sin textura. La rodadura reduce también el potencial de fracturas del material por retracción térmica. En general, se va a rodaduras delgadas (4 cm de espesor, y principalmente mezclas drenantes) o muy delgadas (2,5 cm de espesor, mezclas discontinuas), ya que la impermeabilidad del firme viene asegurada por la capa de base.

En los últimos años ha aparecido también en Francia una tercera familia de MAM, aún no normalizada. Se trata de mezclas para capas de rodaduras o intermedias, que pueden ponerse en obra en capas de espesor reducido (6 cm o menos). La formulación se modifica para mejorar la macrotextura y reducir los riesgos de fisuración por rotura frágil, a flexión o térmica. Estas mezclas suelen incorporar entre sus constituyentes fibras o ligantes modificados, o ambas cosas.

En España, las MAM empezaron a utilizarse en el año 1992. Después de varios tramos de escasa longitud, se construyó un tramo experimental de unos 7 km en la provincia de Zamora, dentro de la Red de Carreteras del Estado. A finales de 1993 se habían puesto unas 60 000 t de mezclas de alto módulo en capas de base.

TABLA 1.
HUSO SEMI-GRENU 0/14

Tamiz mm	% Cernido
14	94-100
10	72-84
6,3	50-66
4	40-54
2	28-40
0,08	7-10

2.2. Los materiales

Se utilizan granulometrías cerradas, que lleven a porcentajes de huecos en mezcla comprendidos entre el 3% y el 6% (preferentemente entre el 3% y el 4%) para las MAM tipo 2, y entre el 3% y el 10% para las tipo 1. En Francia se suele emplear el huso denominado *semi-grenu* (Tabla 1), muy similar a nuestras mezclas tipo semidenso, pero con un mayor contenido de polvo mineral (entre el 7% y el 10%). El tamaño máximo de la mezcla, en función del espesor de la capa, se presenta en la Tabla 2.

Se exigen, en general, áridos limpios ($EA \geq 60$), duros ($LA \leq 25-40$, según la aplicación) y procedentes de machaqueo (% partículas machacadas entre 30% y 100%, según la aplicación). Pueden incorporarse, a veces, pequeños porcentajes de arenas naturales para facilitar la densificación del material y disminuir el contenido de ligante. En general, los áridos calizos llevan a mezclas con módulos superiores a las que utilizan áridos silíceos.

Se emplean betunes duros de destilación directa, de penetración 10/25. En Francia se recomiendan puntos de reblandecimiento superiores a 67°C, y en España han venido utilizándose penetraciones 10/20 y temperaturas de anillo y bola entre 57°C y 75°C. En cualquier caso, debe seleccionarse la combinación de crudos que lleve a unas características adecuadas de los betunes. Suele ser necesario modificar las condiciones del refinado, por lo que la fabricación de este tipo de betunes no está al alcance de todas las refinerías.

Una alternativa a los betunes de destilación es la del soplado ligero de una mezcla de asfalto de desasfaltado y extractos aromáticos, para conseguir un producto muy duro, sin la fragilidad de los oxiasfaltos. La mezcla directa de betunes soplados y de destilación no es recomendable, por la heterogeneidad que suele presentar el producto resultante.

Por último, se han utilizado también betunes 30/40 modificados con polímeros. El objetivo de estos productos es aprovechar las

TABLA 2. ESPESOR DE PUESTA EN OBRA

MAM	Espesor mínimo en cualquier punto	Espesor medio cm
0/10	5	6 a 10
0/14	6	7 a 12
0/20	8	10 a 15

mejores características de los betunes de origen a bajas temperaturas, y dotar al producto de una mayor flexibilidad.

En España existe ya una propuesta de especificaciones para ligantes modificados para mezclas MAM de alto módulo (Tabla 3); estando aún pendiente la normalización de los betunes puros para esta aplicación.

