

Los ligantes modificados en las carreteras españolas de los años 90

POR JAIME GORDILLO GRACIA,
LICENCIADO EN CIENCIAS QUÍMICAS

Y

RECAREDO ROMERO AMICH,
INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



Foto 1. Equipo de microscopía de fluorescencia para el estudio en laboratorio de los hatunes modificados

1. Introducción

Los datos presentados tienen su origen en el Comité Técnico de Firms Flexibles de la Asociación Técnica de Carreteras.

Este Comité, en su actual etapa, se constituyó el 22 de mayo de 1996 y está formado por una treintena de técnicos con representación tanto de la Administración estatal y autónoma, centros de investigación, concesionarias de autopistas y empresas constructoras, como de las empresas productoras de ligantes bi-

luminosos en nuestro país. Su presidente es Tomás Prieto, Ingeniero Jefe de la Demarcación de Carreteras del Estado del Ministerio de Fomento en Valencia.

Desde el comienzo de sus trabajos, se formó dentro del Comité un grupo específicamente dedicado al tema de los ligantes modificados y con aditivos, y a las mezclas fabricadas con este tipo de ligantes. Una de las razones de ello fue la existencia en el Comité Internacional de Firms Flexibles (que es el homónimo de éste a nivel de la AIPCR) de un subgrupo dedicado al estudio de es-

tos materiales. Entre otras labores, el grupo nacional de ligantes modificados elaboró la respuesta española a una encuesta realizada por el grupo internacional, recogiendo datos sobre las características de los ligantes utilizados en nuestro país y las producciones generales de los últimos años.

A partir de ahí, surge la idea de actualizar los datos en los que reposaba la respuesta a la encuesta internacional, e incluso ampliarlos en algunos aspectos. Se pretendía asimismo aprovechar la reciente publicación de la normativa referente a los ligantes modificados, que aparece al

Hoy en día, más del 80% de las mezclas drenantes y de los microaglomerados en caliente que se ejecutan en nuestro país incorporan un ligante modificado

comienzo del año 97 en forma de Orden Circular del Ministerio de Fomento, para añadir claridad al empleo de los diferentes productos existentes en el mercado nacional, sus características y su adaptación a dicha normativa.

2. Revisión histórica

2.1. Betunes modificados

El origen del interés por los ligantes modificados, en cuanto a su aplicación como materiales de carretera, es conocido: los betunes y emulsiones tradicionales presentan limitaciones en su respuesta ante cargas altas y condiciones climáticas severas, y pueden presentarse problemas en su utilización en algunas situaciones extremas. Esta situación se ha visto agravada con el aumento del tráfico y de la agresividad de los vehículos pesados en los últimos años: aumento que todo apunta a que continúe en el futuro próximo.

Con los ligantes modificados se pretende mejorar el comportamiento de los betunes tradicionales en lo que se refiere a su susceptibilidad térmica, comportamiento reológico y mecánico, especialmente en aquellas características relacionadas con la cohesión, la resistencia a las deformaciones permanentes y al agrietamiento por fatiga; la adhesividad a los áridos, en especial la relacionada con el desplazamiento por el agua (adhesividad pasiva); y los problemas de envejecimiento y durabilidad.

Desde un punto de vista histórico, y aunque eran ya conocidos

y utilizados esporádicamente desde mediados de los años 60, puede decirse que estos ligantes se empezaron a desarrollar en España a partir de los años 70, tanto para la fabricación de mezclas densas como en su utilización en la realización de tratamientos superficiales, en forma de betunes modificados fluidificados.

En esta primera época, los polímeros utilizados fueron generalmente cauchos naturales en polvo o en látex, que se incorporaban directamente al mezclador de la central de fabricación. Se buscaban con su utilización unas mezclas con mejores resistencias a las deformaciones plásticas en las capas de refuerzo y vías de tráfico pesado, obteniéndose resultados contradictorios, achacables al poco conocimiento existente en esos momentos sobre los polímeros, así como a la incorrecta manipulación durante los procesos de fabricación y puesta en obra.

A principios de los años 80 se incrementa en nuestro país el interés por estos tipos de ligantes, y se comienzan a emplear otros tipos de polímeros como EVA, SBS, etc., precursores de los que hoy en día son normalmente empleados, aunque su precio limitase entonces su empleo. Es a mediados de los años 80, con la aplicación creciente de las mezclas drenantes y de las capas finas en carreteras sometidas a un intenso tráfico, cuando se reabre el interés por estos materiales y se emplean de forma creciente, pasándose su producción de 10 000 t en el año 1985 a 40 000 t en 1992.

Hoy en día, más del 80% de las mezclas drenantes y de los microaglomerados en caliente que se ejecutan en nuestro país incorporan un ligante modificado, siendo estas dos aplicaciones su principal dominio de empleo.

2.2. Emulsiones modificadas

Se denominan así las emulsiones bituminosas en las que su betún residual presenta unas características reológicas y mecánicas notablemente mejoradas respecto al betún de base, debido a la incorporación al betún de unas sustancias macromoleculares (polímeros termoplásticos general-



Foto 2. Aspecto superficial de una mezcla

mente), bien antes de su entrada en la turbina, bien en forma de látex en la fase acuosa previa a la emulsificación.

Existen, pues, dos tipos de emulsiones modificadas:

- * Las denominadas monolásicas, que exigen la modificación previa del betún y se caracterizan, por tanto, por poseer una fase dispersa compuesta únicamente de pequeñas gotas de betún, previamente modificado, en una fase continua acuosa;

- * y las denominadas bifásicas, llamadas así porque en la fase acuosa continua están dispersadas partículas de betún y partículas de polímero (látex).

En España, el empleo de emulsiones modificadas más antiguo se remonta al final de los años 60 y comienzo de los 70. Se trataba de emulsiones catiónicas con el 65-69% de ligante, con látices



Drainante fabricada con betún modificado tipo BM-3a.

naturales como agente modificador y que, al ser aniónico, exigía la previa inversión. Estos tipos de emulsiones bifásicas se utilizaban para la realización de tratamientos superficiales en carreteras de tráfico T2-T3 con un doble papel: impermeabilizar el firme y dotarle de una textura rugosa y resistente a la acción de vehículos pesados.

A mediados de los años 70 empezaron a fabricarse emulsiones bifásicas también con látices naturales, para su utilización en la mejora de lechadas asfálticas, precursoras de las utilizadas hoy en día en la fabricación de microaglomerados en frío.

En los años 80 comienzan a producirse emulsiones modificadas con látices sintéticos, muchos de ellos catiónicos, que facilitaban el proceso de emulsificación y que fueron utilizadas para la ejecución

de tratamientos superficiales en carreteras de tráfico importante, microaglomerados en frío e incluso en mezclas drenantes en frío.

A finales de los 80 y principios de la década de los 90 aparecen en España las primeras emulsiones monofásicas, en las que se utilizan como agentes modificadores unos polímeros termoplásticos de las familias utilizadas en la modificación de betunes: plastómeros del tipo EVA o elastómeros termoplásticos de los tipos SB o SBS. La fabricación de estos tipos de emulsión es bastante más compleja que las bifásicas, y exige una mayor tecnificación. Su fabricación pasa necesariamente por la modificación previa del ligante, lo que requiere unos medios mecánicos y exigencias térmicas superiores. Estas emulsiones se utilizan en la realización de trata-

mientos superficiales de alta calidad en carreteras de tráfico importante, microaglomerados en frío y mezclas drenantes en frío de elevadas prestaciones.

2.3. Betunes sintéticos

Se trata de unos ligantes puestos a punto para satisfacer una vieja aspiración de los Ingenieros de carreteras: la obtención de aglomerados coloreados, ya que los betunes tradicionales, con elevados contenidos en asfaltenos, son de muy difícil pigmentación incluso con elevadas proporciones de pigmento.

Inicialmente, los aglomerados en color se obtenían sustituyendo en la formulación una parte del filler por pigmentos inorgánicos, generalmente óxidos de hierro rojo en proporciones elevadas ($\geq 5\%$), con lo que se obtenían unas mezclas asfálticas de color rojo oscuro que ennegrecían rápidamente con el paso del tiempo.

Una segunda generación fue desarrollada con el empleo de ligantes con bajo contenido en asfaltenos (los denominados betunes albinos o pigmentables), en los que el ligante presentaba, por su menor contenido en asfaltenos, unas mejores posibilidades de coloración.

El salto cualitativo en el campo de los pavimentos en color se produce gracias a la puesta a punto de los betunes sintéticos, productos de origen petroquímico que, al no contener asfaltenos, presentan en película delgada un aspecto transparente, por lo que admiten cualquier tipo de pigmentación, pudiendo fabricarse incluso aglomerados con el color natural del árido sin aportación de pigmento.

Los betunes sintéticos se caracterizan por poseer unas propiedades mecánicas y reológicas muy similares a los betunes de destilación tradicionales con la misma penetración.

Inicialmente, estos betunes fueron introducidos en nuestro país en los años 91 y 92, procedentes de Francia, y fueron utilizados en la fabricación de mezclas en color (rojo, amarillo, verde, etc.), en zonas de estacionamiento y viales urbanos de Barcelona (Juegos

TABLA 1. TIPOS Y APLICACIONES DE BETÚN MODIFICADO
(Previstos en el artículo 215)

BETÚN MODIFICADO	PENETRACIÓN (0,1 mm)		APLICACIÓN
	MÍN.	MÁX.	
BM-1	15	30	Alto módulo
BM-2	35	50	Bases (refuerzo) Rodaduras (antirrod.)
BM-3a	55	70	Drenantes
BM-3b	55	70	Capas finas/drenantes
BM-3c	55	70	Capas finas/Mezclas resistentes a fatiga
BM-4	80	130	Antirremonte
BM-5	150	200	Tratamientos superficiales

Olimpícos 1992) y en Sevilla (Expo-Universal) y en otras poblaciones.

Dado el buen comportamiento de estos ligantes, empezaron a ser producidos en nuestro país a partir del año 94.

3 Normativa actual sobre ligantes modificados

3.1. Betunes modificados

La Normativa actualmente en vigor sobre betunes modificados fue publicada como Orden Circular 322/97, bajo la denominación de Artículo 215 "Betunes asfálticos modificados con polímeros".

La redacción de este artículo se comenzó en 1988, mediante un convenio suscrito entre la Dirección General de Carreteras del hoy Ministerio de Fomento y el CEDEX, habiendo intervenido además en su redacción técnicos de diversas empresas hasta su versión definitiva de 1997. En el camino, el texto del artículo se fue modificando para adaptarlo a las necesidades de cada momento, viéndose incluso ampliado el número de tipos de ligante desde el único inicialmente previsto hasta los siete incluidos en la normativa final, abriendo el abanico de su dominio de empleo a diversas

aplicaciones (mezclas drenantes, microaglomerados en caliente, bases de alto módulo, refuerzos con mezclas tradicionales, etc.; ver tabla 1).

La normativa actual surge esencialmente a requerimiento de los Directores de Obra del Ministerio, que reclamaban unos sistemas de control que les permitiesen distinguir de forma sencilla entre ligantes modificados y no modificados, y determinar la calidad de los ligantes suministrados. Por esta razón, se ha redactado en forma de una serie de requisitos mínimos que deben cumplir los ligantes para que puedan ser considerados como modificados.

Se han incluido, por lo tanto, una serie de ensayos sencillos que permiten sustituir los más complejos de caracterización en laboratorio (ver foto 1); y se han establecido unos límites en las prescripciones, de forma que los ligantes comerciales con un demostrado buen comportamiento los cumplan, sin que sean alcanzados por los ligantes convencionales no modificados.

Los ligantes modificados se designan en la Normativa con las letras BM. Se contemplan cinco grados de penetración y siete tipos de ligantes modificados (tabla 1):

a) BM-1, de penetración 15/30. Se trata de un ligante muy duro

para mezclas de alto módulo para capas de base, en situaciones que requieran una gran rigidez.

b) BM-2, de penetración 35/50. Ligante duro para capas de refuerzo (bases) o para capas de rodadura resistentes a las rodaduras.

c) BM-3a, de penetración 55/70. Es el tipo de ligante más utilizado en la actualidad. Se trata de un ligante para mezclas drenantes.

d) BM-3b, de penetración 55/70. Ligante adecuado para capas delgadas o mezclas drenantes.

e) BM-3c, de penetración 55/70. El ligante más modificado del grupo 55/70; es apropiado para situaciones que requieran un material excepcionalmente flexible o muy resistente a fatiga.

f) BM-4, de penetración 80/130, para tratamientos antifisuras del tipo arena-betún y membranas.

g) BM-5, de penetración 150/200, para tratamientos superficiales con gravilla.

En estas denominaciones se encuentran comprendidos tanto los betunes modificados, fabricados en instalaciones fijas y suministrados a granel, como los que se fabrican en el lugar de empleo, en instalaciones móviles. Quedan excluidos los obtenidos a partir de adiciones incorporadas a los áridos o en el mezclador de la central de fabricación de la unidad de obra de la que formen parte.

Para la caracterización de los betunes modificados se utilizan los ensayos y las especificaciones contenidas en la tabla 2.

El cumplimiento de esta normativa asegura que el ligante que la cumple es un ligante modificado, pero no exime en absoluto de la realización de los ensayos de mezclas que sean pertinentes. Puede haber, sin embargo, unos ligantes modificados que no cumplan algunas prescripciones de la normativa y que, sin embargo, den un buen resultado en obra. Aun sabiendo estos aspectos del problema, la Dirección General de Carreteras prefirió en su momento ordenar el sector y marcar unas pautas de forma que la experiencia al cabo de los años pueda servir para mejoras sucesivas de la normativa.

**TABLA 2. ESPECIFICACIONES DE LOS BETUNES MODIFICADOS,
SEGÚN LA ORDEN CIRCULAR 322/97**

Característica	Ud.	Norma NLT	BM-1		BM-2		BM-3a		BM-3b		BM-3c		BM-4		BM-5	
			Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
BETÚN ORIGINAL																
penetración (25°C; 100g; 5s)	0,1 mm	124	15	30	35	50	55	70	55	70	55	70	80	130	150	200
Punto de reblandecimiento (A y B)	°C	125	70		65		58		60		65		60		55	
Punto de fragilidad Fransa	°C	182		-4		-8		-10		-12		15		-15		-20
Ductilidad (5cm/min) a 5°C	cm				2		4		25		30		40		50	
a 25°C	cm	126	10													
Flotador (60°C)	s	183	3000		2000		700		1200		2000		1200		1200	
Estabilidad almacenamiento(*)		328														
- diferencia Punto Reblandecimiento	°C	125		5		5		5		5		5		5		5
- diferencia Penetración (25°C)	0,1 mm	124		5		8		10		10		10		12		20
Recuperación elástica a 25°C	%				10		15		40		70		60		60	
40°C	%	329	15													
Contenido de agua (en volumen)	%	123		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2
Punto de inflamación v/a	°C	127	235		235		235		235		235		220		200	
Densidad relativa (25°C/25°C)		122	1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0		1,0	
RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA FINA																
Varación de masa	%	185		0,8		0,8		1,0		1,0		1,0		1,4		1,5
Penetración (25°C; 100g; 5s)	% p.o.	124	70		70		65		65		65		60		55	
Varación del punto de reblandecimiento	°C	125	-4	+8	-4	+8	-5	+10	-5	+10	-5	+10	-6	+10	-6	+10
Ductilidad (5cm/min) a 5°C	cm				1		2		12		15		20		25	
25°C	cm	126	5													

*No se exigirá esta prescripción cuando los elementos de transporte y almacenamiento estén provistos de un sistema de homogeneización adecuado, aprobado por el Director de las Obras.

**TABLA 3. TIPOS Y APLICACIONES DE EMULSIONES MODIFICADAS
(Previstas en el artículo 216)**

EMULSIÓN BITUMINOSA	CARÁCTER IÓNICO	ROTURA	APLICACIÓN
ECR-1-m	Catiónica	Rápida	Riego de adherencia
ECR-2-m	Catiónica	Rápida	Riego de adherencia Tratamiento superficial
ECR-3-m	Catiónica	Rápida	Tratamiento superficial
ECM-m	Catiónica	Media	Mezclas en frío
EAM-m	Aniónica	Media	Mezclas en frío
ECL-2-m	Catiónica	Lenta	Microaglomerados en frío

3.2. Emulsiones modificadas

En lo que se refiere a las emulsiones modificadas, la normativa actual se recoge en la misma Orden Circular 322/97 ya citada, con la denominación de Artículo 216 "Emulsiones bituminosas modificadas con polímeros".

