

5

Mezclas bituminosas en caliente

El término mezcla bituminosa en caliente define los materiales resultantes de la combinación de áridos y un ligante hidrocarbonado, fabricados y puestos en obra a una temperatura superior a la ambiente.

Dentro de las mezclas bituminosas en caliente existen diferentes tipos de mezclas cuya composición y propiedades han sido modificados en función de su uso en el firme, distribuyendo entre mezclas para capas de base, intermedia y rodadura.

En España, para la ejecución de este tipo de capas se utilizan hormigones asfálticos de granulometría continua, tipo densa, semidensa y gruesa, artículo 542 del PG-3, y mezclas de granulometría discontinua o con un alto contenido de huecos, especialmente para capas de rodadura, artículo 543 del PG-3.

Todas estas mezclas tienen unas especificaciones similares para los materiales que las componen: áridos y ligantes bituminosos y unas propiedades y un criterio de diseño diferente en función de su uso en el firme. Por ello, en este apartado se recogen primero las especificaciones para los materiales y luego las de las mezclas de acuerdo con su ubicación en el firme, mezclas para capas de base, intermedia y rodadura.

5.1. MATERIALES

5.1.1 Áridos.

Al ser los áridos las partículas que constituyen el esqueleto mineral de las mezclas, han de ser resistentes a la fragmentación y al desgaste que pudiera ocasionar el tráfico. Por ello, han de provenir del machaqueo de rocas duras, no meteorizables, tener buena forma, y ser resistentes a la rotura y degradación por el efecto abrasivo y de trituración del tráfico, propiedad considerada por medio del coeficiente de desgaste de Los Ángeles, CDA.

Además, en el caso de ser empleados en capa de rodadura, las partículas de los áridos han de tener una elevada resistencia al pulimento, evaluado a partir de su coeficiente de pulimento acelerado, CPA.

El árido fino ha de ser no plástico y provenir del machaqueo de rocas de buena calidad, cuyo coeficiente máximo de desgaste sea menor o igual que 25 ó 30, según el tipo de mezcla y categoría de tráfico.

El polvo mineral deberá ser de aportación, o proveniente del machaqueo de los áridos, con el fin de tener unas partículas no hidrófilas, que se mezclen

bien con el betún, para obtener un buen mástico. Para conseguir este fin las partículas han de ser finas y no plásticas.

Las especificaciones de la tabla siguiente hacen referencia a todos los tipos de mezclas recogidas en el PG-3, artículo 542, mezclas tipo hormigón bituminoso (AC) y artículo 543, mezclas para capas de rodadura (BBTM y PA). En la tabla se recogen las diferencias de especificaciones para estas mezclas que tienen lugar, principalmente, por la categoría de tráfico y, a veces, por el tipo de mezcla.

Especificaciones para materiales granulares para mezclas bituminosas (Art. 542, 543, PG-3).

TIPO DE MEZCLA			CAPA	AC				PA y BBTM														
CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				T00	T0	T1	T2	T31	T32	Arcén	T41	T42	T00	T0	T1	T2	T31	T32	Arcén	T41	T42	
COMBINADO (antes secado, incluido polvo mineral)	LIMPIEZA	Equivalente de arena UNE-EN 933-8. Azul de metileno UNE-EN 933-9		EA > 50 ó EA > 40 y AM < 10				EA > 50 ó EA > 40 y AM < 10														
ÁRIDO GRUESO (retenido 2 mm)	TEXTURA Y FORMA	Proporción mínima de partículas trituradas (% en masa) UNE-EN 933-5	Rodadura	100				90			75		PA	100				90				
			Intermedia	100				90			75		BBTM	100				90			75	
			Base	100	90			75														
		Máximo índice lajas UNE-EN 933-3	Todas las Capas	20		25			30				PA	20				25				
												BBTM	20					25				
	CALIDAD	Máximo coeficiente de desgaste de Los Angeles UNE-EN 1097-2		Rodadura	20				25				PA	15	20			25				
				Intermedia			25			25*			BBTM A	15	20			25				
				Base	25		30						BBTM B	15				25				
		Min. CPA. UNE 146130 anexo D	Rodadura	56		50			44				56	50			44					
	LIMPIEZA	Máximo contenido de finos (%) UNE-EN 933-1							0,5									0,5				
Máximas impurezas (%) UNE 146130 anexo C								0,5									0,5					
FINO (pasa 2 mm, retenido 0,063 mm)	PROPORCIÓN DEL ÁRIDO FINO NO TRITURADO (%)			0				10				BBTM B	0				10					
											BBTM B	0					0					
	LIMPIEZA			Exento de terrones de arcilla, material vegetal, marga y otras materias extrañas				Exento de terrones de arcilla, material vegetal, marga y otras materias extrañas														
	CALIDAD	Proveniente trituration de rocas con un Máximo CDA UNE-EN 1097-2	Rodadura Intermedia					25										25				
Base							30															
GRANULOMETRÍA			Material que pasa el tamiz # 2 mm = 100%, Material que pasa el tamiz # 0,125 = entre 85 y 100, Material que pasa el tamiz # 0,063 = entre 70 y 100. Ancho máximo del huso 10%				Material que pasa el tamiz # 2 mm = 100%, Material que pasa el tamiz # 0,125 = entre 85 y 100, Material que pasa el tamiz # 0,063 = entre 70 y 100. Ancho máximo del huso 10%															
POLVO MINERAL (pasa 0,063 mm)	FINURA Y ACTIVIDAD	Densidad aparente NLT-176 (g/cm ³)		Comprendido entre 0,5 - 0,8				Comprendido entre 0,5 - 0,8														