2.3. Características en el laboratorio

En el ensayo Marshall se obtienen estabilidades entre 200 y 250 kN, y deformaciones entre 2 y 4 mm. Con este ensayo se pueden establecer los contenidos óptimos de ligante, y desechar mezclas con mal comportamiento; sin embargo, no es suficiente para decidir la calidad del material como mezcla de alto módulo.

Las resistencias a compresión a 25°C suelen estar comprendidas

entre 6 y 9 MPa, en general, muy superiores a las obtenidas con betunes B 60/70 (2 a 4 MPa), y similares a las de algunos materiales tratados con cemento.

Aunque la resistencia a la acción del agua suele ser buena, por tener un elevado contenido de betún, no se evitan los problemas con algunos áridos, y deben realizarse en laboratorio ensayos de inmersión-compresión para comprobar esta característica.

En los estudios realizados sobre deformaciones plásticas, en pista de ensayo de laboratorio, se han obtenido excelentes resultados, con velocidades de deformación y deformaciones totales muy reducidas.

Por otro lado, las mezclas de alto módulo deben poderse compactar igual o mejor que las tradicionales, aunque les puede afectar más las bajas temperaturas, y deben tener menos tendencia a la segregación de los áridos. Puede haber, sin embargo, problemas de

TABLA 3. BETÚN MODIFICADO TIPO BM-1

TIPO: BM-1	Min.	Max.
Penetración	15	30
Temperatura A y B, °C	70	
Fraass, °C		-4
Flotador (60°C)	3000	
Estab. Almacenamiento		
Dif. Temperatura A y B		5
Dif. Penetración		5
Recuperación elástica, %	5	
P.I., °C	235	
Densidad relativa	1,0	
Residuo después de película fina:		
- Variación de masa, %		0,8
- Penetración conservada, %	70	
- Variación temperatura A y B	-4	+8

“En las 13 mezclas ensayadas hasta ahora, el resultado medio del módulo a 15°C es similar al mínimo exigido en las especificaciones francesas, con un intervalo de variación entre 11 000 MPa y 17 000 MPa.”

escurrimiento de betún, para altos contenidos de ligante, que habrá que comprobar.

En la *Tabla 4* se presentan las prescripciones francesas relativas a las mezclas de alto módulo. Estos ensayos se realizan sobre mezclas de nuevo diseño; si se trata de una mezcla ya utilizada o con ligeros cambios, se permite el empleo de ensayos tradicionales (compactación en prensa giratoria, Duriez, pista de ensayo).

En los ensayos dinámicos realizados en el Centro de Estudios de Carreteras del CEDEX con distintos ligantes de fabricación nacional, se han obtenido los resultados que se exponen en las *Tablas 5 y 6*, donde se comparan con valores típicos de las mezclas tipo. En las 13 mezclas ensayadas hasta ahora, el resultado medio del módulo a 15°C es similar al mínimo exigido en las especificaciones francesas, con un intervalo de variación entre 11 000 MPa y 17 000 MPa. A 20°C, que es la temperatura media que suele considerarse para el dimensionamiento de firmes en España, el valor medio es de 12 500 MPa, con un intervalo de 9 000-16 000 MPa. Estos valores a 20°C son del orden del doble de los de las mezclas densas y semidensas, y del triple de los de las gruesas.

Las leyes de fatiga determinan la relación entre una sollicitación (tensión o deformación) y el número de repeticiones de la misma que produce el fallo en el material. Esta relación suele ser una recta en escala doblemente logarítmica, y se representa en la forma:

TABLA 4. ESPECIFICACIONES FRANCESAS		
Ensayo	MAM tipo 1	MAM tipo 2
Duriez (NF P 98-251-1) Índice de Resistencia Conservada	≥ 0,70	≥ 0,75
Pista de laboratorio (NF P 88-253-1) Profundidad de rodada a 60°C y 30 000 ciclos, en % sobre el espesor de la probeta (10 cm)	≤ 8%	≤ 8%
Módulo dinámico (NF P 98-260-2) Módulo en MPa a 15°C y 10 Hz	≥ 14 000	≥ 14 000
Fatiga (NF P 98-261-1) Deformación relativa ϵ_6 , a 10°C y 25 Hz	≥ 100 x 10 ⁻⁶	≥ 130 x 10 ⁻⁶
Módulo y pérdida de linealidad (NF P 98-260-1) Módulo en MPa a 10°C y 0,025	≥ 16 000	≥ 16 000