En la normativa citada no se hace distinción alguna entre emulsiones monofásicas o bifásicas. Si se distinguen, incluso en la denominación (ver tabla 3), por el tipo de emulsionante (aniónicas y catiónicas) y por el tipo de rotura (rápida, media o lenta).

En la normativa se especifican 6 tipos diferentes de emulsiones

TABLA 4. ESPECIFICACIONES DE LAS EMULSIONES MODIFICADAS, SEGÚN LA ORDEN CIRCULAR 322/97

Característica		Ud.	Norma NLT	ECR-1-m		ECR-2-m		ECR-3-m		ECM-m		EAM-m		ECL-2-m	
				Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
EMULSIÓN ORIGINAL															
VISCOSIDAD SAY-BOLT	Furol, a 25 °C	s	138		50							40			50
	Furol, a 50 °C	s	138			20		40		20					
CARGA DE LAS PARTÍCULAS			194	positiva								negativa		positiva	
CONTENIDO DE AGUA (en volumen)		%	137		43		37		32		35		40		40
BETÚN ASFÁLTICO RESIDUAL		%	139	57		63		67		59		57		60	
FLUIDIFICANTE POR DESTILACIÓN		%	139		5		5		2		12		10		0
SEDIMENTACIÓN (a los 7 días)		%	140		5		5		5		5		5		10
TAMIZADO (retenido en tamiz UNE 800 µm)		%	142	≤ 0,10											
MEZCLAS CON CEMENTO		%	144												2
RESIDUO POR EVAPORACIÓN A 163°C (NTL - 147)															
PENETRACIÓN (25 °C, 100g, 5s)		0,1 mm	124	120	200	120	200	120	200	100	220	100	220	100	150
				50	90	50	90	50	90					50	90
PUNTO DE REBLANDECIENDO (A Y B)		°C	125	45		45		45		40		40		45	
				55		55		55						55	
DUCTILIDAD (5°C, 5cm /trazo)		cm	126	≥ 10											
RECUPERACIÓN ELÁSTICA (25 °C, torsión)		%	329	≥ 12											

* Estas emulsiones, con residuos de destilación más duros, se designan con el tipo correspondiente, seguido de la letra d (ejemplo ECR-1(d)-m)

modificadas. La denominación y principal dominio de empleo se presentan en la *tabla 3*, y en la *tabla 4* se incluyen los ensayos y especificaciones de la Norma. Los 6 tipos aludidos son los siguientes:

* ECR-1-m, emulsión catiónica de rotura rápida, dedicada esencialmente a los riegos de adherencia. Los contenidos máximos de fluidificante y mínimos de betún residual son 5% y 57%, respectivamente.

* ECR-2-m, del mismo tipo que la anterior, pero con un mayor contenido de betún residual (mínimo del 63%), se emplea, además de en los riegos de adherencia, en los tratamientos superficiales con gravilla.

* ECR-3-m, del mismo tipo que las dos anteriores, pero con un menor contenido máximo de fluidificante (2%), y mayor de be-

tún residual (mínimo del 67%), se utiliza esencialmente en los tratamientos superficiales con gravilla (sobre todo, en carreteras con tráfico importante) y en membranas antifisuras como SAMI, asociadas a geotextiles.

* ECM-m, emulsión catiónica de rotura media, diseñada para la fabricación de mezclas abiertas o drenantes en frío, en la que se admite un mayor contenido de fluidificante (máximo del 12%) que en los restantes tipos. El contenido mínimo de betún residual es el 59%.

* EAM-m, emulsión aniónica (la única de esta tipología) de rotura media, prevista asimismo para su utilización en la fabricación de mezclas bituminosas en frío, especialmente con áridos calizos. El contenido máximo de fluidificante es el 10% y el mínimo de betún residual el 57%.

* ECL-2-m, catiónica de rotura lenta (es la única en la que se establece el ensayo de mezcla con cemento, con una limitación máxima del 2%), pensada esencial-

La normativa diferencia estas emulsiones modificadas de las convencionales en las características de elasticidad de su residuo, y en el método de ensayo empleado para su recuperación

mente para su empleo en lechadas y microaglomerados en frío. No lleva fluidificantes, y el contenido mínimo de betún residual es el 60%.

La normativa diferencia estas emulsiones modificadas de las convencionales en las características de elasticidad de su residuo, y en el método de ensayo empleado para su recuperación (ver tabla 4).

Así, en el caso de las modificadas, se debe recuperar mediante el ensayo de evaporación a 163°C en lugar de utilizar el ensayo de destilación a 260°C (clásico para las convencionales), para evitar una posible degradación del polímero a las altas temperaturas del ensayo.

En cuanto a su comportamiento elástico, queda definido mediante el ensayo de recuperación elástica por torsión (NLT 329), cuyo resultado queda fijado para todas las emulsiones modificadas en valores iguales o superiores al 12%.

4. La encuesta sobre los ligantes modificados y sintéticos

Poco antes del verano de 1997 el citado Grupo de ligantes modificados del Comité Técnico de Firms Flexibles elabora una encuesta a nivel nacional, que se distribuye entre todas las empresas fabricantes de ligantes modificados o sintéticos, que son las siguientes (por orden alfabético):

- * BP OIL
- * COMPOSÁN CONSTRUCCIÓN
- * COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN
- * CORVIAM
- * DITECPESA
- * PANASFALTO
- * PAVASAL
- * PROAS-CEPSA
- * PRODUCTOS BITUMINOSOS, SA (PROBISA)
- * REPSOL PRODUCTOS ASFÁLTICOS

El objetivo principal perseguido con la encuesta es el establecimiento del panorama de estos

TABLA 5. RELACIÓN DE BETUNES MODIFICADOS PRODUCIDOS EN ESPAÑA LOS ÚLTIMOS SEIS AÑOS.

EMPRESA	D.LIGANTE SEGUN O.C. 322/97	N.C. LIGANTE MOD.
PROAS-CEPSA	BM-1	NEWPLAST
COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN	BM-1	TELCOMAP U
PROAS-CEPSA	BM-2	STYRELF 13/40
PROBISA	BM-2	REFORPLAST
DITECPESA	BM-2	BOSIPAST
COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN	BM-2	TELCOMAP
CORVIAM	BM-2	CORVIFLEX
PROAS-CEPSA	BM-3a	STYRELF 13/60
DITECPESA	BM-3a	OURRY 2
BP OIL	BM-3a	OLEXOBIT AD
PROBISA	BM-3a	DRENOPLAST
REPSOL	BM-3a	MODIFAL D
COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN	BM-3a	TELCO B-65
CORVIAM	BM-3a	CORVIFLEX
PROAS-CEPSA	BM-3b	STYRELF 14/60
BP OIL	BM-3b	OLEXOBIT MD
PROBISA	BM-3b	PB (L.S) 60/70
REPSOL	BM-3b	MODIFAL I
COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN	BM-3b	TELCOLASTIC B
CORVIAM	BM-3b	CORVIFLEX
PROAS-CEPSA	BM-3c	STYRELF 15/60
PROBISA	BM-3c	PB Flex
REPSOL	BM-3c	MODIFAL M
COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN	BM-3c	TELCOLASTIC N
CORVIAM	BM-3c	CORVIFLEX
COMPOSÁN	BM-3c	TELCOLASTIC S
PROAS-CEPSA	BM-4	A.A.F.
PROBISA	BM-4	ELASTOPLAST
REPSOL	BM-4	MODIFAL E
COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN	BM-4	TELCOLASTIC A
PROAS-CEPSA	BM-5	M.A.F.
COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN	BM-5	TELCOLASTIC M

materiales a nivel nacional, sin particularizar las características de cada producto.

En las preguntas incluidas en la encuesta se solicitaban numerosos datos como: nombres comerciales de los productos, tipo y características del modificantes, porcentaje del mismo utilizado en la fabricación, tipo normalizado al que se adscribe cada uno de los productos, producción en los últimos años, ensayos de control utilizados, etc.

La encuesta se dividió entre ligantes modificados y sintéticos,

y en los primeros entre ligantes anhidros (betunes) y en forma de emulsión. Los datos se solicitaban siempre por producto, y de esta manera se han suministrado, aunque aquí se publican en forma globalizada, dada la existencia de patentes, en algunos casos, y la pertenencia de algunos datos al ámbito de lo que las empresas consideran su específico procedimiento de fabricación.

Todas las empresas citadas respondieron a la encuesta, y además de una manera franca y muy detallada, actualizando incluso a

finales de año los datos de la producción: por lo que el Comité Técnico de Firmas Flexibles en general, y las personas que han participado en este trabajo en particular, quieren expresarles un cálido agradecimiento por su entusiasta colaboración.

Los datos y valores que se presentan a continuación están extraídos de la citada encuesta, en forma de resumen de resultados. Es importante precisar que se basan en las respuestas de las empresas españolas que producen este tipo de ligantes, y no tienen, por lo tanto, que representar las ideas o diferentes sensibilidades que puedan existir dentro del Comité.

5. Resultados de la encuesta sobre los betunes modificados

5.1. Betunes tipo BM1

Es el betún modificado más duro de todos los recogidos en la especificación española. Se caracteriza por su baja penetración (15-30), elevado punto de reblandecimiento superior a 70°C, así como por su elevada consistencia, característica necesaria para su empleo en la fabricación de mezclas de alto módulo para capas de base, principal campo de utilización de este tipo de betún.

En el periodo de la encuesta, las empresas españolas que han fabricado este tipo de ligante y sus nombres comerciales son los siguientes (ver tabla 5 en la página anterior):

* COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN: TELCOMAP D

* PROAS-CEPSA: NEWPLAST

Existe en el mercado también el producto MODIFAL A, de la casa REPSOL, aunque no ha tenido producción hasta el momento, según los resultados de la encuesta.

En la fabricación de los ligantes tipo BM-1 se emplean diferentes agentes modificantes:

* Polímeros unidimensionales del tipo de las poliolefinas, generalmente polietileno de baja densidad, bien virgen, bien procedente de recuperación.

El tipo BM1 es el betún modificado más duro de todos los recogidos en la especificación española

* Plastómeros, normalmente copolímeros de etileno con acetato de vinilo (EVA).

* Elastómeros termoplásticos de los tipos SB o SBS.

Dada la baja compatibilidad de las poliolefinas con el betún, la fabricación de los betunes modificados con este tipo de polímeros se realiza *insitu* en una instalación aneja a la central de fabricación del aglomerado asfáltico.

Los polímeros se han utilizado en proporciones variables entre 3,5 y el 8% sobre el betún, dependiendo del tipo de polímero.

Según datos de las empresas que fabrican betunes modificados de este tipo BM-1, el principal campo de aplicación son las bases de alto módulo (ver tabla 6).

De las respuestas recibidas de los fabricantes en la encuesta se desprende que estos tipos de betunes modificados no han tenido un desarrollo importante en España. Los aglomerados de alto módulo que empezaron a emplearse en nuestro país a principios de los años 90 (1992 en la provincia de Zamora) en capas de base fueron fabricados utilizando betunes normales de muy baja penetración (10-25) con los que se sigue fabricando estos tipos de mezclas.

En la campaña objeto del estudio, únicamente fue utilizado el BM1 en unas obras realizadas en los años 92 y 94, para las que se fabricaron un total de 1.100 toneladas. Frente a ciertas ventajas de tipo técnico son quizás razones económicas las que explican la poca utilización de este tipo de ligante, el de menor consumo de toda la gama de betunes modificados utilizados en nuestro país (0,29% del total producido en el periodo 1992-97).

5.2. Betunes tipo BM2

Se trata de un betún modificado duro, con penetración entre 35 y 50, punto de reblandecimiento superior a 65°C y dotado de una cierta elasticidad (superior al 10% medida con el dispositivo de torsión).

Es un betún que por sus características resulta apropiado para la fabricación de unas mezclas bituminosas especialmente resistentes a la deformación plástica y a la fatiga, tanto utilizadas en capas de base como, y muy especialmente, en capas de refuerzo en carreteras con elevadas intensidades de tráfico, en vías de tráfico canalizado y lento o en carreteras en zonas con elevadas temperaturas estivales.

Ha sido fabricado en los últimos años, con los nombres comerciales siguientes, por las empresas españolas que se relacionan a continuación (tabla 5):

* COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN: TELCOMAP

* CORVIAM: CORVIAFLEX

* DITECPESA: BOSIPAST

* PROBISA: REFORPLAST

* PROAS-CEPSA: STYRELF 13/40

Sin producción hasta el momento, hay otros dos productos en el mercado: el MODIFAL B de REPSOL, y el OLEXOBIT MR de BP.

En su fabricación, se emplean diferentes agentes modificadores, tanto plastómeros como elastómeros. Entre los primeros, los más utilizados son los plastómeros termoplásticos del tipo EVA o poliolefinas del tipo polietileno, generalmente de baja densidad, virgen o procedente de recuperación. Se emplean también elastómeros termoplásticos del tipo del estireno-butadieno-estireno (SBS), lineales o radiales o caucho del tipo butadieno-estireno (SB).

Aunque los porcentajes del polímero utilizados en la fabricación de este ligante dependen mucho del tipo de polímero, de las informaciones aportadas por los fabricantes puede decirse que se encuentran, para todos los betunes BM2, en el intervalo del 3,5-7%.

Si bien fue utilizado en nuestro país con anterioridad al año 92,

TABLA 6. DOMINIO DE EMPLEO, SEGÚN LOS FABRICANTES, DE LOS DIFERENTES PRODUCTOS DE BETUNES MODIFICADOS

			DOMINIO DE EMPLEO										
EMPRESA	DURANTE SEGUN O.C. 322/97	N.C. LIGANTE MOD.	MAM	MTR	MCA	TSG	MDR	LEC	MAF	ABE	SAMI	GTX	RIA
PROAS-CEPSA	BM-1	NEWPLAST	X										
COMPOSÁN	BM-1	TELCOMAP D	X										
DITECPESA	BM-2	BOSIPLAST		X									
PROBISA	BM-2	REFORPLAST		X									
PROAS-CEPSA	BM-2	STYRELF 13/40		X	X		X						
COMPOSÁN-DISTRIBU.	BM-2	TELCOMAP		X									
CORVIAM	BM-2	CORVIAFLEX		X									
PROBISA	BM-3a	DRENOPLAST			X		X						
DITECPESA	BM-3a	ODREN-2					X						
BPOIL	BM-3a	OLEXOBT AD		X	X		X						
REPSOL	BM-3a	MODIFAL D					X						
PROAS-CEPSA	BM-3a	STYRELF 13/60		X	X		X						
COMPOSÁN-DISTRIBU.	BM-3a	TELCO B-65					X						
CORVIAM	BM-3a	CORVIAFLEX					X						
BPOIL	BM-3b	OLEXOBT MD		X	X		X						
PROBISA	BM-3b	PB 11.5) 60/70			X		X						
PROAS-CEPSA	BM-3b	STYRELF 14/60			X		X						
COMPOSÁN-DISTRIBU.	BM-3b	TELCO LASTIC B			X		X						
CORVIAM	BM-3b	CORVIAFLEX			X								
PROBISA	BM-3c	PB FLEX			X		X						
PROAS-CEPSA	BM-3c	STYRELF 15/60			X								
REPSOL	BM-3c	MODIFAL M			X								
COMPOSÁN-DISTRIBU.	BM-3c	TELCO LASTIC N			X								
COMPOSÁN-DISTRIBU.	BM-3c	TELCO LASTIC S		X									
CORVIAM	BM-3c	CORVIAFLEX			X								
PROBISA	BM-4	ELASTOPLAST								X			
PROAS-CEPSA	BM-4	STYRELF AAF								X		X	
REPSOL	BM-4	MODIFAL F								X			
COMPOSÁN-DISTRIBU.	BM-4	TELCO LASTIC A								X			
PROAS-CEPSA	BM-5	STYRELF M A.F. (BM-5)									X		
COMPOSÁN-DISTRIBU.	BM-5	TELCO LASTIC M									X	X	

MAM = Mezcla alto módulo
 MTR = Mezcla tradicional ($e > 4$ cm)
 MCA = Microaglomerados en caliente
 TSG = Tratamientos superficiales con gravilla
 MDR = Mezcla drenante
 LEC = Lechadas y microaglomerados en frío

MAF = Mezcla abierta en frío
 ABE = Arena-betún
 SAMI = Riego espeso (SAMI)
 GTX = Geotextil impregnado
 RIA = Riego de adherencia

casi exclusivamente en el campo de refuerzos de autopistas con cierto éxito (se tiene constancia de una obra de refuerzo ejecutada esencialmente en el carril lento en la

autopista A-6, con un consumo total cercano a las 700 t de betón modificado de este tipo), se mantiene en niveles de producción situados en el intervalo 500-700 t

durante los años 92 al 94, para experimentar en el año 95 un incremento extraordinario, consecuencia de la realización en este año de importantes obras de re-

fuerzo en carreteras de la Red estatal y de algunas comunidades autónomas, especialmente la autovía A-92 en la comunidad autónoma de Andalucía (ver figura 1), alcanzándose ese año las 26 000 t de producción. En los dos últimos años contemplados en la encuesta, la producción desciende de nuevo a 3 400 t y 1 400 t, respectivamente.