BBTM A: mezclas discontinuas para capas de rodaduras tipo A

BBTM B: mezclas discontinuas para capas de rodaduras tipo B

CDA: coeficiente desgaste Los Angeles

CPA: coeficiente pulimento acelerado

5.1.2. Ligantes bituminosos.

5.1.2.1. Betunes asfálticos

El ligante bituminoso es el principal componente de la mezcla bituminosa ya que es el que aglomera los áridos y da cohesión y estabilidad a la mezcla.

El ligante bituminoso tiene unas cualidades y unas características que lo hacen muy diferente de los otros tipos de agentes cohesivos utilizados en carreteras, como por ejemplo los conglomerantes hidráulicos. A diferencia de estos, que proporcionan a los materiales con ellos tratados una elevada resistencia y rigidez, los ligantes bituminosos proporcionan uniones tenaces y flexibles. Esto es debido a la respuesta visco-elástica del betún, que varía con la temperatura y la velocidad de aplicación de carga, lo que le permite comportarse, por una parte, como un material flexible con bajo módulo y alta deformabilidad, que se adapta a las deformaciones y asentamientos del firme y absorbe las tensiones debidas a las retracciones térmicas del firme sin fisurarse (los pavimentos flexibles no necesitan juntas) y, por otra, como un material estable y tenaz, con un alto módulo y respuesta elástica frente a las cargas del tráfico.

Al cambiar el comportamiento del betún con la temperatura, es necesario emplear, en cada caso y con cada mezcla, ligantes bituminosos que estén de acuerdo con el rango de temperaturas a que estará sometida la mezcla en el firme. Cuando la temperatura del pavimento alcanza valores próximos a la temperatura de anillo y bola del betún (punto de reblandecimiento), la mezcla suele perder su estabilidad. En el otro extremo, cuando la temperatura de la carretera desciende por debajo de la temperatura de fragilidad del betún, la mezcla se hace muy frágil y se fisura con facilidad. En el caso de la normativa española se tienen seis tipos de betunes cuyo rango de viscosidades y propiedades se adapta a las necesidades de los diferentes tipos de mezcla, condiciones climatológicas y unidades de obra de carretera empleadas en España: B13/22, B40/50, B60/70, B80/100, B150/200 y B200/300.

En la tabla siguiente se recogen las especificaciones españolas para estos seis tipos de betunes asfálticos y en ella puede observarse cómo son básicamente los parámetros: penetración y punto de reblandecimiento, antes y después de envejecimiento, los que definen las características de cada grupo de betunes.

Especificaciones betunes asfálticos (Art. 211, PG-3).

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA NLT	B 13/22		B 40/50		B 60/70		B 80/100		B 150/200		B 200/300	
			Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
BETÓN ORIGINAL														
PENETRACIÓN (25 °C; 100g; 5s)	0,1 mm	124	13	22	40	50	60	70	80	100	150	200	200	300
ÍNDICE DE PENETRACIÓN		181	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y BOLA	° C	125	60	72	52	61	48	57	45	53	38	45	34	41
PUNTO DE FRAGILIDAD FRASS	° C	182		+1		-5		-8		-10		-15		-20
DUCTILIDAD (5cm/min)	a 15°C	cm	126											100
	a 25°C			10	70	90	100	100						
SOLUBILIDAD EN TOLUENO	%	130	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5	99,5
CONTENIDO EN AGUA (en volumen)	%	123		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2
PUNTO DE INFLAMACIÓN	° C	127	235	235	235	235	235	235	235	220	220	175	175	175
(*) DENSIDAD RELATIVA (25°C/25°C)		122	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,99
RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA FINA														
VARIACIÓN DE MASA	%	185		0,5		0,8		0,8		1,0		1,4		1,5
PENETRACIÓN (25°C; 100g; 5s)	% p.o.	124	60		55		50		45		40		35	
VARIACIÓN DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y BOLA	° C	125		7		8		9		10		11		12
DUCTILIDAD (5 cm/min)	a 15°C	cm	126											100
	a 25°C			5	40	50	75	100						

Como ya ha sucedido con las mezclas asfálticas y los áridos, el marcado CE de los betunes asfálticos entrará en vigor a lo largo del año 2009 o principios del 2010 pasando a ser obligatorio un año después.

Las especificaciones de estos ligantes se recogen en dos normas europeas la UNE EN 12591 que incluye las especificaciones de todos los betunes asfálticos a excepción de los betunes de alto módulo, y la UNE EN 13924 que incluye las especificaciones de estos últimos. En ambas normas se recogen un amplio rango de betunes de distintas características figurando en los "Anexos nacionales" aquellos que son de mayor uso en los distintos países. En la tabla siguiente se recogen los grados más utilizados en la construcción de carreteras en España.

