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 la 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 Ángeles 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				
		Mín. CPA. UNE -EN 1097-8	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 A	0						10		
													BBTM B	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 trituración 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/cm³)		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 Ángeles
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 asientos 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 cinco 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: B15/25, B35/50, B50/70, B70/100 y B160/220.

Desde principios del 2010 el marcado CE de este tipo de ligantes es obligatorio, debiendo cumplir las especificaciones recogidas en los anexos nacionales de las normas UNE EN 12591 y UNE EN 13924.
En estas especificaciones son básicamente los parámetros: penetración y punto de reblandecimiento, antes y después de envejecimiento, los que definen las características de cada grupo de betunes.

La norma UNE EN 12591 incluye las especificaciones de todos los betunes asfálticos a excepción de los betunes de alto módulo, que se incluyen en la norma UNE EN 13924. 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 las especificaciones recogidas en los anexos nacionales de dichas normas.

Especificaciones betunes asfálticos (UNE EN 12591 y UNE EN 13924)

Denominación artículo 211 del PG-3			**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 25ºC	0,1 mm	EN 1426	15 - 25	35 - 50	50 - 70	70 - 100	160 - 220
Punto de Reblandecimento	ºC	bEN 1427	60 - 70	50 - 58	46 - 54	43 - 51	35 - 43
Punto de Inflamación	ºC	EN ISO 2592	≥ 245	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Solubilidad	%	EN 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	ºC	EN 12593	≤ 3	≤ -5	≤ -8	≤ -10	≤ -15
RESISTENCIA AL ENDURECIMIENTO A 163ºC EN 12607-1							
Variación de masa	%		≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0
Penetración Retenida	%		≥ 55	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 37
Incremento del punto de Reblandecimento	ºC		≤ 10	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12

Los betunes descritos en estos anexos nacionales son equivalentes a los betunes de penetración indicados en la tabla 542.1, cuyas especificaciones se recogen en el artículo 211.

Estas especificaciones no suponen cambios significativos frente a las recogidas actualmente en el PG-3 (ver tabla al final de la sección). Solamente cambian las denominaciones (ver equivalencia en la tabla precedente), 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 el artículo 211 del PG-3 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 ºC y 2 ºC 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 (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.
BETÚN ORIGINAL															
PENETRACIÓN (25 ºC; 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		º C	125	60	72	52	61	48	57	45	53	38	45	34	41
PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS		º C	182		+1		-5		-8		-10		-15		-20
DUCTILIDAD (5cm/min)	a 15ºC	cm	126											100	
	a 25ºC			10		70		90		100		100			
SOLUBILIDAD EN TOLUENO		%	130	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		º C	127	235		235		235		235		220		175	
(*) DENSIDAD RELATIVA (25ºC/25ºC)			122	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 (25ºC; 100g; 5s)		% p.o.	124	60		55		50		45		40		35	
VARIACIÓN DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y BOLA		º C	125		7		8		9		10		11		12
DUCTILIDAD (5 cm/min)	a 15ºC	cm	126											100	
	a 25ºC			5		40		50		75		100			

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.

Existen distintos tipos de betunes modificados con polímero en función de las prestaciones deseadas, siendo los de mayor uso en España:

PMB 10/40-70, 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 tráficos pesados o condiciones especiales.

PMB 25/55-65, BM-2 (Styrelf BM-2) Betunes de penetración 35/50 con un elevado punto de reblandecimiento y consistencia a 60ºC. 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.

PMB 45/80- 60 ó 65, 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.

PMB 75/130-65, BM-4 (Styrelf BM-4 AAF) 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.

PMB 45/80-75 (Styrelf RAF-AV) Betunes modificados de altas prestaciones que permiten la fabricación de mezclas especiales para tratamientos antirremonte de fisuras, Drenantes de alto porcentaje de huecos, mezclas de altas resistencias a los esfuerzos tangenciales o mezclas anti-roderas.

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.

Los betunes modificados con polímero están especificados en el artículo 215 del PG-3 (ver tabla al final de la sección), aunque debido a la entrada en vigor del marcado CE de los betunes modificados, que será obligatorio a partir del 1 de enero de 2012, también tienen que cumplir con las especificaciones recogidas en la norma UNE EN 14023.

En cualquier caso y como sucedía en los betunes convencionales, la introducción de las nuevas especificaciones no supone 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 (ver tabla a continuación).

Especificaciones betunes asfálticos recogidas en el anexo nacional de la norma UNE EN 14023

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

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, así como la no inclusión en el anexo nacional del BM3a y BM5.

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.

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.
BETÚN ORIGINAL																	
PENETRACIÓN (25 ºC; 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		º C	125	70		65		58		60		65		60		55	
PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS		º C	182		-4		-8		-10		-12		-15		-15		-20
DUCTILIDAD (5cm/min)	a 5 º C	cm	126			2		4		25		30		40		50	
	a 25 º C			10													
CONSISTENCIA (Flotador a 60 ºC)		s	183	3000		2000		700		1200		2000		1200		1200	
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO (*) Diferencia Punto Reblandecimiento		º C	328		5		5		5		5		5		5		5
Diferencia Penetración (25 ºC)		0,1 mm			5		8		10		10		10		12		20
RECUPERACIÓN ELÁSTICA	25 º C	%	329			10		15		40		70		60		60	
	40 º C			15													
CONTENIDO EN AGUA (en volumen)		%	123		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2		0,2
PUNTO DE INFLAMACIÓN		º C	127	235		235		235		235		235		220		200	
DENSIDAD RELATIVA (25ºC/25ºC)			122	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		1,0		1,0		1,0		1,4		1,5
PENETRACIÓN (25ºC; 100g; 5s)		% p.o.	124	70		70		65		65		65		60		55	
VARIACIÓN DEL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y BOLA		º C	125	-4	+8	-4	+8	-5	+10	-5	+10	-5	+10	-6	+10	-6	+10
DUCTILIDAD (5 cm/min)	a 5 º C	cm	126			1		2		12		15		20		25	
	a 25 º 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.*