Verificando lo anterior, las cinco empresas fabricantes de productos comerciales encuadrados dentro del tipo BM-2 proponen como principal campo de aplicación de este tipo de betún modificado las mezclas tradicionales, aplicadas en espesores superiores a los 4 cm, o bien en nueva construcción o bien como capa de refuerzo (tabla 6). Alguna empresa amplía el campo de aplicación de su producto también a los microaglomerados en caliente y las mezclas drenantes.

5.3. Betunes tipo BM3

Son, con diferencia, los betunes modificados más utilizados en España (entre los tres subtipos, denominados BM3a, BM3b y BM3c, suman el 89% del total de la producción nacional de betunes modificados en el periodo 92-97). En la especificación se recogen tres subtipos diferentes, con penetraciones comprendidas entre 55 y 70, pero con diferentes grados de modificación, fundamentalmente en lo que se refiere a sus características elásticas y nivel de consistencia (medida con flotador a 60°C), existiendo igualmente diferencias entre los tipos a, b y c en lo que respecta a la ductilidad a 5°C, punto de reblandecimiento y fragilidad Fraass.

A) BM3a

Hasta el momento es el betún modificado más empleado en nuestro país. Se inició su fabricación a finales de los años 80 para la realización de algunas de las primeras obras con mezclas drenantes en España, estando ligada su evolución al desarrollo de las mismas (ver figura 2). El aumento de su producción anual ha sido constante (con la excepción del último año, ver figura 2), pasando de cerca de 27 000 t en el



año 92 a más de 41 000 en el año 96. Las más de 200 000 toneladas producidas en los últimos seis años representan el 54,6% de la producción total de betunes modificados en España en dicho periodo 92-97, lo que significa aproximadamente la construcción de 52 millones de metros cuadrados de mezcla drenante (más de 5 600 km de longitud de una carretera convencional de dos carriles, ver foto 2).

El betún tipo BM3a es fabricado por las empresas españolas que se relacionan a continuación (tabla 5), incluyendo los nombres comerciales de sus respectivos productos:

* BP: OLEXOBIT AD

* COMPOSAN DISTRIBU-

CIÓN: TELCO B-65

* CORVIAM: CORVIAFLEX

* DITECPESA: ODREN 2

* PROAS-CEPSA: STYRELF 13/60

* PROBISA: DRENOPLAST

* REPSOL: MODIFAL D

De la información recibida se desprende que en su fabricación queda eliminada la utilización de poliolefinas, utilizándose mayoritariamente los plastómeros termoplásticos del tipo EVA, empleándose por algunas firmas elastómeros del tipo SB, elastómeros termoplásticos SBS o mezclas de plastómeros y elastómeros.

En su fabricación los polímeros intervienen en dotaciones variables entre el 3 y el 6% según los tipos utilizados.



En la evolución de la producción del BM3a en los últimos seis años se puede apreciar un crecimiento anual continuo en el período 92-96, con un mantenimiento de la producción en el año 97 (40 000 t). Teniendo en cuenta el tiempo total contemplado en la encuesta el crecimiento anual, en valores medios, se estima en el entorno del 9%.

Recomendado por las empresas fabricantes y utilizado especialmente para la fabricación de mezclas drenantes (tabla 6 y foto 2), se ha empleado en ocasiones en otros tipos de aplicaciones, fundamentalmente en el campo de las mezclas bituminosas discontinuas en caliente en capas de pequeño espesor e, incluso, en la fabricación de mezclas densas resistentes a la deformación plástica para la pavimentación de carriles adicionales para circulación lenta.

B) BM3b

Betún modificado de penetración 50-70 que se diferencia del anterior (3a) por su mayor nivel de modificación, especialmente en lo que atañe a sus características elásticas, mayor consistencia y ductilidad a baja temperatura.

Es fabricado por las seis empresas siguientes (tabla 5):

- * BP: OLEXOBIT MD
- * COMPOSAN: DISTRIBUCIÓN; TELCOLASTIC B
- * CORVIAM: CORVIAFLEX
- * PROAS-CEPSA: STYRELF 14/60
- * PROBISA: PB (1,5) 60/70



Foto 3. Aspecto superficial de una mezcla discontinua para capa de rodadura de pequeño espesor (microaglomerado en caliente) fabricada empleando betún modificado

* REPSOL: MODIFAL I

Dadas las exigencias de la especificación en cuanto a la elasticidad se refiere, como agentes modificantes del betún se emplean casi de manera exclusiva elastómeros termoplásticos (SBS), aunque también son utilizados por algunas compañías elastómeros lineales del tipo SB o incluso mezclas de plastómeros EVA con elastómeros termoplásticos SBS.

Los porcentajes de polímero en estos tipos de betunes se encuentran en el intervalo entre el 3 y el 7%.

Su principal campo de aplicación, según la respuesta a la encuesta de los fabricantes (tabla 6), reside en la fabricación de mezclas discontinuas para capas de rodadura de pequeño espesor (foto 3); siendo igualmente utilizado en la fabricación de mezclas drenantes dotadas de una mayor flexibilidad; e incluso algunas empresas lo recomiendan para la fabricación de mezclas con buen comportamiento a fatiga.

Aunque su producción en los años 92-93 fue escasa (2 500-4 000 t) debido a que el tipo de betún mayoritariamente empleado en la fabricación de las mezclas discontinuas para capas de rodadura era el tipo BM3c, su empleo experimentó un desarrollo espectacular en los años 94-95 (12 000-13 000 t, multiplicando casi por 4 la producción de los años anteriores) en los que, dados los buenos comportamientos de las mezclas en capa fina fabricadas con BM3b, este ligante sustituyó al 3c en este tipo de aplicaciones (ver figura 3). En los años 96 y 97 este hecho se confirma, volviendo a aumentar la producción a niveles de 19 000-20 000 t, lo que significa un 50% de aumento respecto al periodo anterior.



C) BM3c

Betún modificado que, como los dos anteriores, presenta un rango de penetración entre 50 y 70 décimas de milímetro, diferenciándose de ellos en su mayor grado de modificación tanto a nivel de elasticidad como por su superior consistencia, fragilidad Fras y ductilidad a bajas temperaturas.

Para conseguir este grado de modificación los polímeros empleados por los fabricantes españoles de este tipo de ligante son exclusivamente elastómeros termoplásticos del tipo SBS, aunque alguna empresa emplea elastómeros lineales del tipo SB.

Los nombres comerciales de estos tipos de betunes y las firmas españolas que los fabricaron en el periodo de la encuesta (tabla 5) son los siguientes:

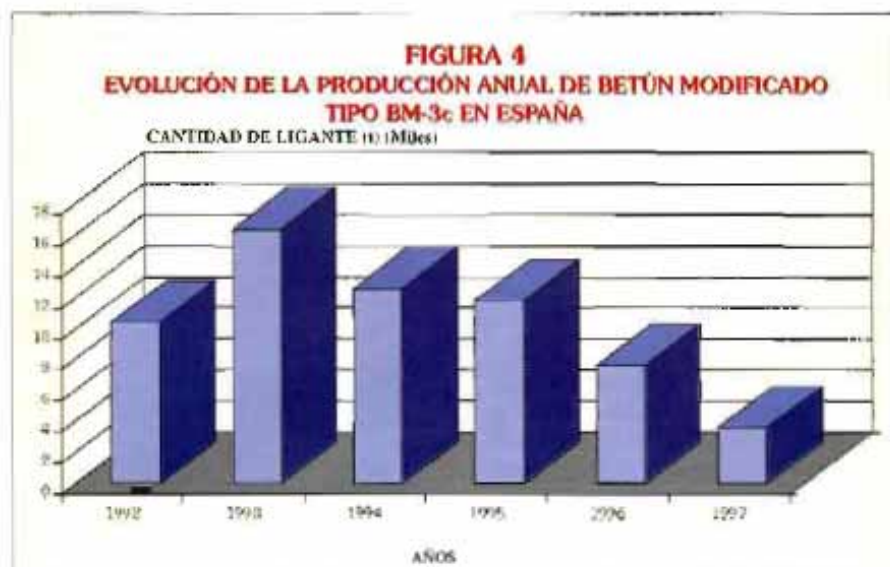
- * COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN: TELCOLASTIC N y TELCOLASTIC S
- * CORVIAM: CORVIAFLEX
- * PROAS-CEPSA: STYRELF 15/60
- * PROBISA: PB FLEX
- * REPSOL: MODIFAL M

Sin producción hasta el momento se encuentra en el mercado el producto denominado OLEXOBIT MF de la casa BP.

Los porcentajes de polímeros utilizados oscilan dentro del margen 3-7%, aunque es fácil suponer que en este tipo de betún la dosificación de polímero se encuentra en la parte alta del citado margen, especialmente en aquellos ligantes muy modificados con muy elevados módulos elásticos, necesarios para fabricar mezclas con una elevada resistencia a tracción y a rotura por fatiga.

El campo de aplicación al que adscriben las empresas fabricante sus productos comerciales (tabla 6) son esencialmente los microaglomerados discontinuos en caliente (ver fotos 4 y 5), aunque alguna sociedad los recomienda, asimismo, para su empleo en mezclas drenantes.

Con su utilización se pretende mejorar sustancialmente, al mismo tiempo, la resistencia a tracción y a fatiga de las mezclas en las que, por su superior módulo elástico, se



recomienda su utilización en aquellas obras que requieran un material especialmente flexible.

Aunque durante los años 92 y 93 su nivel de producción aumenta de 11 000 t a 16 000 t (ver figura 4), a partir del año 94 se produce un descenso continuado hasta alcanzar una magnitud de 3 000 t en el año 97. Este descenso se explica no por una disminución del mercado de los micros discontinuos, sino que, como ya se ha dicho anteriormente, en este campo se vio sustituido por el BM3b, ligante con buenas

prestaciones y más barato: por lo que el uso del BM3c quedó principalmente restringido y limitado a la fabricación de mezclas especialmente flexibles.

5.4. Betunes tipo BM4

A diferencia de los ligantes anteriores, el betún modificado tipo BM4 se caracteriza por su relativamente elevada penetración y recuperación elástica, así como por su superior ductilidad y relativa deformación a bajas temperaturas: características éstas que hacen que este ligante sea apropiado para su utilización en la fa-



Foto 4. Vista general de un microaglomerado discontinuo en caliente empleado en autopista y fabricado con betún BM-3c.

bricación de membranas de absorción de tensiones entre capas del tipo arena-betún para evitar la reflexión de fisuras de retracción; e incluso en la fabricación de mezclas densas para la ejecución de capas intermedias con elevada dotación de ligante.

Los resultados de la encuesta corroboran lo anterior, puesto que todas las empresas fabricantes señalan las capas de arena-betún como el principal campo de aplicación de sus productos (tabla 6), aunque alguna de ellas lo recomienda también para su utilización en geotextiles impregnados, y alguna otra como riego sin áridos en forma de membrana SAMI.

Los cuatro productos existentes en el mercado son fabricados por las siguientes empresas (tabla 5):

- * COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN; TELCOLASTIC A
- * PROAS-CEPSA; A.A.F.
- * PROBISA; ELASTOPLAST
- * REPSOL; MODIFAL E

Asimismo en el mercado existe, sin producción hasta el momento y de la empresa BP, el OLEXOBIT AB.

Como agentes modificadores, según las respuestas recibidas a la encuesta, se utilizan exclusivamente polímeros elastoméricos del tipo SB o elastómeros termoplásticos SBS, con dotaciones elevadas siempre en el entorno del 4 al 7%, para conferirle al ligante resultante la elevada elasticidad y flexibilidad deseada.



Foto 5. Aspecto general de un microaglomerado discontinuo en caliente utilizado como pavimento en una zona urbana de Madrid.

La evolución del mercado del BM4 en los últimos seis años en nuestro país ha sido la presentada en la figura 5. Como se aprecia en esta figura, y con la excepción de las puntas registradas en los años 93 y 96, el mercado de este tipo de ligante ha sido bajo, oscilando la producción en el entorno de las 100-500 t/año que sirvieron los primeros años para analizar el comportamiento de las membranas antifisuras del tipo arena-betún, como posible solución a los problemas de fisuración por retracción de los fir-

mes tratados con conglomerantes hidráulicos, bien en forma de capas de base (gravas-cemento) o en forma de hormigones compactados.

El aceptable comportamiento de este tipo de técnica, unido a una campaña importante de conservación en carreteras de la Red del Estado y de las Comunidades Autónomas explican el desarrollo espectacular de este ligante en los años 93 y 96, en los que la cifra de producción, según los resultados obtenidos en la encuesta, alcanza las 2 200 t y 3 600 t, respectivamente. El año 97, último recogido en la encuesta, no tiene continuidad respecto a la punta anterior, y la producción desciende de nuevo a un nivel de 500 t.

5.5. Betunes tipo BM5

Se trata del betún modificado de más elevada penetración, menor punto de reblandecimiento, superior ductilidad y resistencia a la fragilidad de todos los betunes modificados especificados en nuestro país.

Es fabricado únicamente por dos firmas (tabla 5), COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN que lo comercializa con el nombre de TELCOLASTIC M, y PROAS-CEPSA, que lo produce con la denominación M.A.F.

FIGURA 5
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE BETÚN MODIFICADO
TIPO BM-4 EN ESPAÑA

CANTIDAD DE LIGANTE (t) (Miles)

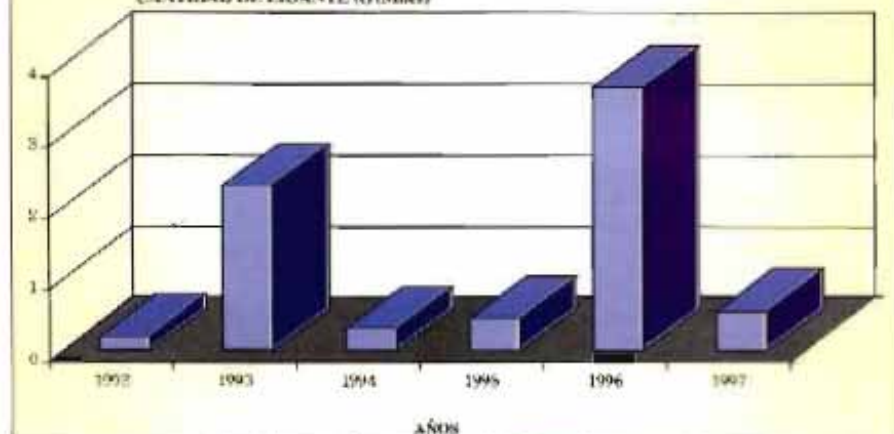
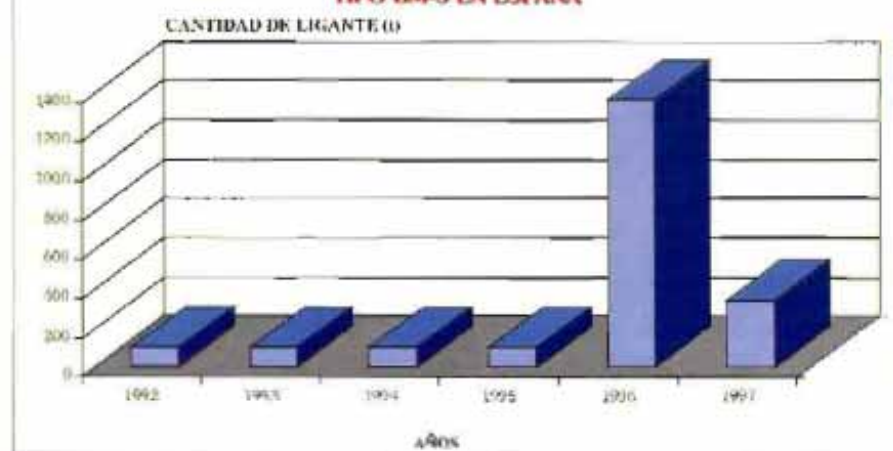


FIGURA 6
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE BETÚN MODIFICADO
TIPO BM-5 EN ESPAÑA



Según las respuestas de las diversas empresas que han colaborado en la encuesta, existe un tercer producto también encuadrado en esta tipología, pero sin producción: MODIFAL R de REP-SOL.