Los betunes de penetración indicados en la tabla 542.1, cuyas especificaciones se recogen en el artículo 211, podrán ser sustituidos por betunes que cumplan con los tipos, las especificaciones y las condiciones nacionales especiales de la norma europea UNE-EN 12591, según se indica:

- B40/50 por 35/50
- B60/70 por 50/70
- B80/100 por 70/100

Estas especificaciones no suponen cambios significativos frente a las recogidas actualmente en el PG-3 (tabla precedente). Solamente cambian las denominaciones (se amplían los rangos de penetración) y algunos ensayos que no modificarán la calidad de los productos utilizados actualmente en nuestras carreteras.

Como puede observarse en la tabla con la normativa europea, las propiedades que se piden son las recogidas actualmente en las especificaciones españolas con la **supresión del ensayo de ductilidad y el cambio de ensayo de envejecimiento** que pasa a realizarse con el ensayo de película fina y rotatoria (RTFOT), algo más severo que el de película fina (TFOT).

En cuanto a la realización de los ensayos, éstos pasarán a realizarse de acuerdo a las **normas UNE EN** correspondientes en lugar de las NLT actuales y que en general son equivalentes y dan resultados similares.

La **excepción es el punto de reblandecimiento**, que en la norma UNE EN 1427 se realiza con agitación en el baño, lo que supone que ensayando según la UNE EN se obtengan valores entre 1 °C y 2 °C menores que cuando se sigue la NLT. De ahí que haya una diferencia entre el rango de valores exigidos en el antiguo PG-3 y en las normas europeas y que se debe no a una menor exigencia en esta propiedad sino al cambio de ensayo que implica unos valores inferiores para un mismo producto.

Esta diferencia en los valores de punto de reblandecimiento implica también **un cambio en los valores de índice de penetración**, los valores exigidos son más bajos en las especificaciones UNE EN ($-1,5 < IP_{UNE} < + 0,7$) que en las recogidas en el PG-3 ($-1 < IP_{NLT} < +1$). **De nuevo este cambio sólo implica una diferencia en los valores obtenidos y no una menor exigencia en la calidad de los betunes.**

Especificaciones betunes asfálticos (UNE EN 12591).

Denominación actual			B 13/22	B 40/50	B 60/70	B 80/100	B 150/200
Denominación UNE EN			B 15/25	B 35/50	B 50/70	B 70/100	B 160/220
Característica	Unidad	Norma					
Penetración a 25°C	0,1 mm	EN 1426	15 - 25	35 - 50	50 - 70	70 - 100	160 - 220
Punto de Reblandecimiento	°C	bEN 1427	60 - 70	50 - 58	46 - 54	43 - 51	35 - 43
Punto de Inflamación	°C	EN ISO 2592	≥ 245	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Solubilidad	%	EN ISO 12592	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Índice de Penetración		Anexo A	-1,5 a +0,7	-1,5 a +0,7	-1,5 a +0,7	1,5 a +0,7	-1,5 a +0,7
Punto de Fragilidad Fraass	°C	EN ISO 12593	≤ 3	≤ -5	≤ -8	≤ -10	≤ -15
Resistencia al endurecimiento a 163°C en 12607-1							
Variación de masa	%		≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0
Penetración Retenida	%		≥ 55	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 36
Incremento del Punto de Reblandecimiento	°C		≤ 10	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12

5.1.2.2. Betunes modificados

Los betunes asfálticos pueden modificarse mediante la adición de polímeros, caucho, asfaltos naturales, u otro tipo de compuestos, obteniéndose betunes con propiedades mejoradas que proporcionan una mayor cohesión y tenacidad a la mezcla y una mayor resistencia a la fatiga y a las deformaciones plásticas.

Estas adiciones tienen como finalidad disminuir la susceptibilidad térmica de los betunes, aumentar su viscosidad a altas temperaturas para evitar los problemas de deformaciones plásticas, disminuir su fragilidad a bajas temperaturas, aumentar su cohesión y elasticidad y, en definitiva, que puedan ser aplicados con éxito en un rango de temperatura mayor que el de los betunes convencionales.

De acuerdo con las mejoras producidas y teniendo en cuenta sus posibles aplicaciones se han definido una serie de betunes modificados cuyas características y aplicaciones se recogen a continuación.

Betunes modificados con polímeros.

Dentro de los betunes modificados, los más utilizados son los modificados con polímero, tanto a partir de plastómeros, que mejoran las propiedades del ligante a altas temperaturas de uso, o con elastómeros, que producen mejoras a altas y bajas temperaturas aportando, además, elasticidad y cohesión al betún.

La obtención de estos productos puede realizarse por mezcla física mediante la simple dispersión del polímero en el ligante o mediante reacción química del polímero con los componentes del betún, obteniéndose en este último caso ligantes más estables y con propiedades mejoradas.

Los betunes modificados con polímeros están normalizados en el PG-3, ver tabla adjunta, existiendo distintos tipos en función de las prestaciones deseadas.

BM-1 (Styrelf Newplast BM-1) Son betunes modificados de baja penetración que proporcionan a la mezcla un módulo elevado y una mayor resistencia a la fatiga que los betunes duros convencionales. Son idóneos para mezclas de alto módulo con tráfico pesados o condiciones especiales.

BM-2 (Styrelf BM-2) Betunes de penetración 35/50 con un elevado punto de reblandecimiento y consistencia a 60°C. Son adecuados para mejorar la estabilidad y resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas convencionales. Su uso está especialmente recomendado en zonas muy cálidas.