TABLA 5. MÓDULOS DINÁMICOS DE LAS MEZCLAS-TIPO		
Tipo de mezcla	Módulo dinámico (MPa)	
	15°C	20°C
Alto módulo (13 Mezclas)	Media 14 000 Intervalo 11 000-17 000	12 500 9 000-16 000
Densas		6 000 4 000-8 000
Semidensas		6 000 4 000-8 000
Gruesas		4 000 2 500-6 000
Abiertas		3 000 2 000-4 000
Drenantes		2 000 1 500-3 000

$$\text{Log } \epsilon \text{ (ó } \sigma) = A + B \text{ Log } N$$

Los parámetros A y B definen la recta, siendo A la sollicitación para que se produzca la rotura con una sola carga, y B la pendiente de la recta.

El Centro de Estudios de Carreteras ha normalizado un ensayo de fatiga (Norma NLT-350/90) “En-

sayo de fatiga en flexotracción dinámica de mezclas bituminosas”, en el que se utilizan probetas prismáticas de 5 x 5 x 30 cm³ que se ensayan biapoyadas, aplicando la carga en el centro de la luz. La probeta se sollicita con un desplazamiento constante, considerando finalizado el ensayo cuando el mó-

dulo del material se ha reducido a la mitad. Generalmente, se trabaja a 10 Hz y a 20°C. Los resultados obtenidos mediante la realización de ensayos dinámicos distintos a éste serán diferentes, aunque se ha comprobado que todos llevan a la misma clasificación de las mezclas y que las pendientes de la línea de fatiga son muy similares, independientemente del ensayo empleado.

Los resultados obtenidos con las mezclas de alto módulo estudiadas en el Centro de Estudios de Carreteras se presentan en la *Tabla 7*. Junto a los parámetros A y B citados se presenta el parámetro ϵ_6 , que representa la deformación necesaria para que el fallo se produzca con 10^6 aplicaciones de carga, y que da una idea de la flexibilidad del material (los valores más elevados corresponden a los materiales más flexibles).

El parámetro ϵ_6 se encuentra comprendido entre 100 y 120 microdeformaciones para las mezclas de módulo menor (entre 11 000 y 13 000 MPa). Estas mezclas son también de las de menor pendiente en la ley de fatiga (0,16-0,22). Las de mayor módulo admiten menores deformaciones, con valores del parámetro ϵ_6 entre 70 y 100.

En la misma *Tabla* se presentan estos valores para las mezclas gruesas utilizadas como referencia en los estudios, y algunos valores para mezclas semidensas obtenidas en otros trabajos. Como resumen, puede decirse que las mezclas de alto módulo, con módulos dinámicos comprendidos entre 11 000 MPa y 13 000 MPa, tienen un comportamiento en fatiga muy similar al de las mezclas semidensas, de módulo menor, y mucho mejor que el de las mezclas del tipo G.

Queda pendiente la comprobación de las leyes de fatiga en ensayos realizados con tiempo de reposo entre cargas, que puede desfavorecer a las mezclas de alto módulo por su posible menor poder de auto-reparación.

2.4. Fabricación y puesta en obra

Las MAM pueden fabricarse en cualquier tipo de central, siendo la única característica que hay que

TABLA 6.
RESULTADOS PARA DISTINTAS FRECUENCIAS Y TEMPERATURAS

Tipo de mezcla	Frecuencia (Hz)	Módulo dinámico (MPa)	
		5°C	40°C
Alto módulo Semidensa Gruesa	5	20 000	2 200
		12 000	1 000
		8 000	800
Alto módulo Semidensa Gruesa	10	20 000	2 700
		12 800	1 100
		8 500	900
Alto módulo Semidensa Gruesa	20	20 000	3 200
		13 500	1 300
		9 300	1 000

resaltar la temperatura de fabricación, más elevada (10°C-20°C) que la de las mezclas convencionales, como corresponde a un betún más duro. El betún debe mantenerse en los tanques también a temperaturas elevadas (superiores a 165°C-170°C) para evitar problemas en el bombeo.