En la fabricación de este tipo de ligante modificado se utilizan como agentes modificadores elastómeros termoplásticos, mayoritariamente del tipo SBS, en porcentaje superior al 4% sobre el ligante.

Dadas sus características, es el ligante apropiado para la ejecución de tratamientos superficiales mediante riegos con gravillas en forma de membranas destinadas a prevenir la aparición de fisuras en obras de nueva construcción o sobre zonas ya fisuradas, tratamientos que pueden ser bien del tipo SAMI, en forma de membrana intercapa, o del tipo SAM, generalmente bicapa, en el que el tratamiento queda visto sobre la carretera (ver tabla 6).

La evolución del mercado (ver figura 6) demuestra un pequeño nivel de producción en los primeros cuatro años, seguido de una subida espectacular en el año 96, similar a la que tuvo lugar con el BM4, que se explica igualmente por la fuerte campaña de tratamientos antifisuras realizadas principalmente en la Autopista Vascoaragonesa durante ese año. La cifra alcanzada este último año son 1 300 toneladas, que multiplica por 13 las cantidades producidas

los años anteriores. En el 97 la producción desciende a 300 t.

5.6. Evolución de las producciones anuales

En la figura 7 se refleja la evolución de la producción total de betunes modificados en España en el periodo de estudio (92-97), donde puede apreciarse un crecimiento paulatino en la utilización de dichos ligantes, aunque con un ligero descenso en los años 96 y 97.

De las 41 400 t producidas en 1992 se pasó a 52 000 t en el 93, lo que representa un crecimiento del 26%, y a 58 600 t en el 94 con una subida del 13%. En 1995 se experimentó un crecimiento espectacular del 50%, consiguiéndose una producción de 88 100 t, para caer

La espectacular subida experimentada en el año 95 tiene su explicación en las importantes obras de refuerzo realizadas en diversas carreteras autonómicas

ligeramente (-13%) en el 96, que concluyó con una cifra total de 76 700 t, y descender de nuevo en el 97 (-16%), año en el que se producen 64 200 t.

Este crecimiento anual generalizado es fácil de explicar si se tienen en cuenta no sólo los buenos comportamientos de los tramos experimentales y obras realizadas en años anteriores con estos tipos de ligantes, lo que incitaba a seguir utilizándolos; sino también que están en sintonía con la evolución que en este periodo de tiempo se produce en Europa de apertura hacia ligantes con mejores características mecánicas y reológicas que los betunes tradicionales, ante las cada vez mayores exigencias que el incremento y agresividad del tráfico impone, así como a la aparición de campos de aplicación desconocidos o muy poco utilizados hasta entonces, como son las membranas antifisuras, las capas de rodadura delgadas o muy del-

FIGURA 7
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE BETÚN MODIFICADO
EN ESPAÑA (TOTAL)

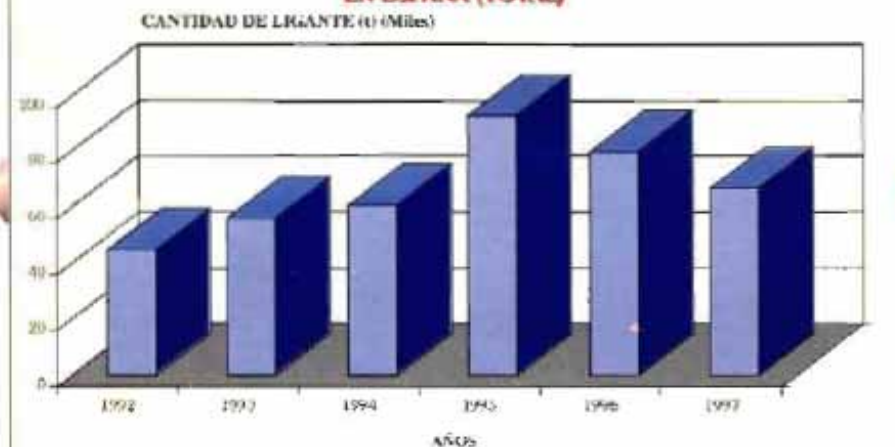
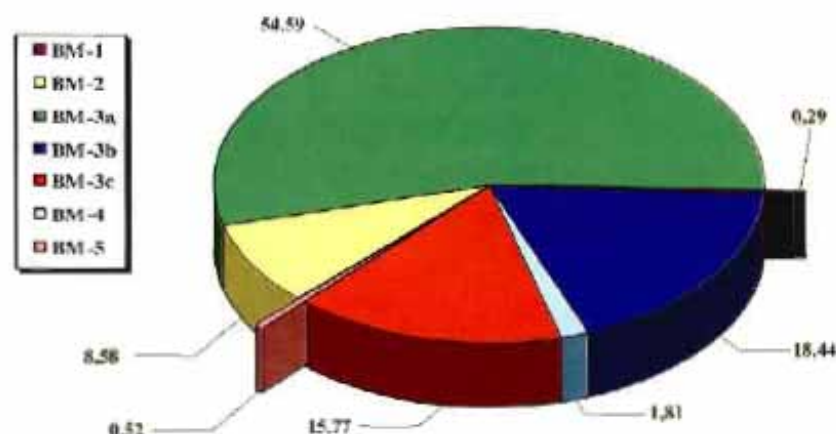


FIGURA 8
DISTRIBUCIÓN (EN PORCENTAJE) DE LA PRODUCCIÓN DE BETUNES MODIFICADOS POR TIPOS (TOTAL AÑOS 92-97)



gadas a base de mezclas bituminosas discontinuas, etc.

La espectacular subida experimentada en el año 95 tiene su explicación en las importantes obras de refuerzo realizadas en diversas carreteras autonómicas, donde fueron utilizadas algo más de 26 000 t de BM2; mientras que en años anteriores la pro-

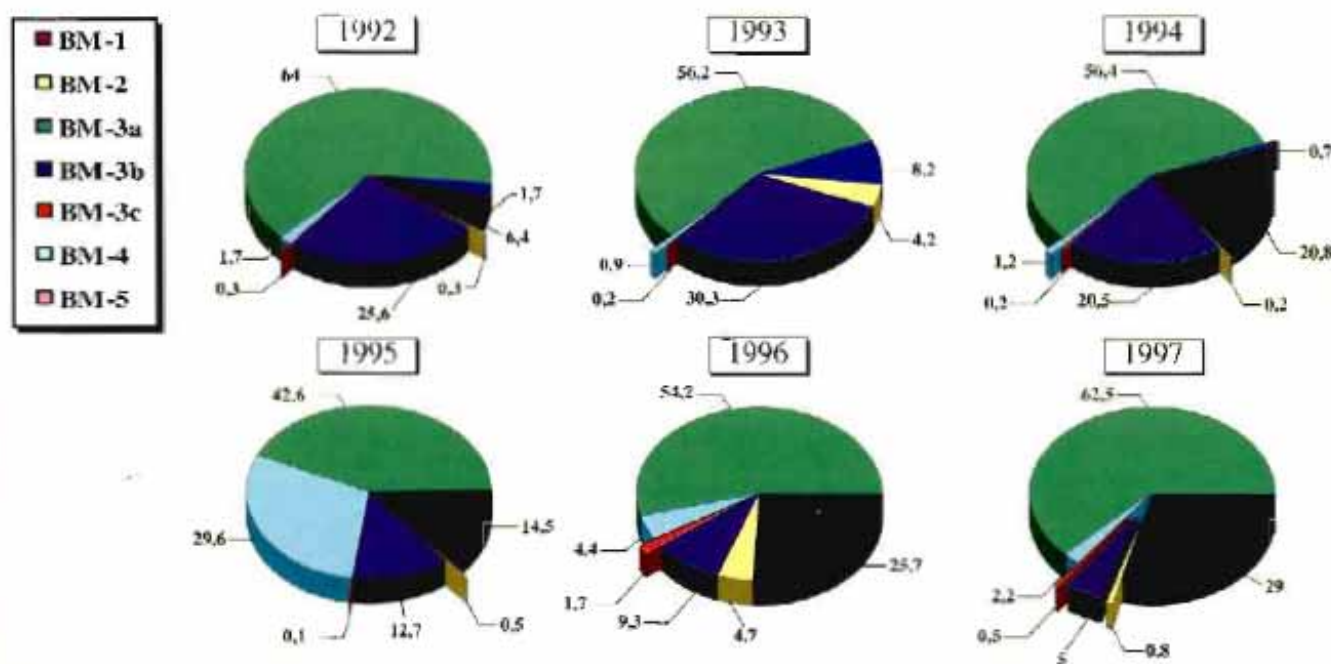
ducción de este ligante había sido bastante modesta, sin llegar, en el mejor de los casos, a las 1 000 t producidas.

La ligera caída del año 96 no debe interpretarse como un paso atrás en la tecnología de estos tipos de ligantes; antes al contrario, a pesar de la recesión de la obra pública, consecuencia de los

condicionamientos políticos y económicos particulares de este año, la producción se mantuvo a un nivel muy aceptable (casi 77 000 t) apreciándose únicamente una importante bajada en la producción del betún BM2 (pasa de las 26 000 t citadas a 3 400 t), casi neutralizada por subidas generalizadas en el resto de los tipos de betunes, especialmente de los tipos BM3, con mucho los betunes modificados más utilizados en nuestro país, que aumentan, entre los tres, de 61 600 t en el año 95 a 68 500 t en el 96 (crecimiento del 11%).

El origen del descenso en la cifra de producción alcanzada en el año 97 es diferente, y en este caso se centra en la disminución de los presupuestos dedicados por las Administraciones públicas a las carreteras; lo que ha tenido como consecuencia un descenso general en la obra pública realizada, y también en el consumo de ligantes modificados. La suma de los betunes tipo BM3, por ejemplo, pasa a 62 000 t (reduciéndose la magnitud producida en cada uno de los tres tipos), con

FIGURA 9
DISTRIBUCIÓN (EN PORCENTAJE) DE LA PRODUCCIÓN DE BETUNES MODIFICADOS POR TIPOS



una reducción del 10% respecto del año anterior. El descenso se produce en todos los tipos.

Como era de esperar, y dado el importante desarrollo de las mezclas drenantes en España, tecnología en la que nuestro país es líder europeo, de los 7 tipos de ligante analizados, el betún modificado BM3a es el más utilizado, con una cuota de producción en el periodo 92-97 próxima al 55% del total (ver figura 8); seguido por los tipos 3b y 3c con un nivel conjunto del 34%. El betún modificado BM1 aparece como el menos utilizado, con una cuota de producción del 0,3%, dato que parece lógico dado el poco desarrollo de las bases de alto módulo, así como el relativo elevado precio de este ligante en comparación con los betunes duros utilizados también en esta tecnología (figura 8).

En la figura 9 se puede observar la distribución porcentual en las producciones de betunes modificados por tipos y años, llamando la atención la evolución de la producción de los betunes modificados tipo 3.

Mientras que en cada uno de

los años que configuran este periodo el BM3a es el de mayor producción, con unos porcentajes que fluctúan entre 64% (año 92) y el 54% (año 96, ya que el dato del 95 que es el más reducido está claramente influido por la producción extraordinaria ese año del BM2), se observa un cambio de tendencia en lo que respecta a la producción de los tipos 3b y 3c.

En efecto, el betún BM3c, que en los años 92 y 93 era el segundo de mayor producción, con una cuota del 26-30% del mercado, ve disminuida progresivamente su participación hasta alcanzar el 9% en el 96 y el 5% en el 97, descendiendo hasta el tercer lugar en la clasificación por tipos. En forma paralela, la cuota de producción del BM3b, que parte del tercer lugar en los años 92 y 93 con

Dado el importante desarrollo de las mezclas drenantes en España, tecnología en la que nuestro país es líder europeo, de los 7 tipos de ligante analizados, el betún modificado BM3a es el más utilizado

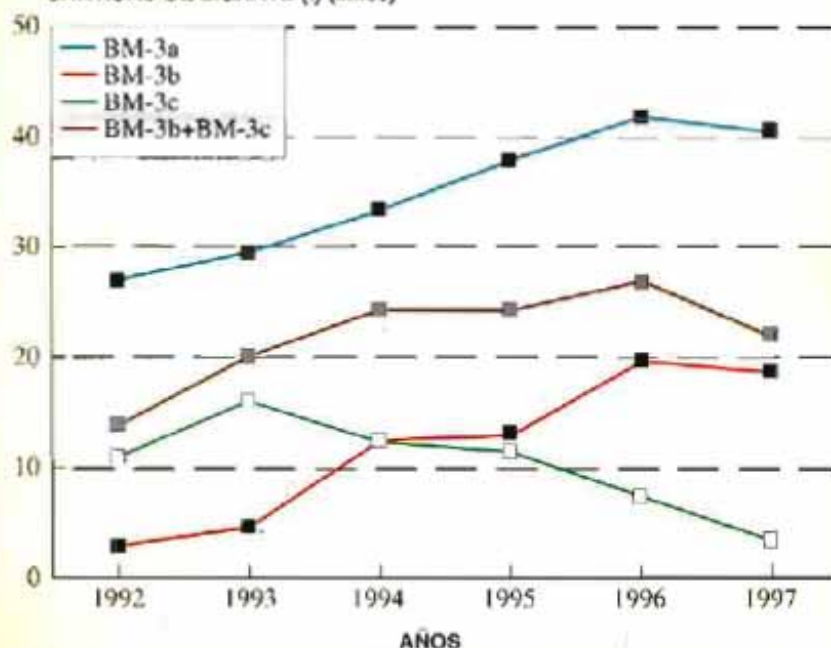
unos porcentajes del 6-8%, crece en forma continuada posteriormente hasta alcanzar el 26% en el 96 y el 29% en el 97, colocándose claramente en el segundo lugar. Es decir, se produce un intercambio de posiciones y de cuota de participación en el mercado entre el 3b y el 3c.

Este mismo hecho se aprecia si se analiza la evolución anual de los tres tipos referidos (ver figura 10). La producción del BM3a crece en forma continua, con un ligero descenso el año 97 (descenso que afecta a todos los tipos, producido por el decrecimiento de la inversión). Idéntica tendencia sigue el BM3b, cuya producción aumenta desde las 2 700 t del año 93 hasta las 19 700 t del 96. Sin embargo el betún BM3c alcanza su máximo el año 93 (15 800 t), para experimentar posteriormente un decrecimiento continuado (hasta las 3 200 t del 97). Si se suman las cantidades anuales de los tipos 3b y 3c (ver figura 10), la producción conjunta crece en forma continuada desde las 13 300 t del 92 hasta las 26 900 t del 96, con un descenso en el 97 hasta las 21 900 t.