BM-3a, BM-3b, BM-3c (Styrelf BM-3a, BM-3b, BM-3c) Betunes con penetración 50/70 y distintos grados de modificación. Su elevada tenacidad y recuperación elástica, especialmente en el BM-3c, confiere una elevada cohesión a las mezclas abiertas tipo PA, F y M. Son igualmente apropiados para mejorar la resistencia a las deformaciones de todo tipo de mezclas.

BM-4, BM-5 (Styrelf BM-4 AAF y BM-5 MAF) Betunes de mayor penetración, en los que se ha modificado respecto a los convencionales su elasticidad y tenacidad. Se emplean en mezclas y riegos especiales o como base, al igual que alguno de los anteriores, para la fabricación de emulsiones.

Todos los betunes modificados con polímeros comercializados por PROAS pertenecen a la gama Styrelf y están obtenidos por reacción química entre el ligante y los polímeros de tipo elastómero.

Especificaciones betunes asfálticos modificados con polímeros (Art. 215, PG-3).

CARACTERÍSTICA	UNIDAD	NORMA NLT	BM-1		BM-2		BM-3a		BM-3b		BM-3c		BM-4		BM-5	
			Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
BETÓN 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 ANILLO Y BOLA	° C	125	70		65		58		60		65		60		55	
PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS	° C	182		-4		-8		-10		-12		-15		-15		-20
DUCTILIDAD (5cm/min)	a 5 ° C	126			2		4		25		30		40		50	
	a 25 ° C		10													
CONSISTENCIA (Flotador a 60 °C)	s	183	3000		2000		700		1200		2000		1200		1200	
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO (*) Diferencia Punto Reblandecimiento Diferencia Penetración (25 °C)	° C	328		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	0,1 mm			5	5	8	10	10	10	10	10	10	12	12	20	20
RECUPERACIÓN ELÁSTICA	25 ° C	329			10		15		40		70		60		60	
	40 ° C		15													
CONTENIDO EN AGUA (en volumen)	%	123		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
PUNTO DE INFLAMACIÓN	° 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	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA FINA																
VARIACIÓN DE MASA	%	185		0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	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	
VARIACIÓN DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y BOLA	° C	125	-4	+8	-4	+8	-5	+10	-5	+10	-5	+10	-6	+10	-6	+10
DUCTILIDAD (5 cm/min)	a 5 ° C	126			1		2		12		15		20		25	
	a 25 ° C		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.

El mercado CE de los betunes modificados entrará en vigor un año después del de los betunes convencionales debido a que se está terminando la revisión de la norma UNE EN 14023 que recoge sus especificaciones.

En cualquier caso y como sucedía en los betunes convencionales, la introducción de las nuevas especificaciones no supondrá cambios significativos en las propiedades de los productos utilizados actualmente en nuestras carreteras.

La principal diferencia está en la configuración de la norma UNE EN que es de tipo menú, es decir no especifica unos betunes con propiedades concretas sino unos ensayos y valores que permitirán a cada país definir los betunes más adecuados a sus condiciones particulares en sus respectivos anexos nacionales.

Es también destacable el cambio de denominación, pues los betunes modificados pasarán a denominarse como PMB (de Polymer Modified Bitumen) seguido del rango de penetración y del punto de reblandecimiento mínimo.

Por último hay que destacar los cambios de algunos ensayos:

- Desaparecen la ductilidad y el flotador
- Se cambia al envejecimiento mediante el ensayo en película fina y rotatoria
- La recuperación elástica se realizará por ductilidad en lugar de mediante el ensayo de torsión recogido en la NLT
- El punto de reblandecimiento se realizará con agitación
- Aparece el ensayo de fuerza-ductilidad que nos da una medida de la cohesión que este tipo de ligantes aportan a la mezcla.

Especificaciones betunes asfálticos (UNE EN 14023)

Características	PG-3	BM-1	BM-2	BM-3a	BM-3b	BM-3c	BM-4	BM-5	RAF AV
	UNE EN	PMB 10/40-70	PMB 25/55-85	PMB 45/80-55	PMB 45/80-60	PMB 45/80-65	PMB 75/130-60	PMB 120/200-55	PMB 45/80-75
Ensayo sobre el betún original									
Penetración, 25 °C	1426	10-40	25-55	45-80	45-80	45-80	70-130	120-200	45-80
Punto de Reblandecimiento A y B	1427	≥ 70	≥ 65	≥ 55	≥ 60	≥ 65	≥ 60	≥ 55	≥ 75
Cohesión Fuerza-Ductilidad	13589 13703	≥ 2 a 10°C	≥ 2 a 10°C	≥ 1 a 5°C	≥ 2 a 5°C	≥ 3 a 5°C	≥ 1 a 5°C	-	≥ 3 a 5°C
Péndulo Vialit	13588	-	-	-	-	-	-	≥ 0,7	-
Punto de Inflamación	ISO 2592	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 235	≥ 220	≥ 220	≥ 235
Punto de Fragilidad Fraass	12593	≤ -5	≤ -7	≤ -10	≤ -12	≤ -15	≤ -15	≤ -20	≤ -15
Recuperación elástica a 25°C	13398	TBR	TBR	TBR	≥ 50	≥ 70	≥ 60	≥ 60	≥ 80
Estabilidad al almacenamiento	Dif. Pen.	13399 1427	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
	Dif. AyB	13399 1426	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 13	≤ 19
Durabilidad - Resistencia al envejecimiento EN 12607 - 1									
Cambio de Masa	12607-1	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0	≤ 1,0
Penetración retenida	1426	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 55	≥ 60
Aumento del P ⁶ de Reblandeci.	1427	≤ 8	≤ 8	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10