El transporte debe hacerse en camiones calorifugados en toda circunstancia.

En la puesta en obra debe tenerse en cuenta el gran efecto de las bajas temperaturas o vientos fuer-

tes. Es fundamental respetar los espesores mínimos, por la sensibilidad del material al espesor.

La compactación debe efectuarse con temperaturas superiores a 145°C y realizarse rápidamente. Se compactan generalmente con rodillos vibrantes.

Estas mezclas no admiten el paso directo del tráfico, ni siquiera temporalmente. Si debe circular sobre ellas tráfico rodado (incluso el de obra), debe protegerse con un riego de gravilla.

TABLA 7. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FATIGA

ALTO MÓDULO			
B	A	ϵ_6	E
-0,16	2,96	98	13 200
-0,19	3,24	121	12 500
-0,20	3,30	118	11 000
-0,22	3,23	106	11 500
-0,22	3,19	70	14 750
-0,23	3,35	92	13 000
-0,25	3,41	81	14 500
GRUESAS			
-0,24	3,4	79	5 000
-0,35	3,8	52	6 500
SEMIDENSAS			
-0,19	3,1	127	5 500
-0,16	3,2	124	6 700

TABLA 8. ESPESORES DE REFUERZO (SETRA)

Ne (x10 ⁶)	DEFLEXIONES														
	50-75			75-100			100-150			150-200			200-300		
	e ₁	e ₂	e ₃	e ₁	e ₂	e ₃	e ₁	e ₂	e ₃	e ₁	e ₂	e ₃	e ₁	e ₂	e ₃
7 a 12	14	13	11	16	16	15	19	19	18						
4,5 a 7	12	8	7+0,6F	15	13	11	18	17	17						
2,75 a 4,5	7+0,6F	6+0,6F	5+0,6F	12	10	8	15	15	14	18	17	16			
1,75 a 2,75	6+0,6F	4+0,6F	3+0,6F	10	7+0,6F	6+0,6F	14	13	12	16	16	15			
1,25 a 1,75	4+0,6F			7+0,6F	5+0,6F	4+0,6F	12	10	8	14	13	12	16	16	15
0,9 a 1,15	3+0,6F			6+0,6F	4+0,6F	3+0,6F	10	8	7+0,6F	13	12	10	15	15	14
0,5 a 0,9				5+0,6F			7+0,6F	6+0,6F	5+0,6F	10	9	7+0,6F	13	12	11
0,3 a 0,5				3+0,6F			6+0,6F	5+0,6F	3+0,6F	8	7+0,6F	5+0,6F	11	10	9

F= espesor fresado
En cualquier caso, el espesor total debe ser igual o superior a 8 cm.
Se supone una de rodadura de 2 cm. Para espesores de rodadura distintos, disminuir el espesor de MAM en $\frac{E-2}{2}$ (E = espesor rodadura)

3. Dimensionamiento

En Francia no se han incluido aún las MAM en los catálogos de dimensionamiento de firmes nuevos, aunque probablemente aparecerán en la próxima edición del documento.

Sí se han publicado ya catálogos para su uso en refuerzos, en distintos *avis techniques* y en el documento del SETRA "Refuerzos con mezclas de alto módulo en travasías" (Tabla 8). Estas tablas están basadas exclusivamente en cálculos analíticos, por lo que es de esperar que en el futuro se modificarán con los resultados experimentales.