Como el principal campo de aplicación de ambos tipos son los microaglomerados discontinuos en capas de rodadura de pequeño espesor, se deduce el fuerte incremento experimentado en estos años del empleo de este tipo de tratamiento (en cuatro años la producción conjunta se duplica, lo que significa un incremento anual medio del 27%). Se deduce también que el tipo 3c es progresivamente sustituido en este campo de aplicación por el tipo 3b, con similares prestaciones, pero más económico; quedando reducido el tipo 3c a la fabricación de mezclas que requieren una elevada flexibilidad y un excelente comportamiento a fatiga. La sustitu-

FIGURA 10
COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL
DE BETUNES MODIFICADOS TIPO BM-3

CANTIDAD DE LIGANTE (t) (Miles)



ción comienza a partir del año 93; en los años 94 y 95 las cantidades de ambos tipos son similares y se produce una cierta estabilización del fenómeno; y a partir del 96 la tendencia se acelera.

En la figura 11 se presenta la evolución en el periodo considerado de la relación existente entre la cantidad total de betún modificado producida anualmente en España y la cantidad total de betún de penetración (sin incluir el utilizado para fabricar emulsiones) utilizada cada año en carreteras. En el mismo periodo este último valor aumenta entre 1993 y 1995, para disminuir el año 96 y 97, y sin embargo la relación modificado/puro, expresada en porcentaje, aumenta ininterrumpidamente del 5,1% en el año 93 hasta el 8,4% en el 96; de lo que se deduce que el betún modificado no sólo se utiliza cada vez más, sino también que su crecimiento es mayor que el experimentado por el betún de penetración tradicional, y por lo tanto su empleo se realiza en sustitución de este último (si bien es cierto que las cantidades totales empleadas por ambos tipos son muy diferentes).

El año 96, en el que por la menor inversión pública en carreteras hay un descenso en la producción total del betún de penetración, es sintomático en este sentido: ya que la cantidad total de betún modificado también disminuye (figura 7) y, sin embargo, aumenta la relación entre ambas magnitudes.

En el año 97 la tendencia parece en parte invertirse, con una ligera disminución del porcentaje modificado/puro, seguramente debida a la nueva restricción de la inversión pública en infraestructuras: lo que confirma lo expresado en los párrafos anteriores.

En el mercado de los betunes modificados participan actualmente siete empresas (BP, COMPOSAN DISTRIBUCIÓN, CORVIAM, DITECPESA, PROAS-CEPSA, PROBISA y REPSOL), de las cuales REPSOL y COMPOSAN recientemente se han unido formando un gran grupo productor. Este grupo representa la mitad de la producción acu-

FIGURA 11
EVOLUCIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LAS PRODUCCIONES ANUALES DE BETÚN MODIFICADO Y SIN MODIFICAR EN ESPAÑA

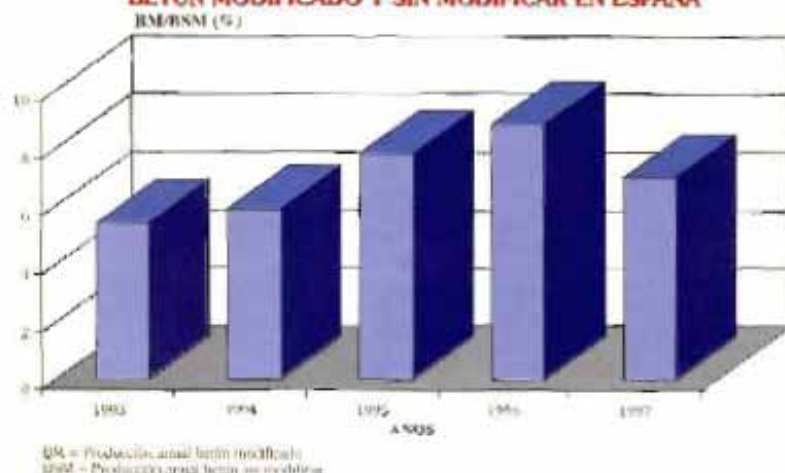


TABLA 7. RELACIÓN DE EMULSIONES MODIFICADAS PRODUCIDAS EN ESPAÑA EN LOS ÚLTIMOS SEIS AÑOS.

EMPRESA	D.EMULSIÓN SEGÚN O.C. 322/97	N.C. EMULSIÓN MOD.
COMPOSAN-DISTRIBUCIÓN	ECR-1-m	—
REPSOL	ECR-1-m	—
PROAS-CEPSA	ECR-1-m	LASTIREM CR-1
PROBISA	ECR-1-m	PROBIMUL CR
PAVASAL	ECR-1-m	—
CORVIAM	ECR-1-m	—
PROBISA	ECR-2-m	PROBIMUL CR
PAVASAL	ECR-2-m	—
REPSOL	ECR-2-m	—
COMPOSAN-DISTRIBUCIÓN	ECR-2-m	—
CORVIAM	ECR-2-m	—
PAVASAL	ECR-3-m	—
REPSOL	ECR-3-m	—
COMPOSAN-DISTRIBUCIÓN	ECR-3-m	Telcollex y Telcostar-R (*)
PROAS-CEPSA	ECR-3-m	LASTIREM CR-3/ESR 2005 (*)
PROBISA	ECR-3-m	PROBIMUL CR
PANASFALTO	ECR-3-m	AUTIFLEX
CORVIAM	ECR-3-m	—
PROBISA	ECM-m	PROBIMUL CM
PAVASAL	ECM-m	—
COMPOSAN-DISTRIBUCIÓN	ECM-m	Emulflex y Telcostar-M (*)
PANASFALTO	ECM-m	—
PROAS-CEPSA	ECM-m	LASTIREM CM
CORVIAM	ECM-m	—
COMPOSAN-DISTRIBUCIÓN	EAM-m	Autiflex y Telcostar-M (*)
PROBISA	ECL-2-m	PROBIMUL CL
COMPOSAN-DISTRIBUCIÓN	ECL-2-m	Nucosol y Telcostar-L (*)
PROAS-CEPSA	ECL-2-m	LASTIREM CL y ESL (*)
PANASFALTO	ECL-2-m	ROUTOSEAL
CORVIAM	ECL-2-m	—

(*) La primera de tipo bitásico y la segunda, monofásico.

TABLA 8. DOMINIO DE EMPLEO, SEGÚN LOS FABRICANTES, DE LOS DIFERENTES PRODUCTOS DE EMULSIONES MODIFICADOS

			DOMINIO DE EMPLEO										
EMPRESA	D.IGANTE SEGUN O.C. 322/97	NOMBRE COMERCIAL	MAM	MTR	MCA	TSG	MDR	LEC	MAF	ABE	SAMI	GTX	RIA
PROAS-CEPSA	ECL-2 m	ESL y KASTUREM CL						X					
PROBISA	ECL-2 m	PROBIMUL CL						X					
PANASFALTO	ECL-2 m	ROXTOSEAL						X					
COMPOSAN-DISTRIBU.	ECI-2 m	NEOSEAL y TELCOSTAR L						X					
CORVIAM	ECI-2 m							X					
PAVASAL	ECM-m								X				
PROBISA	ECM-m	PROBIMUL CM							X				
COMPOSAN-DISTRIBU.	ECM-m	EMULFLEX y TELCOSTAR M					X		X				
CORVIAM	ECM-m								X				
COMPOSAN-DISTRIBU.	EAM-m	ANFLEX y TELCOSTAR M					X		X				
PAVASAL	ECR-1 m												X
CORVIAM	ECR-1 m												X
COMPOSAN-DISTRIBU.	ECR-1 m												X
PROBISA	ECR-2 m	PROBIMUL CR				X							X
PAVASAL	ECR-2 m					X							X
COMPOSAN-DISTRIBU.	ECR-2 m					X							
CORVIAM	ECR-2 m					X							
PROAS-CEPSA	ECR-3 m	ESR-205 y LASTIMER CR-3				X							
PAVASAL	ECR-3 m					X							
COMPOSAN-DISTRIBU.	ECR-3 m	TELCOFLEX y TELCOSTAR R				X							
PANASFALTO	ECR-3 m	ACTIFLEX				X							
CORVIAM	ECR-3 m					X							

MAM = Mezcla alto módulo

MTR = Mezcla tradicional ($e > 4$ cm)

MCA = Microaglomerados en caliente

TSG = Tratamientos superficiales con gravilla

MDR = Mezclas drenante

MAF = Mezcla abierta en frío

ABE = Arena-betón

SAMI = Riego grueso antifisura

GTX = Geotextil impregnado

RIA = Riego de adherencia

mulada en el periodo recogido en la encuesta, absorbiendo la siguiente empresa la cuarta parte del total. Ninguna de las cuatro empresas restantes sobrepasa la décima parte de la producción total del periodo; si bien hay que destacar que dos de ellas se han incorporado al mercado en 1994.

6. Resultados de la encuesta sobre las emulsiones modificadas

Todos los fabricantes de emulsiones respondieron a la encuesta.

ta contestando de manera detallada al cuestionario enviado.

La tabla 7 recoge las empresas españolas junto a los nombres comerciales de las emulsiones modificadas por ellas fabricadas (se ha dejado en blanco si no existe denominación comercial, lo que sucede en numerosos casos en las emulsiones).

6.1. Emulsiones tipo ECR-1-m

Son emulsiones catiónicas de rotura rápida, caracterizadas por poseer un contenido mínimo en betón residual del 57%, el menor de entre las de este tipo recogidas en la actual normativa. Presentan

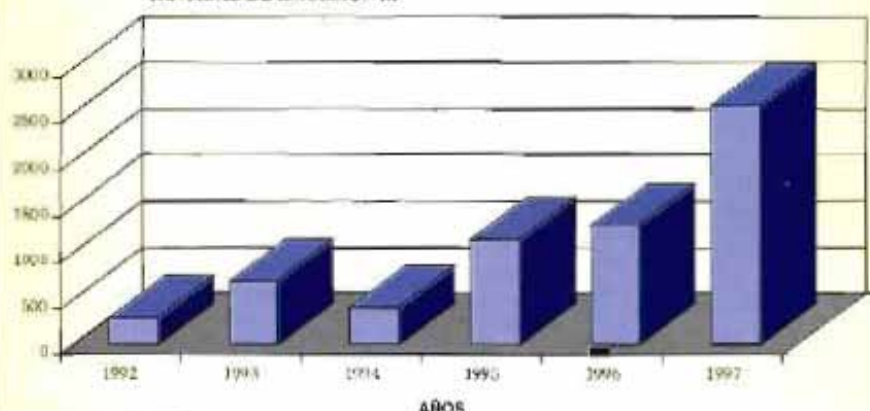
por tanto una baja viscosidad para facilitar su manejabilidad y su correcta pulverización, características importantes en su utilización.

Las empresas españolas que fabrican este tipo de emulsiones modificadas con sus nombres comerciales son las siguientes (tabla 7):

- * COMPOSAN-DISTRIBUCIÓN (sin denominación comercial)
- * CORVIAM (sin denominación comercial)
- * PAVASAL (sin denominación comercial)
- * PROAS-CEPSA: LASTIMER CR-1

FIGURA 12
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE EMULSIÓN MODIFICADA
DE TIPO ECR-1-m EN ESPAÑA

CANTIDAD DE EMULSIÓN (t)



- * PROBISA: PROBIMUL CR
- * REPSOL (sin denominación comercial)

Los agentes modificadores utilizados por las empresas fabricantes son muy variados: predominan los látices, generalmente catiónicos del tipo SBR, aunque alguna empresa afirma partir de betunes modificados previamente con elastómeros termoplásticos SBS o SB.

Los polímeros son utilizados en proporciones que oscilan entre el 2 y 3% sobre el betún residual.

Por su relativo bajo contenido en ligante, baja viscosidad y rápida rotura, es la emulsión indicada para la realización de riegos de adherencia, y así lo indican los

resultados de la encuesta (ver tabla 8, con el dominio de empleo indicado por los fabricantes), sobre todo en capas de rodadura especialmente solicitadas por el tráfico, como las mezclas drenantes o microaglomerados en caliente en capas delgadas, donde el papel del riego de adherencia es fundamental al ser muy elevado el esfuerzo cortante ejercido por los neumáticos a nivel de esta interfaz.

Dado el contenido en huecos de estas mezclas, el riego de adherencia con emulsiones ECR-1-m debe contribuir a la impermeabilización del soporte, razón por la que se suele aumentar la dosificación sin que esto lleve consigo problemas de comportamiento.

Por lo que respecta a la evolución de su producción, de la respuesta recibida por los fabricantes se aprecian bajas producciones en los años 92-94 (300-600 t), multiplicándose por dos en los años 95-96 (1 000-1 300 t), y duplicándose de nuevo en el año 97 en el que la producción superó las 2 500 t (figura 12). Esta cifra multiplica casi por cuatro la media de los cinco años anteriores, y representa el 41% del total producido entre los seis.

La explicación de esta importante subida está en línea con el incremento experimentado en el campo de los microaglomerados discontinuos en capas delgadas: pues, aunque en la actual normativa se recomienda la utilización de emulsiones ECR-2-m o incluso ECR-3-m en riegos de adherencia, cada vez se utiliza más la ECR-1-m por su menor precio, mejor manejabilidad sin riesgos de problemas de pulverización y su excelente comportamiento.

6.2. Emulsiones tipo ECR-2-m

Emulsión catiónica modificada con contenido en ligante intermedio entre la ECR-1-m y la ECR-3-m e igualmente de rotura rápida. Su superior contenido en ligante y, por tanto mayor viscosidad, la hace ser más apropiada que la ECR-1-m para la realización de tratamientos superficiales con gravillas.

En su mayor parte se trata de emulsiones bifásicas, en las que el polímero utilizado es el látex, generalmente del tipo SBR; aunque en los últimos años algunas de las firmas fabricantes afirma producirlas a partir de betunes modificados previamente con elastómeros termoplásticos.

El contenido en polímero se encuentra situado en el entorno del 2 al 4% sobre el betún residual.

Este tipo es fabricado por la práctica totalidad de las empresas españolas productoras de emulsiones, a saber (tabla 7):

- * COMPOSAN DISTRIBUCIÓN (sin denominación comercial)
- * CORVIAM (sin denominación comercial)
- * PAVASAL (sin denominación)

FIGURA 13
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE EMULSIÓN MODIFICADA
DE TIPO ECR-2-m EN ESPAÑA

CANTIDAD DE EMULSIÓN (t) (Miles)

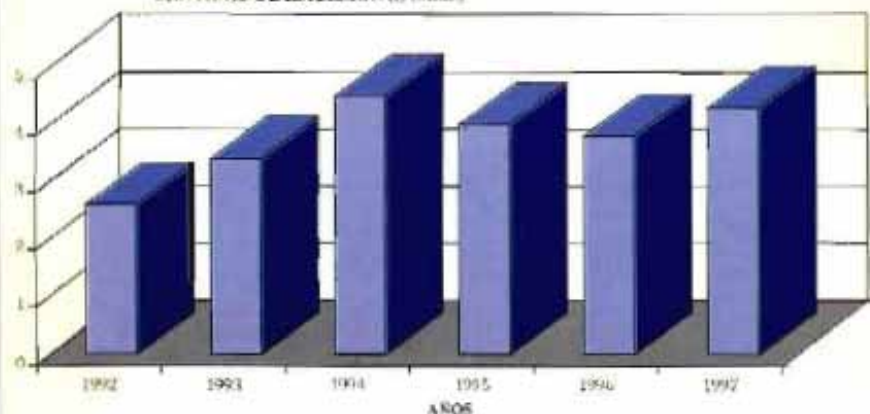




Foto 6. Ejecución de un tratamiento superficial con grava empleando emulsión modificada tipo ECR-3-m.

comercial)

* PROBISA: PROBIMUL CR

* PROAS-CEPSA: LASTIREM CR-2

* REPSOL (sin denominación comercial)

Su rápida rotura, su mayor contenido en ligante y viscosidad, unido a las excelentes características de su ligante residual en lo que se refiere a su cohesividad y elasticidad, hace que sea empleada en la realización de tratamientos superficiales (bicapa, sandwich o multicapas) en operaciones de conservación de carreteras de media intensidad de tráfico; así como en riegos de adherencia para capas de rodadura delgadas (ver tabla 8).

La evolución de la producción de este tipo de emulsiones se refleja en la figura 13. Puede observarse que la tendencia en general es creciente. Se pasa de las 2 500 t en 1992 a 3 200 t en 1993, para subir un 30% en 1994, año en el que se alcanzan las 4 200 t. En los años 95 y 96 la producción decrece ligeramente (3 600-4 000 t) para experimentar de nuevo una subida en 1997 en la que se fabricaron nuevamente 4 200 t, con un aumento porcentual del 16% respecto del año anterior.