5.1.2.3. Betunes modificados con caucho

El comportamiento de los betunes puede ser también modificado mediante la adición de caucho o de polvo de neumáticos, in situ o en central, procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso (NFUs). Se obtienen así betunes modificados, mejorados y betunes de alta viscosidad cuyas propiedades pueden ser a veces optimizadas mediante la adición también de polímeros. La orden circular 21/2007 distingue los siguientes tipos:

Betunes modificados con caucho en central.

Son betunes modificados con caucho en central, cuyas especificaciones y uso se ajustan a las de los betunes modificados con polímeros recogidos en el artículo 215 PG-3 (ver apartado y tabla anterior).

Betunes mejorados con caucho.

Son betunes a los que se les ha incorporado caucho procedente de NFUs, bien mediante la fabricación en central e in situ, que cumple las siguientes especificaciones.

Betunes Mejorados con Caucho (BC).

Característica		Norma de referencia	Unidad	BC35/50	BC50/70
Betún original					
Penetración, 25 °C		UNE EN 1426	0,1 mm	35-50	50-70
Punto de reblandecimiento anillo y bola		UNE EN 1427	°C	≥ 58	≥ 53
Punto de fragilidad Fraass		UNE EN 12593	°C	≤ -5	≤ -8
Fuerza ductilidad (5cm/min)	5 °C	UNE EN 13589 UNE EN 13703	J/cm ²	≥ 0,5	
Recuperación elástica a 25 °C		UNE EN 13398	%	≥ 10	
Estabilidad al almacenamiento (*)	Diferencia anillo y bola	UNE EN 13399	°C	≤ 10	
	Diferencia de penetración		0,1 mm	≤ 8	≤ 10
Solubilidad		UNE EN 12592	%	≥ 92	
Punto de inflamación v/a		UNE EN ISO 22592	°C	≥ 235	
Residuo del ensayo de película fina y rotatoria UNE EN 12607-1					
Variación de masa		UNE EN 12607-1	%	≤ 1,0	
Penetración retenida		UNE EN 1426	%p.o.	≥ 65	≥ 60
Variación del Punto de Reblandecimiento		UNE EN 1427	°C	min -4 max +8	min -5 max +10

(*) Únicamente exigible a ligantes que no se fabriquen "in situ".

De acuerdo con la O.C. 21/2007 los betunes mejorados con caucho se emplearán en mezclas bituminosas en caliente, en las mismas condiciones y capas que los betunes de penetración indicados en las especificaciones para mezclas bituminosas en caliente del PG-3, pero con características reológicas y funcionales mejoradas, como una mayor resistencia al envejecimiento, a las deformaciones permanentes, a la fisuración por fatiga y reducción del ruido a la rodadura.

Betún modificado de alta viscosidad con caucho.

Son betunes modificados que presentan una alta viscosidad. La incorporación esencial para su obtención debe ser caucho procedente de neumático fuera de uso, pero se admite la incorporación de otros productos elastoméricos. al objeto de mejorar y garantizar sus propiedades.

Los betunes modificados de alta viscosidad con caucho procedente de neumáticos fuera de uso cumplirán las especificaciones de la tabla adjunta. Se podrán emplear en aplicaciones específicas en las que se requiera una alta resistencia a la fisuración por reflexión de grietas y fisuras de las capas inferiores en firmes con bases tratadas con cemento y pavimentos de hormigón que presenten esta tipología de deterioro.

Betunes Modificados de Alta Viscosidad con Caucho (BMAVC).

Característica	Norma de referencia	Unidad	BMAVC-1	BMAVC-2	BMAVC-3
Betún original					
Penetración, 25 °C	UNE EN 1426	0,1 mm	15 - 30	35 - 50	55 - 70
Punto de Reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	≥ 75	≥ 70	≥ 70
Punto de Fragilidad Fraass	UNE EN 12593	°C	≤ -4	≤ -8	≤ -15
Fuerza Ductilidad (5cm/min)	5 °C	UNE EN 13589	J/cm ²	≥ 2	≥ 3
	10 °C	UNE EN 13703		≥ 2	--
Consistencia (Flotador a 60 °C)	NLT 183	s	≥ 3000		
Viscosidad dinámica	135 °C	UNE EN 13302	mPa.s	≤ 7500	≤ 5000
	170 °C			≥ 2000	≥ 1200
Recuperación elástica	25 °C	UNE EN 13398	%	≥ 10	≥ 20
Estabilidad al almacenamiento (*)	Diferencia de anillo y bola	UNE EN 13399	°C	≤ 5	
	Diferencia de penetración		0,1 mm	≤ 20	
Punto de inflamación v/a	UNE EN ISO 22592		°C	≥ 235	
Residuo del ensayo de película fina y rotatoria UNE EN 12607-1					
Variación de masa	UNE EN 12607-1	%	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Penetración retenida	UNE EN 1426	%p.o.	≥ 60		
Variación del Punto de Reblandecimiento	UNE EN 1427	°C	mín -4 max +10		mín -5 max +12

(*) Únicamente exigible a ligantes que no se fabriquen "in situ".