En los estudios con modelos teóricos, realizados en nuestro país, con las características de los materiales de que se dispone actualmente, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- las mezclas de alto módulo presentan un comportamiento muy superior a las mezclas gruesas convencionales, admitiendo respecto a ellas reducciones de espesor superiores al 25% para obtener la misma vida de servicio.

- el comportamiento respecto de las mezclas tipo semidensos es variable. Se pueden conseguir mezclas de alto módulo que permitan reducciones del orden del

20% respecto de las convencionales; pero otras llevan a vidas de servicio análogas o inferiores, a igualdad de espesores.

4. Campo de aplicación de las mezclas de alto módulo

Capas anti-roderas

Los excelentes resultados en el ensayo en pista de laboratorio se-



Medida de deflexiones.

ñalan las cualidades del material para resistir a las deformaciones plásticas. Se trata, pues, de una buena solución para zonas con tráfico muy pesado, lento o canalizado. Puede ser también adecuado para la construcción de ensanches de calzada, cuando éstos se realicen por el lado derecho.

Refuerzo o reconstrucción parcial de firmes

Las MAM tienen una capacidad de absorción de cargas muy superior a la de las mezclas convencionales, lo que permite reducir espesores de refuerzo. Esta característica es especialmente significativa en la reconstrucción de firmes en ciudades o zonas con limitaciones de cota, ya que el empleo de las MAM lleva a ahorros en el espesor de material fresado.

Capas de base en firmes nuevos

La aplicación de las MAM en capas de base de firmes nuevos debe hacerse teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Hasta que no se disponga de más experiencia, debe evitarse su colocación sobre capas tratadas con cemento, ya que la reducción de espesor frente a las mezclas convencionales puede originar una

reflexión muy rápida de las grietas de retracción de las capas hidráulicas.

- El material es muy sensible a la variación de espesores y de la capacidad de soporte de las capas granulares, y al despegue entre capas. Debe evitarse su colocación directa sobre explanadas. Las reducciones de espesor respecto de las mezclas convencionales deben ser menores en firmes nuevos que en refuerzos, al menos inicialmente.

Aprovechamiento de materiales marginales

En algunos casos puede ser de interés la aplicación de las MAM con áridos que no cumplan las especificaciones, especialmente para la utilización de áridos rodados.

5. Experiencia con las mezclas de alto módulo

Experiencia francesa

La experiencia francesa se refiere especialmente a refuerzos de firmes rígidos o semi-rígidos o a reconstrucciones parciales de firmes, con tráfico de tipos comprendidos entre T2 y el TO. Los espesores de MAM puestos en obras varían entre 6 y 12 cm, con rodaduras en capa delgada (4 cm) o muy delgada (2,5 cm), habiéndose obtenido las siguientes conclusiones de su empleo:

- El comportamiento general del material puede considerarse bueno, con pocos fallos generales.
- La reflexión de grietas de retracción de capas hidráulicas ha sido muy rápida en firmes nuevos, y mucho más lenta en refuerzos.
- El comportamiento en refuerzos ha sido, en general, mejor que en firmes nuevos. El comportamiento de las MAM ha sido especialmente crítico, frente a errores o defectos en reconstrucciones parciales, o donde se apoyan directamente sobre capas granulares.
- Se han producido muy pocos casos de fisuración térmica del material, y éstos con rodadura compuestas por tratamientos superficiales, nunca con mezclas bituminosas.

La experiencia más importante en Francia, en cuanto a solicita-

ciones extremas, es la del bulevar periférico de París, en la sección Sur, realizado entre 1992 y 1993. El tráfico es superior a 200 000 vehículos/día. En esta obra se demolieron los dos carriles exteriores y parcialmente el interior, extendiéndose después 8 cm de capa de regularización con una mezcla bituminosa convencional, dos capas de 11 cm cada una de mezclas de alto módulo, y una rodadura drenante de 4 cm.

Se han llevado a cabo también ensayos acelerados en la pista de

Experiencia española

En nuestro país, el único tramo con seguimiento documentado hasta la fecha es el tramo de Zamora.