Esta subida puede estar relacionada con el importante desarrollo de las capas de rodadura de pequeño espesor en carreteras de tráfico importante, para las que se

exigen emulsiones modificadas para riegos de adherencia, campo en donde la emulsión ECR-2-m compite con la ECR-1-m.

6.3. Emulsiones ECR-3-m

Emulsión catiónica modificada de rotura rápida, de alto contenido en ligante (superior al 67%) y de muy elevada viscosidad. De las tres emulsiones de este tipo, es la que presenta un mayor nivel de modificación, lo que la hace ser idónea para la realización de tratamientos superficiales con grava en todo tipo de carreteras, tanto en trabajos de conservación como incluso en obras de nueva construcción (ver fotos 6 y 7).

En el periodo de la encuesta esta emulsión ha sido fabricada,

y con los nombres comerciales adjuntos, por las empresas españolas que se nombran a continuación (tabla 7):

* COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN: con dos productos, TELCOFLEX y TELCOSTAR-R

* CORVIAM (sin denominación comercial)

* PANASFALTO: ACTIFLEX

* PAVASAL (sin denominación comercial)

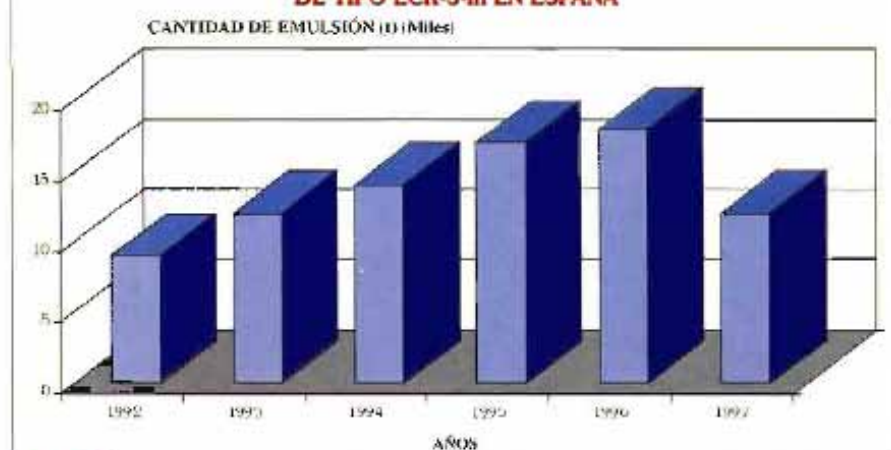
* PROAS-CEPSA: comercializa asimismo dos emulsiones denominadas LASTIREM CR3 y ESR 205

* PROBISA: PROBIMUL CR

* REPSOL (sin denominación comercial)

Son emulsiones, bien monofá-

FIGURA 14
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE EMULSIÓN MODIFICADA DE TIPO ECR-3-m EN ESPAÑA



sicas a partir de betunes previamente modificados con elastómeros termoplásticos de los tipos SBS, SB o EVA, bien en forma de emulsiones bifásicas para las que se emplean látices generalmente catiónicos del tipo SBR.

Los contenidos en polímero suelen ser algo más altos que en el tipo anterior, oscilando en el entorno del 3 al 5% sobre el betún residual.

Dadas las excelentes características reológicas del ligante residual, especialmente su cohesividad y elasticidad, unido a su elevada viscosidad y rápida velocidad de rotura, son emulsiones especialmente recomendadas por los fabricantes (tabla 8) para la realización de tratamientos superficiales en forma de tratamientos monocapa o bicapa en carreteras de tráfico importante, o incluso en la realización de riegos *sandwich* para la restauración de las características superficiales en carreteras heterogéneas o con problemas de exudación.

Es emulsión recomendada igualmente para la ejecución de tratamientos antifisuras en forma de membrana SAMI, asociada



Foto 7. Aspecto final de un tratamiento superficial con gravilla fabricado con emulsión modificada ECR-3m

con geotextiles (membranas a base de geotextil impregnado: ver foto 8) para impedir o ralentizar el remonte de fisuras.

En la figura 14 se resume la evolución de la producción de este tipo de emulsión en los últimos 6 años. En los cinco primeros se

observa un crecimiento continuo anual que pasa de 8 800 t en el año 92 a 16 900 t en el '95 (incremento del 90% en cuatro años), para con posterioridad decaer en el año '97 (11 100 t).

Este hecho puede justificarse por una disminución en la utilización de la técnica de los tratamientos superficiales de alta calidad en los trabajos de conservación en el último año, pero no sólo por eso.

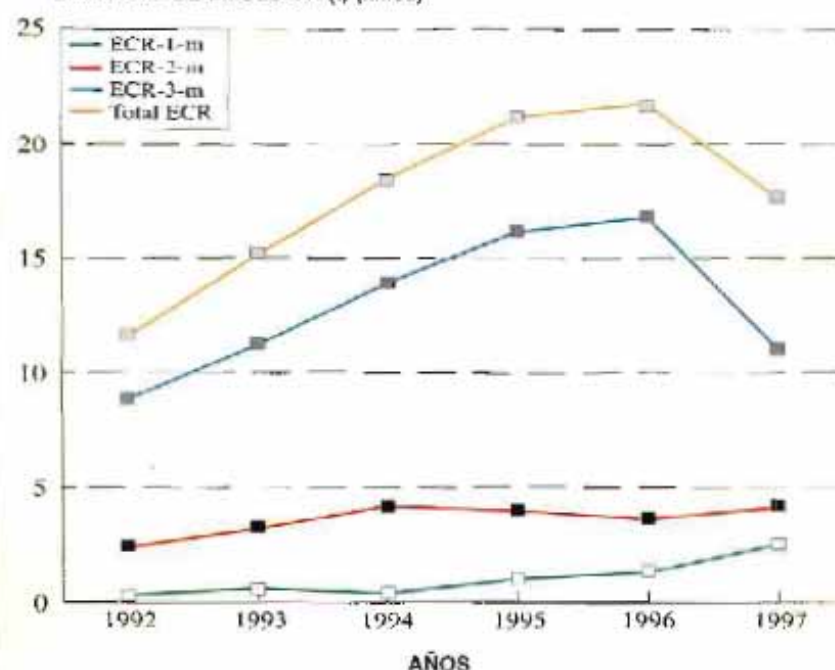
En la figura 15 se presenta en forma conjunta la evolución de la producción anual de los tres tipos de emulsiones de rotura rápida. La producción total de emulsiones modificadas para riegos (suma de los tres tipos) es creciente. De las 11 600 t producidas en el año 92 se pasa a las 15 100 en el año 93 (aumento del 30%), y a 18 500 en el '94 (crecimiento del 23%). En el '95 se produce un incremento próximo al 14%, alcanzándose una cifra de 21 200 t; y en el '96 el aumento es del 3%, con una producción de 21 800 t. En el último año esta última cifra desciende a las 17 700 t, lo que significa un decrecimiento del 18%.

Sin embargo, a la vez que la cifra total del '97 producida entre los tres tipos desciende respecto del año anterior, no sucede lo mismo si se analiza la evolución de

FIGURA 15

COMPARACIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE EMULSIONES MODIFICADAS TIPO ECR

CANTIDAD DE EMULSIÓN (t) (Miles)



cada tipo por separado: descenso en la ECR-3-m (la más modificada y más cara) del 35%, y aumentos en la ECR-2-m del 16% y de la ECR-1-m, cuya producción se multiplica por dos.

Además de un descenso en el empleo de los tratamientos superficiales debido a la menor inversión en el 97 en obras públicas (lo que explica el descenso del global) parece confirmarse, lo cual es lógico, una especialización en el uso de estas emulsiones. La ECR-1-m comienza no sólo a sustituir a las clásicas ECR0 y ECR1 en los riegos de adherencia ordinarios, sino que está comenzando a utilizarse en sustitución de las ECR-2-m para su utilización en riegos de adherencia para capas de rodadura delgadas: microaglomerado y mezclas drenantes (son las recomendadas en la actual normativa española).

A su vez, y al igual que sucedía con el betún modificado BM-3c, la emulsión ECR-3-m está siendo sustituida por otra emulsión igualmente modificada, pero más barata (ECR-2-m), en campos hasta ahora casi exclusivos de ella: tratamientos superficiales con grava en carreteras de no muy elevada intensidad de tráfico.

Las emulsiones ECR-3-m quedan destinadas a su utilización en los tratamientos superficiales de gran calidad en carreteras muy solicitadas, así como en la fabricación de membranas antifisuras SAMI.

Las emulsiones ECR-3-m quedan destinadas a su utilización en los tratamientos superficiales de gran calidad en carreteras muy solicitadas, así como en la fabricación de membranas antifisuras SAMI.

6.4. Emulsiones tipo ECM-m

Se trata de una emulsión catiónica modificada de rotura media, con un contenido mínimo de ligante del 59% y con un cierto contenido en fluidificantes (máximo del 12%, ver tabla 4) para favorecer la manejabilidad de las mezclas obtenidas, dada la elevada cohesión de su ligante residual.



Foto 8. Ejecución de una membrana antifisura SAMI utilizando geotextil impregnado con emulsión modificada tipo ECR-3m.

Al igual que las emulsiones de rotura rápida, se fabrican, bien a partir de betunes previamente modificados, bien en forma de emulsiones bifásicas mediante incorporación del látex a la fase jabonosa continua previa a su entrada en la turbina.

Las empresas que fabrican este tipo de emulsión y sus nombres comerciales son los siguientes (tabla 7):

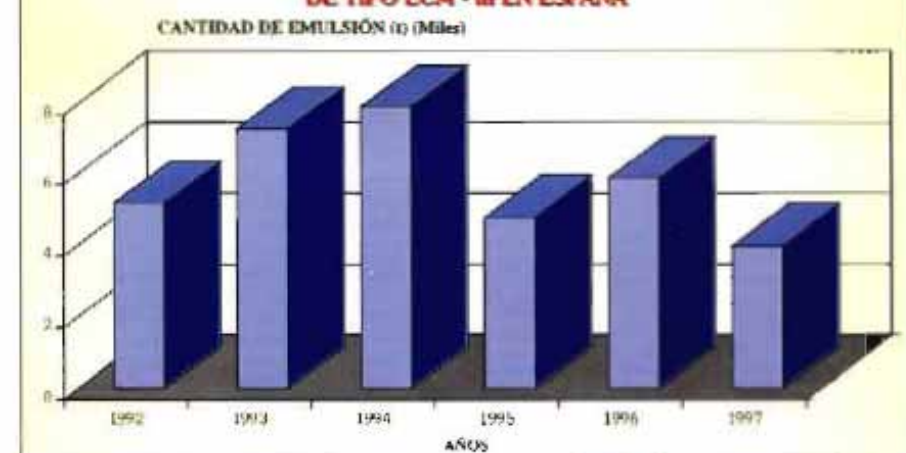
- * COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN: con dos productos en el mercado TELCOSTAR-M y EMULFLEX
- * CORVIAM (sin denominación comercial)
- * PANAS-FALTO (sin denominación comercial)
- * PAVASAL (sin denominación comercial)
- * PROAS-CEPSA: LASTI-REM CM
- * PROBISA: PROBIMUL CM

Además de las citadas, la casa REPSOL tiene una emulsión de este tipo, sin producción hasta el momento.

Como en todas las emulsiones bituminosas modificadas, en su fabricación se emplean polímeros termoplásticos SBS o EVA, o látices generalmente catiónicos del tipo SBR, en proporciones variables en el rango 2-5%.

Son utilizadas fundamentalmente en la fabricación de mezclas abiertas en frío para capas de rodadura en carreteras de todo tipo de tráfico, incluso autopistas (tabla 8), en forma de mezclas drenantes en frío (ver foto 9) con contenidos en huecos superiores al 25% y con características mecánicas notablemente mejoradas respecto de las obtenidas con las emulsiones de envuelta convencionales, con unas estabilidades y resistencias a es-

FIGURA 16
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE EMULSIÓN MODIFICADA DE TIPO ECM - m EN ESPAÑA



fuerzas tangenciales aceptablemente elevadas; y que, gracias a su elevada cohesión inicial, pueden abrirse al tráfico inmediatamente después de la puesta en obra.

Algunas empresas aconsejan la utilización de estas emulsiones para la fabricación de mezclas abiertas en capas delgadas de espesores en el entorno de los 3 cm.

La evolución de su producción se recoge en la figura 16. Puede apreciarse dos periodos diferentes:

* en los tres primeros años se produce un crecimiento importante: las 4 800 t iniciales del año 92 pasan a 6 800 t en el año 93 (aumento del 42%) y a cerca de 7 500 en el año 94 (crecimiento anual del 10%)

* posteriormente se produce un descenso en las producciones, volviendo a los valores del 92: 5 500 t en el año 96 e incluso valores más bajos: 3 900 t en 1997.

Este proceso evolutivo decreciente en los últimos años puede explicarse por el lento y continuo descenso que se está produciendo en el mercado español de las mezclas en frío, consecuencia de la gran densidad actual de cen-



Foto 9 Mezcla drenante en frío ejecutada con emulsión ECM-m en la autopista Sevilla-Cádiz.

trales de fabricación de mezclas asfálticas en caliente y la recesión en la obra pública. Las mezclas abiertas en frío están siendo cannibalizadas por las mezclas densas en caliente, que son empleadas en muchas ocasiones en tratamientos en los que las mezclas en frío, por su mayor flexibilidad, especialmente las fabricadas con emulsiones modificadas de envuelta, podrían tener un mejor comportamiento.

6.5. Emulsiones tipo EAM-m

Única emulsión aniónica modificada recogida en nuestra actual normativa. Es una emulsión de rotura media con un contenido mínimo en ligante del 57%.

De las respuestas recibidas en

la encuesta, una única empresa española afirma tener producción de este tipo de emulsión (tabla 7). Se trata de COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN que fabrica dos tipos de emulsiones a partir de betún modificado o de látex. Los nombres comerciales son TELCOSTAR M (aniónica) y ANIFLEX.

Como agentes modificadores utiliza elastómeros termoplásticos y látex aniónico en proporciones variables entre el 2 y 4%.

Sin producción hasta el momento, también se encuentra una emulsión de este tipo comercializada por REPSOL.

El principal campo de aplicación de esta emulsión reside en la fabricación de mezclas abiertas en frío con áridos calizos, con los que las emulsiones catiónicas suelen presentar problemas, especialmente si no están bien cortados granulométricamente en su fracción más pequeña (tabla 8), con una presencia no deseada del material 0/3.

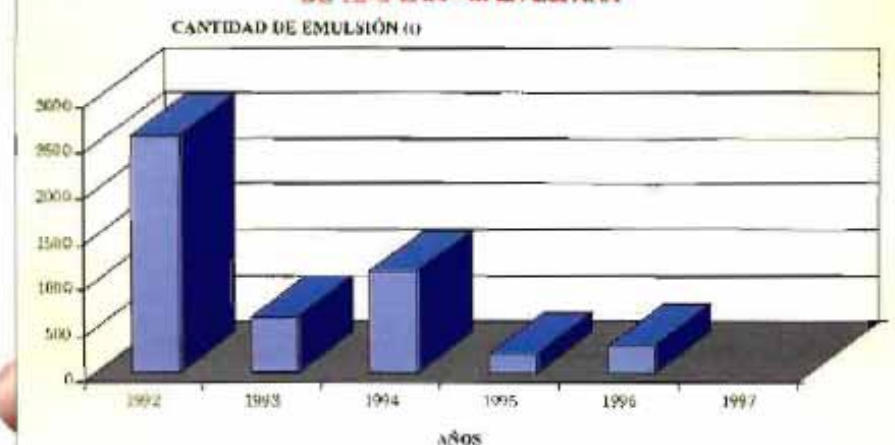
Se han empleado igualmente en la fabricación de mezclas finas en capas de rodadura delgada en espesores del entorno de los 3 cm.

Aunque por las características de su ligante residual las mezclas producidas con estas emulsiones suponen una mejora sustancial respecto de las fabricadas con las emulsiones ordinarias, el hecho de emplear áridos calizos obliga a utilizar las mezclas en carreteras de tráfico mediano o bajo.