Otros betunes modificados.

Además de los betunes modificados señalados, que ya han sido recogidos en las especificaciones en uso, existen una gama de productos en desarrollo, cuyas características se recogen también en este vademécum, tal es el caso de los betunes multigrados o el de los betunes para mezclas semicalientes.

Betunes Multigrado.

Son betunes especiales fabricados por CEPSA-PROAS que presentan unas características de punto de reblandecimiento y resistencia al envejecimiento superiores a la de los betunes convencionales de similar penetración, lo que los sitúa en una posición intermedia entre los betunes convencionales y los betunes modificados con polímeros, permitiendo su uso en diferentes zonas climáticas con excelentes prestaciones.

Características	Unidad	Método de ensayo	20/30	35/50
Penetración, 25 °C	0,01 mm	EN 1426	15-25	35-50
Punto de Reblandecimiento	°C	EN 1427	64-72	57-66
Punto de Inflamación	°C	EN ISO 2592	≥ 235	≥ 235
Solubilidad	%	EN 12592	≥ 99%	≥ 99%
Índice de Penetración		Anexo A	+0,1 to +1,3	+0,4 to +1,6
PIº de Fragilidad Fraass	°C	EN 12593	≤ -8	≤ -10
Resistencia al endurecimiento a 163°C en 12607-1				
Penetración Retenida	%	EN 1426	≥ 50	≥ 50
Incremento del Punto de Reblandecimiento	°C	EN 1427	≤ 8	≤ 8

Betunes para mezclas semicalientes

En la fabricación de mezclas asfálticas en caliente el mayor consumo de combustibles está ligado al calentamiento de sus componentes (áridos y ligante) por lo que una disminución en las temperaturas requeridas para su fabricación implica un descenso en el consumo de combustibles, disminuyendo las emisiones de CO₂ y suponiendo también un importante ahorro económico. Además, la consecuente reducción en las temperaturas de extendido supone una mejora importante en las condiciones de trabajo de los operarios así como una disminución de los riesgos laborales asociados.

Desde el punto de vista técnico se han propuesto distintas soluciones para conseguir rebajar estas temperaturas actuando tanto sobre los áridos como sobre los ligantes. Entre estas soluciones se encuentran las mezclas semicalientes, que se fabrican de forma similar a las mezclas en caliente, sólo que reduciendo sus temperaturas de fabricación y extendido entre 20 °C y 30 °C, obteniéndose mezclas con idénticas propiedades a las tradicionales mezclas en caliente.

Para la fabricación de estas mezclas se utilizan betunes especiales que se pueden dividir en dos grandes grupos en función de cómo actúan para reducir la temperatura.

Por una parte están los betunes modificados con ceras que reducen la viscosidad del ligante a las temperaturas de fabricación y puesta en obra mejorando además las propiedades a las temperaturas habituales de servicio.

El otro tipo de modificación consiste en la utilización de distintos tipos de surfactantes que reducen la tensión superficial en la interfase árido-ligante favoreciendo la compactación sin necesidad de modificar las propiedades reológicas de los ligantes.

5.2. MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPA DE BASE (Art. 542, PG-3)

Las mezclas bituminosas que se emplean en la capa de base tienen fundamentalmente una función estructural, han de absorber las tensiones provocadas por el tráfico y transmitir las suficientemente amortiguadas a la explanada. Deben ser resistentes a la fatiga, a la propagación de fisuras y a la acción del agua.

De acuerdo con la normativa española, las clases de mezclas que se pueden utilizar son las de tipo semidensa AC32 base S, las gruesas AC22 base G y AC32 base G, y las mezclas de alto módulo AC22 base S MAM. El cuadro que se presenta a continuación recoge la nueva denominación para estas mezclas y su equivalencia con la denominación anterior.

Tipo de capa	Espesor (cm)	Tipo de mezcla	
		Denominación UNE EN 13108-1*	Denominación anterior
Base	7-15	AC32 base S	S25
		AC22 base G	G20
		AC32 base G	G25
		AC22 base S MAM (**)	MAM (**)

(*) en la denominación se omite el tipo de ligante

(**) espesor máximo de 13 cm

Mezclas bituminosas para capas de base (Art. 542, PG-3).

Husos granulométricos.

TIPO DE MEZCLA		TAMAÑO DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)								
		40	32	22	16	8	2	0,5	0,25	0,63
Semidensa	AC32 S	100	90-100		68-72	48-63	24-38	11-21	3-7	3-7
	AC22 S MAM		100	90-100	70-88	50-66	24-38	11-21	8-15	5-9
Gruesa	AC22 G		100	90-100	65-86	40-60	18-32	7-18	4-12	2-5
	AC32 G	100	90-100		58-76	35-54	18-32	7-18	4-12	2-5

Se recogen en la tabla los betunes que pueden emplearse en la fabricación de las capas de base.

Mezclas bituminosas para capas de base (Art. 542, PG-3).

Tipos de betunes.