La obra se llevó a cabo en el verano de 1992 en la N-630 de Gijón a Sevilla, en el tramo de Zamora al límite de la provincia de Salamanca. Dentro de la obra se seleccionaron tres subtramos, en los que se compararon soluciones convencionales con distintas reducciones de espesor (entre el 0% y el 40%)

TABLA 9.
DEFLEXIONES EN EL TRAMO EXPERIMENTAL DE ZAMORA

Tramo Subtramo	Longitud	Tratamiento	Deflexiones		
			Julio 92	Octub. 92	Abril 94
4 a	1 507 m	MBC 10 cm	163	80	68
4 b	1 983 m	MAM 8 cm	155	82	80
6 a	350 m	MBC 13 cm	201	85	72
6 b	150 m	MAM 13 cm	197	76	68
6 c	200 m	MAM 11 cm	158	73	69
6 d	415 m	MBC 13 cm	160	79	73
6 e	320 m	Travesía	210	134	114
6 f	265 m	MAM 10 cm	167	66	89
6 g	600 m	MBC 13 cm	142	63	82
6 h	500 m	MAM 8 cm	200	101	90
8 a	200 m	MBC 16 cm			
8 b	200 m	MAM 11 cm			

MBC= Mezcla Bituminosa Convencional

Nantes, de los que se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Los cálculos teóricos son muy optimistas con estas mezclas y se debe limitar la reducción de espesores al 25% (frente al 30% que señalan los métodos teóricos).
- El comportamiento de las MAM es muy sensible al espesor. Pasar de 8 a 10 cm multiplica la vida de servicio por 6.
- Una vez que se inicia la fisuración, ésta se desarrolla más rápidamente que en las mezclas convencionales.
- El comportamiento ante las deformaciones plásticas es excelente.

con MAM (Tabla 9). Como capa de rodadura, se dispuso una mezcla drenante.

En los testigos extraídos se pudo comprobar la adherencia perfecta entre las capas nuevas y con el firme antiguo. Se midieron módulos dinámicos en laboratorio, obteniéndose un resultado de 12 000 MPa, a 10 Hz y 20°C.

Los resultados de las distintas campañas de medidas de deflexiones señalan que, desde el punto de vista de la capacidad de soporte, la equivalencia se obtiene en el entorno del 25% de reducción de espesor. Todavía no se ha producido ningún tipo de fisuración ni en zo-

“**S**us principales ventajas son su gran capacidad de absorción de cargas, con una resistencia a la fatiga análoga a la de las mezclas semidensas, lo que permite reducir los espesores frente a las mezclas convencionales, al menos un 20%.”

na de mezclas de alto módulo ni de mezclas convencionales, como era de esperar.

6. Coste

Los ahorros de coste debidos a la utilización de las MAM tienen su origen en las reducciones de espesor. Se producen por otro lado aumentos de coste debidos a:

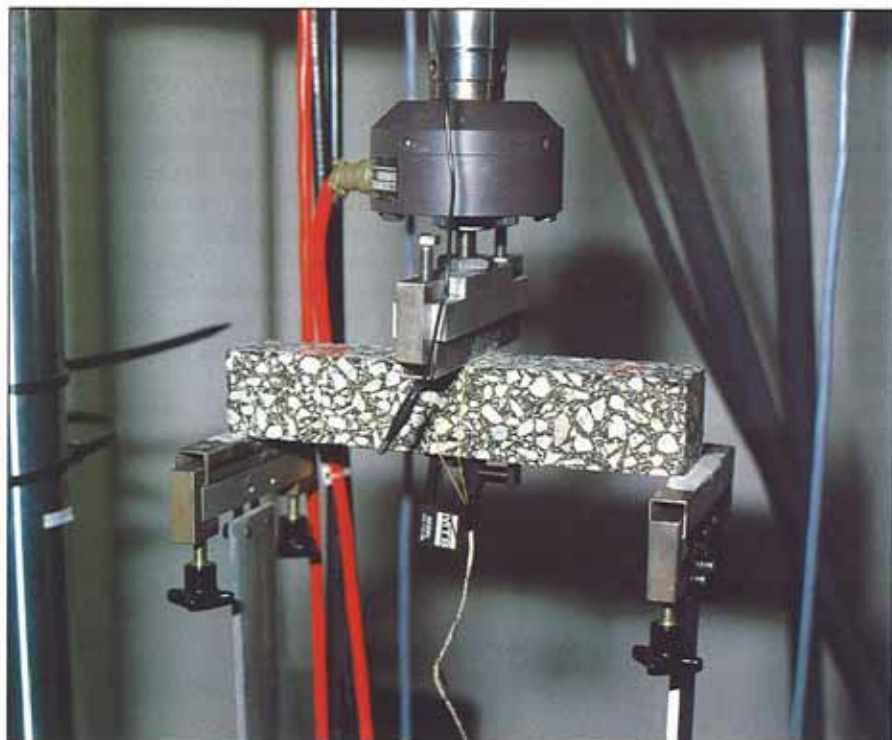
- Mayor precio del ligante, originado por un mayor precio en origen y por el transporte, ya que únicamente se dispone de este ligante en determinadas refinerías.
- Necesidad de aportar polvo mineral, para llegar a un contenido total de polvo mineral del orden del 7%-8%.
- Mayores temperaturas de fabricación (10°C-20°C).

En Francia el coste de fabricación y puesta en obra de las MAM es del orden de 1,2-1,5 veces el de las mezclas convencionales.

7. Conclusiones

Las mezclas de alto módulo constituyen una alternativa, de gran interés técnico y económico, a los materiales tradicionales. Sus principales ventajas son su gran capacidad de absorción de cargas, con una resistencia a la fatiga análoga a la de las mezclas semidensas, lo que permite reducir los espesores frente a las mezclas convencionales, al menos un 20%.

La mayor parte de la experiencia con estas mezclas se refiere a



Ensayo de fatiga.

refuerzos, con un buen comportamiento hasta la fecha.

No hay, sin embargo, bastantes datos sobre su comportamiento en firmes nuevos; por lo que, en estos casos, las reducciones de espesor deben hacerse con prudencia, y no superar en una primera fase el 20%, salvo en firmes decididamente experimentales. Por otro lado, no deben utilizarse sobre capas tratadas con cemento, porque puede producirse una rápida reflexión de las grietas de retracción. Tampoco deben colocarse directamente sobre la explanada.

Las MAM deben ponerse en obra en capas espesas, de espesor superior a 6-7 cm, y protegerse con una capa de rodadura, para evitar problemas de retracción térmica y falta de adherencia. Son habituales con estas mezclas las rodaduras drenantes o en capa discontinua delgada.

Las condiciones de fabricación y puesta en obra deben adaptarse a la dureza del ligante.

8. Referencias

1. Varios autores; *Jornada sobre mezclas de alto módulo*, CEDEX-CENTRO INVESTIGA-

CION ESM; Madrid, 1994.

2. NFP 98-140 *Enrobés hidrocarbonés; Couches d'assises. Enrobés à module élevé*; AFNOR; Octubre 1992.
3. R. Lebre; *Nouveaux produits pour couches de base. Les enrobés à très haut module*; Genie urban/Aménagement et territoire, 1987.
4. J. Duval et al; *High strengthening power bituminous structures*; Eurobitume 1989.
5. F. Vérehée; J.L. Delorme; *Enrobés classiques et à module élevé. Bilan de comportement des enrobés à module élevé*; Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées; 1991.
6. F. Prudhome et al; *Les enrobés à module élevé*; R.G. Routes et Aéroports, 1991.
7. SETRA; *Renforcements en enrobés à module élevé en traversée d'agglomération*; 1988 ■

D. Aurelio Ruiz Rubio. Director del Laboratorio de Infraestructura Viaria. Centro de Estudios de Carreteras. CEDEX.