La evolución de su producción en los últimos años es francamente descendente (ver figura 17). De las 2 500 t fabricadas en 1992, se va produciendo una paulatina bajada hasta prácticamente anularse la producción en 1997.

La explicación de este hecho parece radicar, además de en las razones aducidas al hablar de la ECM-m (disminución generaliza-

FIGURA 17
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE EMULSIÓN MODIFICADA
DE TIPO EAM-m EN ESPAÑA



da de las mezclas en frío sustituidas por las mezclas en caliente...), en las mayores exigencias en la calidad de los áridos en las capas de rodadura donde los áridos calizos, por su bajo coeficiente de resistencia al pulimento, están prácticamente prohibidos.

La evolución del mercado español de emulsiones modificadas de rotura media se refleja claramente en la figura 18. El mercado de las aniónicas, después de un lento decrecimiento prácticamente ha desaparecido; mientras que el de las catiónicas también desciende a partir de 1994, y se encuentra actualmente por debajo del existente en 1992, aunque cabe pensar que se incrementa en los próximos años si aumenta el empleo de las mezclas drenantes en frío.

6.6. Emulsiones tipo ECL-2-m

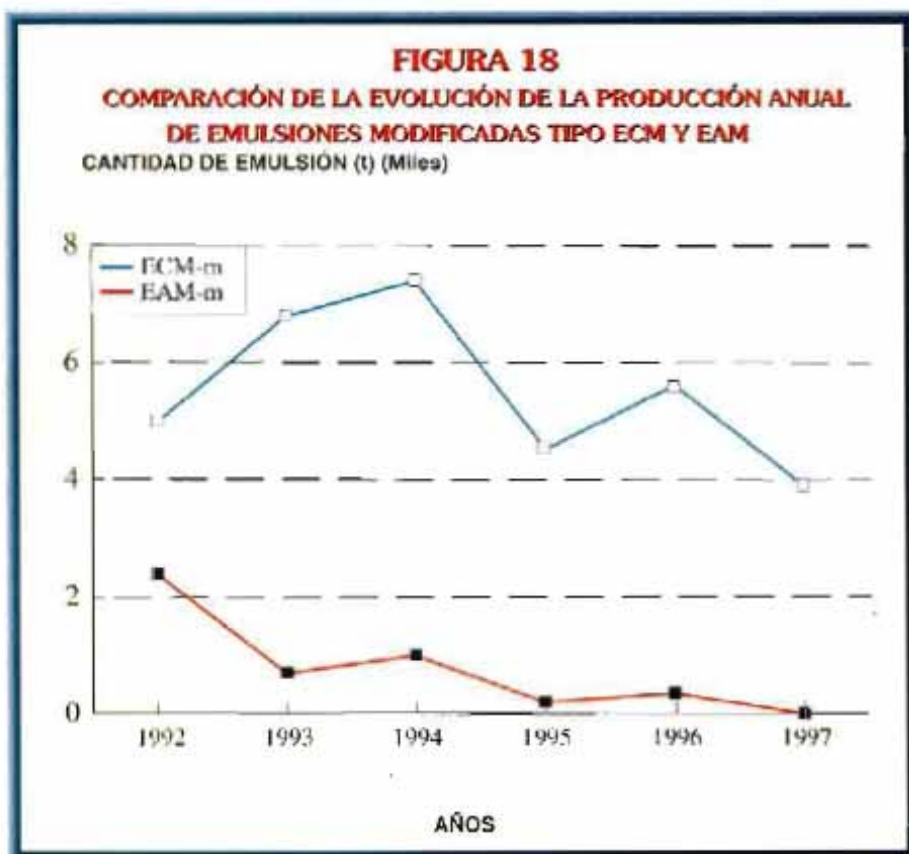
Emulsión catiónica modificada de rotura lenta o controlada con un contenido mínimo en ligante residual del 60% y carente de fluidificantes. La baja susceptibilidad térmica de su betún residual, unida a su elevada cohesividad, ha hecho posible su utilización en la fabricación de los modernos microaglomerados en frío (ver foto 10), última generación de las tan conocidas lechadas bituminosas o "slurry seal".

En el mercado español se producen emulsiones ECL-2-m tanto del tipo monofásico como bifásico, y las empresas que las fabrican con sus nombres comerciales son (tabla 7):

- * COMPOSAN DISTRIBUCIÓN: comercializa dos productos TELCOSTAR-L y NEOSEAL.
- * CÖRVIAM (sin nombre comercial).
- * PANASFALTO: ROUTOSEAL.
- * PROAS-CEPSA: tiene en el mercado asimismo dos emulsiones denominadas ESL y LASTIREM CL.
- * PROBISA: PROBIMUL CL.

La casa REPSOL tiene también una emulsión de estas características, sin producción hasta el momento según la encuesta.

Los polímeros utilizados son los ya habituales: SBS, EVA o SB



para la fabricación de emulsiones monofásicas, y látices generalmente sintéticos del tipo SBR para las bifásicas. Su rango de utilización varía, según empresas y tipo de solicitud a que va a estar sometido el microaglomerado, entre los valores 2-6%.

Es un tipo de emulsión que ha revolucionado el campo de las le-

chadas bituminosas tradicionales que eran utilizadas en tratamientos de sellado e impermeabilización en pavimentos fisurados y envejecidos y en conservación de carreteras de baja-media intensidad de tráfico; ha permitido, merced a las mejoras reológicas del betún residual (especialmente su elevada cohesión inicial que permite una



Foto 10. Aspecto de un microaglomerado en frío ejecutado en una autopista mediante empleo de una emulsión ECL-2m

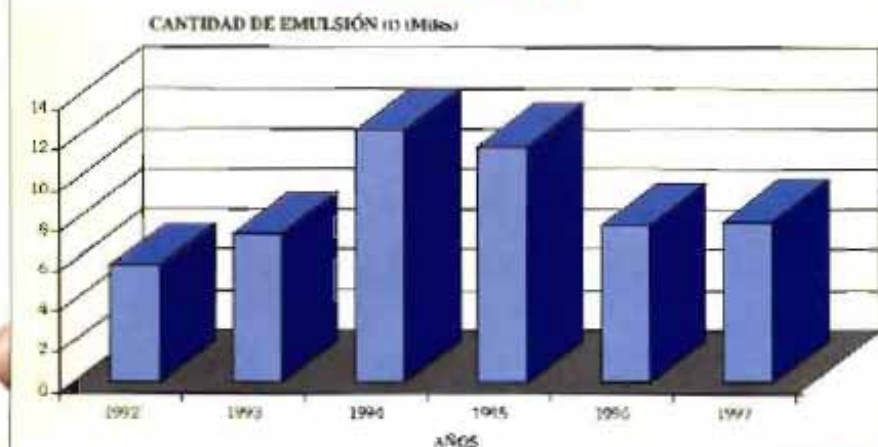
rápida apertura al tráfico), asociadas al empleo de áridos más gruesos (8 mm, 10 mm e incluso 12 mm), el desarrollo de los microaglomerados en frío utilizados con gran éxito en autopistas y carreteras de elevada intensidad de tráfico (foto 10), por su elevada macrotextura y ausencia de problemas de estabilidad mecánica, incluso con elevadas dotaciones en una o incluso en dos capas. En este campo España es considerada el líder mundial, como lo atestiguan el elevado número de países que están utilizando esta tecnología española (EE.UU., Japón, Francia, Italia, Noruega, Argentina).

Es importante hacer notar que, dadas las buenas características relacionadas con la flexibilidad y elasticidad de su ligante residual, estas emulsiones se utilizan igualmente en asociación con fibras minerales, para la fabricación de microaglomerados en frío, especie de membrana antifisura SAMI o más comúnmente SAM, sobre carreteras fisuradas.

De los dos tipos de emulsiones fabricadas son más utilizadas las emulsiones bifásicas obtenidas a partir de la incorporación de látexes catiónicos sintéticos del tipo SBR en la fase jabonosa previa a la emulsión. Las empresas españolas tienen una gran experiencia en el control de su rotura y en la adquisición de las tan deseadas elevadas cohesiones iniciales necesarias para el éxito del tratamiento.

Por lo que respecta a la evolución del mercado, puede observarse en la figura 19 que se trata de un mercado importante y en general creciente, aunque en los últimos seis años ha tenido ciertas alternativas cambiantes en la producción: desde el año 92 el aumento es continuo, con un punto productivo el año 94 de 12 000 t (año en el que el au-

FIGURA 19
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE EMULSIÓN MODIFICADA DE TIPO ECL-2+ en ESPAÑA



mento porcentual respecto al año anterior es del 70%), seguida de un descenso en los siguientes años que toca fondo en el año 96, con una producción de 7 600 t; el 97, último año contemplado en la encuesta, experimentó una ligera recuperación

en este tipo de tratamiento, dedicando fondos relativamente importantes a una campaña específica de microaglomerados en frío. Esta política no tuvo su continuación los años sucesivos (96 y 97), en los que la producción vuelve a adoptar magnitudes algo superiores a las de los

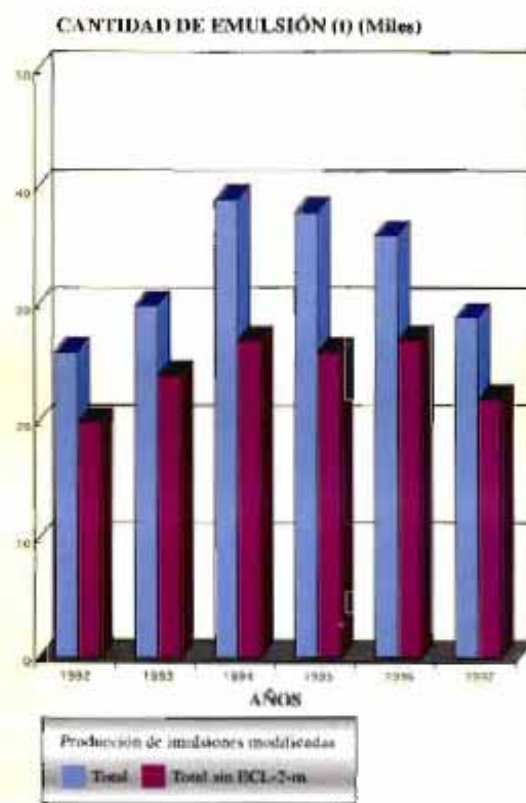
primeros años de la encuesta (8-10% más altas).

6.7. Evolución de las producciones anuales (92-97)

En la figura 20 se refleja la evolución de la producción total de emulsiones modificadas españolas en el período de estudio 1992-1997. La producción anual creció de manera constante aunque con un ligero descenso en 1995 y 1996, acentuado en el año 1997. La producción total en este período es de 194 200 t.

Las 24 300 t producidas en 1992 se incrementaron en un 21% en 1993, llegando en este año a las 29 400 t; pa-

FIGURA 20
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN ANUAL DE EMULSIÓN MODIFICADA EN ESPAÑA (TOTAL)



ra experimentar una fuerte y quizás anormal subida del 33% en 1994, año en el que se alcanzó la cifra de 39 000 toneladas. En 1995 se produjo una leve caída respecto del año anterior (decrecimiento del 5%), que continuó en 1996 (35 100 t de producción, con un decrecimiento del 5% respecto del año anterior), para experimentar finalmente un descenso en 1997 del 16%, año en el que fueron producidas 29 500 t.

Al igual que para la evolución del mercado de los betunes modificados, este crecimiento de las emulsiones modificadas empleadas en España que, en general, se aprecia en la figura, está ligado igualmente a la evolución tecnológica sufrida por los ligantes en estos últimos años, debida a las mayores exigencias de los tráficos actuales.

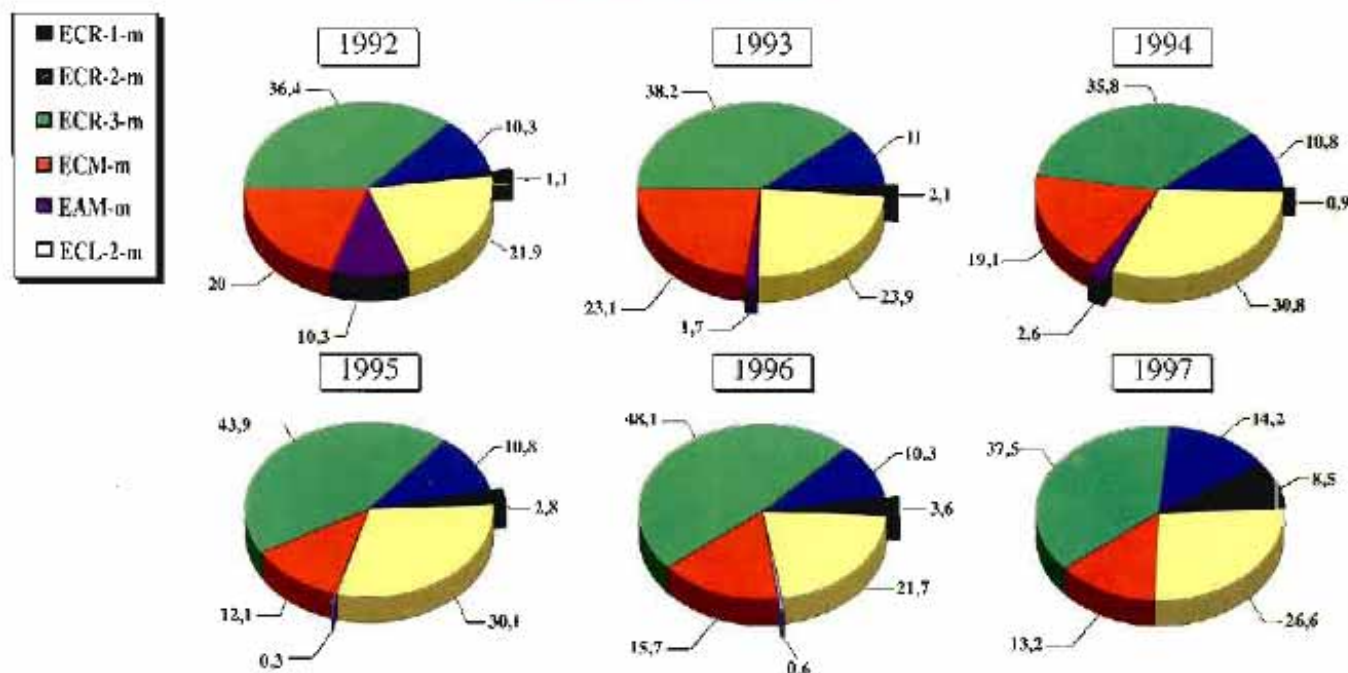
En este proceso evolutivo llama la atención la subida del año 94 que, a nuestro juicio, está relacionado fundamentalmente con el notable incremento en la producción de la emulsión ECL-2-m en dicho año, a consecuencia de la puesta en marcha por la Dirección General de Car-



reteras de una campaña extraordinaria, ya citada, para la rehabilitación superficial de sus carreteras; y donde fueron utilizadas las lechadas y microaglomerados en frío para la corrección de problemas relacionados con el deslizamiento. Si se analiza la evolución de la producción total de emulsiones en el mismo periodo excluyendo la ECL-

2-m (ver figura 20), se aprecia un sensible aumento entre el año 92 y el año 94, pasando de 18 900 t a 27 000 t (42% de crecimiento en dos años); para en los años siguientes estancarse la producción total en valores similares: 25 800 t en 1995, 27 500 t en 1996, y descender en 1997 a una magnitud de 21 700 t.

FIGURA 22
DISTRIBUCIÓN (EN PORCENTAJE) DE LA PRODUCCIÓN DE EMULSIONES MODIFICADAS POR TIPOS



Si se agrupan las emulsiones modificadas en función de su velocidad de rotura, las modificadas de rotura rápida son las emulsiones de mayor consumo

Así pues, se confirma que las fluctuaciones aparentemente a la baja del período 94-96 en la producción total de emulsiones se deben esencialmente al aumento inusual de los años 94 y 95 en la emulsión de microaglomerados en frío. La realidad es que el mercado de las emulsiones modificadas se mantiene apreciablemente sin variaciones en este período. Finalmente el descenso que se produce en el año 97, igual que sucedía en el caso de los betunes modificados, es debido a la menor inversión dedicada a la carretera en los presupuestos públicos.