Zona \ Tráfico	T00	T0	T1	T2	T3
Cálida	BM-2 BC35/50 BC50/70 B 40/50 B 60/70		BC35/50 BC50/70 B 40/50 B 60/70	BC50/70 B 60/70	BC50/70 B 60/70 B 80/100
Media					
Templada		BC50/70 B 60/70 B 80/100		B 80/100	B 80/100

NOTA: En las mezclas bituminosas de alto módulo se empleará el BM-1 para las categorías de tráfico T00 y T0, y el B/13/22 para las categorías de tráfico T1 y T2.

En el caso que el firme no tenga capa intermedia, los betunes para la capa de base se seleccionarán como si ésta fuese una capa intermedia.

Criterios de diseño

Estas mezclas se dosifican a partir del contenido de huecos en mezcla obtenido en probetas compactadas por impacto (tipo Marshall) según la UNE-EN 12697-30 en mezclas con tamaño máximo de árido inferior o igual a 22 mm, y por vibración en mezclas con tamaños máximos de árido superiores, según la UNE-EN 12697-32, teniendo en cuenta la categoría de tráfico.

Mezclas bituminosas para capas de base. (Art. 542, PG-3)

*Contenido de huecos en mezcla (UNE-EN 12697-8 en probetas UNE-EN 12697-30 (75 golpes por cara) (**))*

CARACTERÍSTICAS		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
		T00 y T0	T1 y T2	T3 y arcenes	T4
Huecos en mezcla (%)	Capa de base	5-8 (*)	6-9 (*)	5-9	

(*) En las mezclas bituminosas de alto módulo: 4-6.

(**) Excepto en mezclas con $D > 22$ mm, en las que las probetas se compactarán según la UNE EN 12697-32 (120 segundos por cara)

Se podrá exigir un control adicional de contenido de huecos en áridos, según el ensayo UNE-EN 12697-8. En el caso de las mezclas empleadas para las capas de base, con tamaño máximo de 22 o 32 mm, el contenido de huecos en áridos deberá ser superior o igual a 14%.

Con respecto al contenido de ligante y de filler, también se deben respetar ciertos límites, así como una relación recomendable entre ambos materiales, tal como se indica en las tablas siguientes. Hay que tener en cuenta que la dotación de betún especificada se refiere a un porcentaje sobre el total de mezcla bituminosa, a diferencia de la versión anterior del artículo 542 (Orden FOM/891/2004), en la que el porcentaje de betún estaba en función del porcentaje sobre el total de árido seco.

Mezclas bituminosas para capas de base (Art. 542, PG-3)

Dotación mínima de betún (% en masa sobre el total de la mezcla bituminosa, incluido el polvo mineral)

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
BASE	AC S Y G	3,65
	AC MAM	4,75

Factor de multiplicación cuando los áridos tienen densidad diferente de 2,65 g/cm³:

$$\alpha = \frac{2,65}{\rho_d}$$

donde ρ_d es la densidad de las partículas del árido.

Mezclas bituminosas para capas de base (Art. 542, PG-3).

Proporción de polvo mineral de aportación (%).

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	T0 y T1	T2	T3 y arcenes	T4
BASE	100	≥ 50		-	

Mezclas bituminosas para capas de base (Art. 542, PG-3).

Relación filler/betún recomendable () para las categorías de tráfico T00 a T2*

TIPO DE CAPA	ZONA TÉRMICA ESTIVAL	
	CÁLIDA Y MEDIA	TEMPLADA
BASE (excepto MAM)	1,0	0,9
MAM	1,2	1,3

() Nota: las relaciones ponderales no son adecuadas cuando se emplean polvos minerales como la cal, que con esas relaciones darían lugar a una mezcla con exceso de polvo mineral. En cualquier caso, es conveniente realizar la dosificación de los diferentes fillers volumétricamente a partir de su concentración crítica.*

Resistencia a la deformación permanente

El ensayo para evaluar la resistencia a las deformaciones plásticas se realizará de acuerdo con la norma UNE-EN 12697-22, empleando el dispositivo pequeño, el procedimiento B en aire, a una temperatura de 60 °C y con una duración de 10000 ciclos.

La fabricación de las probetas se llevará a cabo mediante la utilización de un compactador de placa con un rodillo de acero, según la UNE-EN 12697-33. La densidad conseguida deberá ser mayor o igual al 98% de la de referencia obtenida para evaluar el contenido de huecos.

Mezclas bituminosas para capas de base (Art. 542, PG-3)

Pendiente media de deformación en pista en el intervalo de 5000 a 10000 ciclos para capa base (UNE-EN 12697-22 (mm para 10³ ciclos de carga))

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	T00 y T0	T1	T2 y T31
CÁLIDA	0,7	0,7	0,10
MEDIA		0,10	-
TEMPLADA	0,10	-	-

Resistencia a la acción del agua

La resistencia a la acción del agua será evaluada mediante el ensayo de tracción indirecta tras inmersión, realizado a 15 °C, según la UNE-EN 12697-12. Las probetas se compactarán por impacto según la UNE-EN 12697-30, excepto en las mezclas con tamaño máximo superior a 22 mm, las probetas se compactarán con vibración según la UNE-EN 12697-32.