Si se agrupan las emulsiones modificadas en función de su velocidad de rotura (ver figura 21), las modificadas de rotura rápida con una producción total en el período de estudio de 106 000 t son las emulsiones de mayor consumo, con una tasa de producción del 55% de la producción total de emulsiones.

Dentro de estas emulsiones de rotura rápida son las emulsiones más concentradas y viscosas las ECR-3-m las que presentan una tasa de producción más elevada (74%), alcanzando las ECR-2-m un porcentaje del 20% y las ECR-1-m una tasa del 6%.

Las emulsiones de rotura media alcanzan una cuota del 19% del mercado de las emulsiones modificadas, con una producción total de 37 300 t correspondiendo, en su mayor parte (88,5%) a las emulsiones catiónicas ECM-m.

Por último, las emulsiones de rotura lenta y/o controlada ocupan el segundo lugar en el em-

pleo de las emulsiones modificadas españolas, con una cuota de mercado del 26% en el período 92-97.

Estas cifras confirman que los tratamientos superficiales mejorados y los microaglomerados en frío son las dos técnicas principales consumidoras de las emulsiones modificadas españolas: aunque a estos últimos les ha salido un fuerte competidor: los microaglomerados discontinuos en caliente.

En la figura 22 se representa la distribución de la producción de emulsiones modificadas por tipos y anualidades. En todos los años la emulsión ECR-3-m es la que posee una mayor cuota de mercado, situándose siempre en el entorno del 35,8% (año 94) al 48,1% (año 96), seguida de la emulsión ECL-2-m con una cuota de mercado variable entre el 21,7% (año 96) y el 30,8% (año 94).

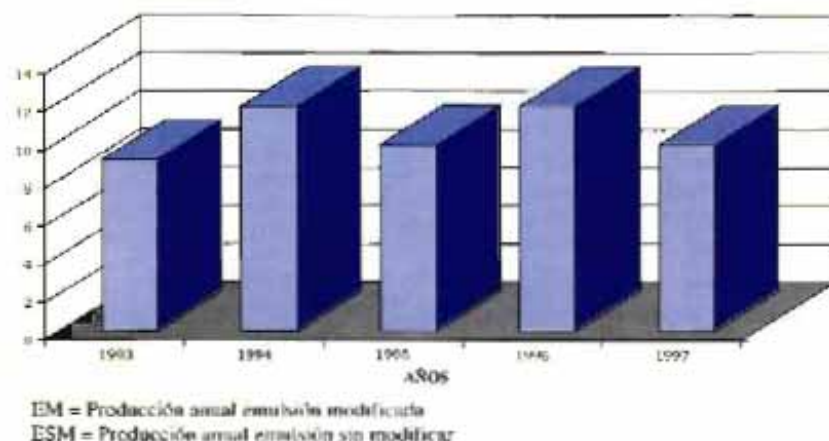
La figura confirma el ya comentado importante avance experimentado en el último año por la ECR-1-m, que pasó de tener

También confirma el avance de la ECR-2-m, que, a pesar de lo anterior, pasa del 10-11% del mercado en los años 92-96 al 14,2% en el 97, debido a su empleo en tratamientos superficiales con grava, en sustitución y detrimento de la emulsión ECR-3-m, cuya cuota del mercado ha ido en paulatino aumento del 36,4% del año 92 al 48,1% del año 96, para descender bruscamente el año 97 al 37,5%.

Por lo que se refiere a las emulsiones modificadas de envuelta, las catiónicas van perdiendo posiciones, pues pasan de una cuota del mercado del 20-23% en los primeros años, con un máximo del 23,1% en el año 93, a un mínimo del 13,2% en 1997; mientras que las aniónicas salen peor paradas, al pasar del 10,3% en el año 92 a una cuota del 2-3% en el 93-94, inferior al 1% en 95-96, y cero toneladas producidas en 1997.

En la figura 23, finalmente, se representa la relación existente entre la producción total de emulsiones modificadas en nuestro país y la producción total de emul-

FIGURA 23
EVOLUCIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LAS PRODUCCIONES ANUALES DE EMULSIÓN MODIFICADA Y SIN MODIFICAR EN ESPAÑA
EM/ESM (%)



1-3% del mercado los años anteriores a un aceptable 8,5% del año 97, debido sin duda a su empleo en riegos de adherencia en las modernas capas de rodadura con mezclas drenantes o microaglomerados discontinuos en capas delgadas, en sustitución de la ECR-2-m.

siones sin modificar en el período 93-97. La magnitud obtenida se mantiene en el intervalo del 9-11%, con una punta del 11,4% en el año 94, seguramente debida al mayor empleo en ese año de ECL-2-m (hecho ya citado en varias ocasiones), y otra del 11,5% en el año 96.

Estos porcentajes son superiores a los obtenidos en el betún modificado (6-8%), de lo que se deduce el mayor empleo de ligantes modificados en la tecnología en frío en comparación de las técnicas en caliente. Sin embargo, al contrario de lo que su-

ceda, existen otras siete empresas productoras (no coincidentes en su totalidad con las que comercializan betunes modificados: COMPOSÁN DISTRIBUCIÓN, CORVIAM, PANASFALTO, PAVASAL, PROAS-CEPSA, PROBISA y REPSOL). El grupo ma-

las fabrican betunes sintéticos, generalmente de penetración 60-70; aunque es posible conseguir distintos rangos de consistencia, incluso de penetración 150/200 para su uso en la fabricación de emulsiones pigmentables.

Las empresas españolas que han fabricado este tipo de ligantes en el período de la encuesta y sus nombres comerciales, son los siguientes:

- * COMPOSÁN CONSTRUCCIÓN: TELCOLOR
- * PROBISA (sin identificación especial)
- * REPSOL: RECOFAL

La obtención de estos ligantes suele realizarse mediante mezclas homogéneas en proporciones muy precisas de diferentes componentes, entre los que se encuentran: resinas sintéticas, polímeros, aditivos plastificantes y mejoradores de adhesividad.

Los procesos de fabricación y puesta en obra de aglomerados con betunes sintéticos se realizan con los equipos habituales para estos tipos de trabajo, aunque con unas máximas exigencias en lo que res-

TABLA 9. RELACIÓN DE BETUNES SINTÉTICOS PRODUCIDOS EN ESPAÑA LOS ÚLTIMOS SEIS AÑOS.

EMPRESA	NOMBRE COMERCIAL
PROBISA	
REPSOL	RECOFAL
COMPOSÁN CONSTRUCCIÓN	TELCOLOR

cedía con el betún modificado en forma anhidra, que iba ganando lentamente mercado a costa del betún sin modificar, alcanzando valores en la relación de producciones superiores al 8% (ver figura 11), en las emulsiones la relación modificada/sin modificar permanece invariable dentro del intervalo citado desde el año 94.

Este contraste es debido seguramente a su diferente dominio de empleo: mientras que los betunes modificados se emplean en aplicaciones como la mezcla drenante o el microaglomerado en caliente, en las que la utilización de betún sin modificar es muy minoritaria, por lo que cada vez que se emplea esa aplicación se consume betún modificado (y viceversa, si no se consume betún modificado no se puede realizar ese tratamiento), las emulsiones bituminosas se emplean en materiales en los que también se utilizan emulsiones sin modificar, como los tratamientos superficiales con gravilla o las lechadas asfálticas: por lo que la falta de utilización de emulsiones modificadas significa una renuncia a la mayor calidad que éstas confieren al tratamiento, pero no una renuncia al tratamiento en sí. Esto tiene mucha importancia en épocas de restricción presupuestaria, como los últimos años.

En cuanto al reparto por empresas de las emulsiones modifi-

catóricas, esta vez acumulando las tres quintas partes del mercado; mientras que las dos siguientes empresas en importancia presentan porcentajes comprendidos entre el 10 y el 14%.



Foto 11. Mezcla de color rojo fabricada con betún sintético.

7. Resultados de la encuesta sobre los betunes sintéticos

De la encuesta realizada se desprende (ver tabla 9) que únicamente tres empresas españo-

las fabrican betunes sintéticos, generalmente de penetración 60-70; aunque es posible conseguir distintos rangos de consistencia, incluso de penetración 150/200 para su uso en la fabricación de emulsiones pigmentables.

La coloración de la mezcla se obtiene mediante la incorpora-

ción en el mezclador de la central de fabricación en caliente, generalmente de manera manual, de los pigmentos minerales en dotaciones que suelen oscilar alrededor de 1-2% (foto 11).

De la respuesta recibida de los fabricantes a la encuesta se desprende que estos tipos de betunes no han tenido un desarrollo importante en nuestro país. En la figura 24 se representa la evolución de la producción en el período 92-97 (en total 589 t), que, siendo anualmente creciente, es sin embargo reducida, achacable sin duda al elevado precio del ligante (pasa de 102 t en el año 94 a 185 t en el 96, para descender a 142 t en el último año).

Los campos de aplicación que aconsejan las empresas productoras son los de su empleo en la fabricación de mezclas para capas de rodadura de pequeño espesor con un doble objetivo: por un lado estético (pavimentación de plazas, isletas, estacionamientos, pistas deportivas, ver foto 12) y por otro de seguridad (pistas ciclistas, vías peatonales ver foto 13).

8. Perspectivas de futuro

Los fabricantes españoles de ligantes modificados han coincidido, en general, en sus respuestas a esta pregunta. Todos se muestran optimistas en el uso de estos ligantes en un futuro próximo, aunque son conscientes de que no todos los betunes modificados tendrán el mismo desarrollo.

De manera general consideran que, entre los distintos tipos, serán los del tipo 3, ligantes para capa de rodadura, los que presenten un mejor futuro. Las razones pare-



cen residir en la tendencia, cada vez más aceptada por los técnicos españoles, hacia la especialización de las capas de los firmes, en la que el papel estructural se hace descansar en la capa o capas de base, mientras las capas de rodadura van perdiendo cada vez más su función estructural para desempeñar el papel de garantizar las características superficiales.

Este proceso, que implica unas importantes reducciones en los espesores de las capas de

rodadura para ir a capas delgadas, muy delgadas e incluso ultradelgadas, dotadas de una excelente rugosidad y baja sonoridad, exige la utilización de ligantes modificados, dotados de una gran cohesividad interna y baja susceptibilidad térmica, que permitan en definitiva obtener mezclas seguras, confortables, con excelentes resistencias a la deformación plástica y a la fatiga.

Opinan, por lo tanto, que en el futuro los ligantes modifica-



Foto 12. Ejecución de un pavimento deportivo mediante el empleo de un aglomerado fabricado con betún sintético (Alcobendas).

dos se decantarán hacia su empleo fundamentalmente en capas de rodadura drenantes (foto 2) y microaglomerados discontinuos (foto 3 a 5), en las que necesariamente se deben utilizar betunes BM-3a, 3b y 3c de nuestra normativa.

No creen que los betunes duros del tipo BM-1 tengan un gran desarrollo, quizás porque ese tipo de aplicación (mezclas de alto módulo) puede estar cubierto con el empleo de betunes de destilación 10-25, obtenidos a partir de crudos adecuados y con menor precio.

Por lo que respecta a los betunes modificados tipos 4 y 5, consideran que su desarrollo estará íntimamente ligado a la evolución de los tipos de base utilizados; pero, dado que cada vez son menos utilizadas las bases hidráulicas en nuestro país, especialmente las bases de gravaje, estiman que los niveles de producción se mantendrán en los valores actuales, aunque pudiera producirse algún pico anual asociado a operaciones puntuales importantes.

Por último, los productores confían en el futuro desarrollo de los betunes BM-2, especialmente para su utilización en capas de refuerzo, dado que nuestra red de carreteras necesitará en los próximos años la realización de operaciones de este tipo.

Por lo que se refiere a las emulsiones modificadas, hay una unanimidad de los fabricantes en el futuro de las emulsiones tipos ECR-1m y ECR-2m utilizadas en los riegos de adherencia. Parece ser consecuencia lógica de la evolución, anteriormente mencionada, hacia unas capas de rodadura delgadas discontinuas y drenantes, donde el riego de adherencia desempeña un papel fundamental: el de asegurar la



Foto 13. Aspecto final de una pista ciclista, realizada en Barcelona, utilizando aglomerado pigmentado en rojo con betún sintético.

estanqueidad y el funcionamiento unitario del firme, minimizando los riesgos de fatiga por despegue.

Se espera igualmente un crecimiento de las emulsiones ECR-2m y de la ECR-3m, especialmente para la realización de tratamientos superficiales con gravillas (fotos 6 y 7), por las grandes ventajas que aportan tanto por su superior viscosidad como el excelente comportamiento de su ligante residual, de muy baja susceptibilidad térmica y elevada cohesión, características importantes para justificar su empleo en carreteras de tráfico pesado.

En lo que se refiere a las emulsiones de envuelta, los encuestados son pesimistas acerca del futuro de las emulsiones aniónicas EAM-m; pero están esperanzados en las catiónicas

ECM-m, dado los excelentes comportamientos de las obras realizadas con este tipo de emulsión en la fabricación de mezclas drenantes en frío (foto 9) con un elevado contenido en huecos; y en las que, merced a la elevada cohesión de su ligante residual, se hace posible la inmediata apertura al tráfico, incluso en carreteras de tráfico importante. Con el empleo de este tipo de emulsión se abre, pues, un campo muy interesante en el desarrollo de esta tecnología en frío, tecnología en la que España ha sido pionera y es mundialmente reconocida.

Por último, los fabricantes se muestran igualmente optimistas sobre el futuro desarrollo de las emulsiones catiónicas de rotura lenta o controlada tipo ECL-2m en la fabricación de microaglomerados en frío (foto 10). El proceso, iniciado hace dos años en España, de sustitución de las lechadas bituminosas clásicas fabricadas con emulsiones de be-

tunes puros por los microaglomerados en frío a base de emulsiones modificadas, debe continuar en el futuro.

En cuanto a los ligantes sintéticos, la encuesta recoge la opinión negativa de los fabricantes en el desarrollo futuro de estos ligantes (fotos 11 a 13). Consideran que el mercado se mantendrá en las actuales cifras de producción, aunque admiten que pueden originarse subidas, que tendrán carácter puntual.

Agradecimientos

Los trabajos específicos de elaboración de la encuesta, recogida de resultados, análisis de los mismos, etc., han sido efectuados por un reducido número de miembros del Comité, coordinados y dirigidos por los firmantes del artículo. A ellos, que asimismo colabora-

ron y corrigieron las sucesivas versiones de este trabajo, nuestro primer y mayor agradecimiento: Félix Álvarez (Iberpistas), Alberto Bardesi (Repsol-Composán), Javier Cameo (Panasfalto), Tomás Prieto (Demarcación de Valencia del Ministerio de Fomento) y Francisco Redondo (Repsol-Composán). Asimismo queremos hacer extensivas las gracias a los restantes miembros del Grupo de Trabajo del Comité, que en mayor o menor medida han contribuido con ideas y sugerencias a la mejora del texto.

No queremos olvidarnos tampoco de los protagonistas del

Los fabricantes se muestran igualmente optimistas sobre el futuro desarrollo de las emulsiones catiónicas de rotura lenta o controlada tipo ECL-2m en la fabricación de microaglomerados en frío

trabajo, sin cuya ayuda hubiera sido imposible su realización: las empresas productoras y, dentro de ellas, las personas a las que hemos agobiado con llamadas telefónicas hasta conseguir que nos enviaran hasta el último dato utilizado en este estudio, y que son (excluyendo los ya citados representantes de Composán Distribución, Panasfalto y Repsol): Francisco Cruz (BP Oil), Javier García Pardeñilla (Ditecpesa), Miguel Ángel Pérez del Notario (Corviam), Ramón Magraner (Pavasal), José Antonio Soto (Proas-Cepsa), Baltasar Rubio (Probisa) y Juan

Antonio Tejela (Composán Construcción). A todos ellos, nuestras más sinceras gracias, más valoradas si cabe en esta ocasión, pues su colaboración ha sido franca y muy detallada, aun tratándose de datos históricamente a veces tan sensibles para las empresas como son las cifras de producción de sus productos. ■

Jaime Gordillo Gracia, Presidente del Centro de Investigación Elpidio Sánchez Marcos.

Recaredo Romero Amich, Jefe del Área de Tecnología y Estudios Viarios del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).