Mezclas bituminosas para capas de base (Art. 542, PG-3)

Resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión a 15°C según la UNE-EN 12697-12

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO (mm)	CARACTERÍSTICA	VALOR
≤ 22	Número de golpes por capa	50
	Resistencia consevada (%)	≥ 80
>22	Segundos de vibración	80
	Resistencia conserada (%)	≥ 80

La versión anterior del Artículo 542 (Orden FOM/891/2004), especificaba la dosificación de estas mezclas a partir de los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall, teniendo en cuenta el tipo de tráfico y el clima, tal como se indica en la siguiente tabla. Si bien este procedimiento se ha retirado de las especificaciones actuales del PG-3, se considera relevante incluirlo en este Vademécum por la experiencia existente en su utilización.

Mezclas bituminosas para capas de base (Art. 542, PG-3)

Huecos y características Marshall (NLT-159)

CARACTERÍSTICA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
	T00 y T0	T1 y T2	T3 y arcenes	T4
Estabilidad (kN)	> 15	> 12,5	> 10	8-12
Deformación (mm)	2-3		2-3,5	2,5-3,5
Huecos en mezcla (%)	Capa intermedia	5-8 (*)	6-9 (*)	5-9
Huecos en áridos (%)	Mezclas -20 y -25	≥ 14		

(*) En mezclas de alto módulo: 4-6%

Ejecución y puesta en obra.

Para la fabricación de la mezcla se han establecido tolerancias admisibles con respecto a la granulometría de la fórmula de trabajo, referidas a la masa total de áridos.

Mezclas bituminosas para capas de base (Art. 542, PG-3)
Tolerancias máximas admisibles.

TOLERANCIA CERNIDO (%)	> 2 mm	±4
	2 mm	±3
	≤ 2 mm	±2
	0,063	±1
TOLERANCIA BETÚN (%)		±0,3

Para conseguir una buena regularidad y compactación la mezcla debe ser extendida y compactada a las temperaturas adecuadas. Se debe controlar esta temperatura de acuerdo con las características de la mezcla y además se debe vigilar que en la compactación no se produzcan ni arrollamientos (mezcla excesivamente caliente) ni fisuras (mezcla compactada en exceso en frío).

El empleo de uno o varios tipos de compactadores facilita la obtención de la compacidad y la regularidad exigidas. Los compactadores de rodillos vibrantes y de neumáticos permiten obtener elevadas compacidades, tanto en superficie como en el fondo de la capa. Los rodillos lisos realizan el planchado final de la mezcla, mejorando su regularidad.

Mezclas bituminosas para capas de base (Art. 542, PG-3)
Especificaciones de la unidad terminada. Compactación y geometría

Densidad (g/cm ³)	Diferencia de cotas	Espesor	Anchura
D > 98% D _{Referencia}	ΔC < 15 mm	e ≥ e _{proyecto}	a ≥ a _{proyecto}

Mezclas bituminosas para capas de base. (Art. 542, PG-3).
Especificaciones de la unidad terminada. Regularidad superficial, IRI.

IRI (dm/hm)	1,5	1,8	2	2,5	3
Porcentaje de hectómetros mínimo con IRI inferior a			50	80	100

Todas estas especificaciones de unidad terminada serán de aplicación sobre el lote, que será considerado como el menor que resulte de aplicar los tres criterios siguientes:

- Quinientos metros (500 m) de calzada.
- Tres mil quinientos metros cuadrados (3.500 m²) de calzada.
- La fracción construida diariamente.

Mezclas bituminosas de alto módulo

La capa de base tiene una gran influencia en el comportamiento estructural del firme. El fallo por fisuración por fatiga es uno de los modos de deterioro más frecuentes de los firmes asfálticos. En este tipo de fallo tiene una gran influencia el comportamiento a fatiga de las mezclas aplicadas en su capa de base. El uso de ligantes modificados de alto módulo, que aumenten la rigidez de la mezcla y su resistencia a fatiga, permite reducir significativamente el espesor de las capas de base.

El tipo de ligante será el BM-1 para las categorías de tráfico pesado T00 y T0, y el B 13/22 para las categorías de tráfico pesado T1 y T2.

Especificaciones complementarias para MAM. (Art. 542, PG-3)

A las mezclas de alto módulo se les añade el requerimiento de un módulo dinámico a 20°C, según la norma UNE-EN 12697-26, anexo C, mayor o igual que 11.000 MPa. Las probetas se compactarán según la UNE-EN 12697-30 aplicando 75 golpes por cara.

Adicionalmente se realizará el ensayo de resistencia a la fatiga con una frecuencia de 30 Hz y a una temperatura de 20 °C, según la norma UNE-EN 12697-24, anexo D. El valor correspondiente a la deformación para un millón de ciclos deberá ser igual o superior a 100 microdeformaciones.

Las mezclas de alto módulo deben ser fabricadas con contenidos altos de ligante (alrededor del 5,3%) para evitar problemas de fragilidad. El PG-3 exige que el contenido de huecos en mezcla esté comprendido entre el 4 y el 6%.

A veces estas mezclas presentan un menor contenido de huecos que el prescrito, este hecho no suele dar problemas de estabilidad por la alta viscosidad del betún, aunque siempre se puede valorar su resistencia a las deformaciones plásticas mediante el ensayo de máquina de pista.

5.3. MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPAS INTERMEDIAS (Art. 542, PG-3)

Las mezclas bituminosas para capas intermedias, colocadas entre las capas de base y rodadura, deben ayudar a conseguir una buena regularidad del firme y a impermeabilizar las capas inferiores. Por ello, han de ser poco permeables y resistentes a las deformaciones plásticas.