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 ºC		UNE EN 1426	0,1 mm	35-50	50-70
Punto de reblandecimiento anillo y bola		UNE EN 1427	ºC	≥ 58	≥ 53
Punto de fragilidad Fraass		UNE EN 12593	ºC	≤ -5	≤ -8
Fuerza ductilidad (5cm/min)	5 ºC	UNE EN 13589 UNE EN 13703	J/cm^2	≥ 0,5	
Recuperación elástica a 25 ºC		UNE EN 13398	%	≥ 10	
Estabilidad al almacenamiento (*)	Diferencia anillo y bola	UNE EN 13399	ºC	≤ 10	
	Diferencia de penetración		0,1 mm	≤ 8	≤ 10
Solubilidad		UNE EN 12592	%	≥ 92	
Punto de inflamación v/a		UNE EN ISO 22592	ºC	≥ 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	ºC	mín -4 max +8	mín -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.

Betunes modificados 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 ºC		UNE EN 1426	0,1 mm	15 - 30	35 - 50	55 - 70
Punto de Reblandecimiento		UNE EN 1427	ºC	≥ 75	≥ 70	≥ 70
Punto de Fragilidad Fraass		UNE EN 12593	ºC	≤ -4	≤ -8	≤ -15
Fuerza Ductilidad (5cm/min)	5 ºC	UNE EN 13589	J/cm^2	- -	≥ 2	≥ 3
	10 ºC	UNE EN 13703		≥ 2	- -	- -
Consistencia (Flotador a 60 ºC)		NLT 183	s	≥ 3000		
Viscosidad dinámica	135 ºC	UNE EN 13302	mPa.s		≤ 7500	≤ 5000
	170 ºC			≥ 2000	≥ 1200	≥ 800
Recuperación elástica	25 ºC	UNE EN 13398	%	≥ 10	≥ 20	≥ 30
Estabilidad al almacena-miento (*)	Diferencia de anillo y bola	UNE EN 13399	ºC	≤ 5		
	Diferencia de penetración		0,1 mm	≤ 20		
Punto de inflamación v/a		UNE EN ISO 2592	ºC	≥ 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	ºC	mín -4 max +10		mín -5 max +12

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

Otros betunes.

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 ºC	0,1 mm	EN 1426	15-25	35-50
Punto de Reblandecimiento	ºC	EN 1427	64-72	57-66
Punto de Inflamación	ºC	EN ISO 2592	≥ 235	≥ 235
Solubilidad	%	EN 12592	≥ 99%	≥ 99%
Indice de Penetración		Anexo A	+0,1 to +1,3	+0,4 to +1,6
Ptº de Fragilidad Fraass	ºC	EN 12593	≤ -8	≤ -10
Resistencia al endurecimiento a 163ºC en 12607-1				
Penetración Retenida	%	EN 1426	≥ 50	≥ 50
Incremento del Punto de Reblandecimiento	ºC	EN 1427	≤ 8	≤ 8

Betunes de baja temperatura

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 CO_2 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.

Para conseguir la disminución de las temperaturas de trabajo se ha trabajado en distintas direcciones, bien sea modificando los procesos de fabricación de las mezclas (áridos húmedos), bien añadiendo distintos tipos de productos (zeolitas) o utilizando ligantes especiales (betunes de baja temperatura para mezclas semicalientes y emulsiones para mezclas templadas).

Las mezclas semicalientes son mezclas cuya fabricación puesta en obra y propiedades son idénticas a las de las mezclas en caliente, pero que debido a la utilización de los denominados betunes de baja temperatura pueden reducir sus temperaturas de fabricación y puesta en obra hasta en 40 ºC con la consiguiente disminución de consumo energético y emisiones.

En el caso de los betunes de baja temperatura, existen diferentes técnicas para reducir la temperatura de fabricación de la mezcla asfáltica: unas se basan en la reducción de la viscosidad del betún, mediante la aditivación con ceras, que cambian completamente la reología de los mismos y otras en la reducción de la tensión superficial en la interfase árido-ligante, utilizando betunes especiales. Este tipo de betunes, tienen la ventaja de que su comportamiento reológico es equivalente al de los ligantes convencionales, cumpliendo sin problemas las especificaciones recogidas en la norma EN 12591 y teniendo por tanto su correspondiente marcado CE.

PROAS ha desarrollado una gama completa de BETUNES DE BAJA TEMPERATURA, a partir de betunes betunes “convencionales” (CEPSASFALT BT 35/50 y CEPSASFALT BT 50/70) y “modificados” (STYRELF BT y STYRELF RAF BT).

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 transmitirlas 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 semidenso 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 AC22 base G AC32 base G AC22 base S MAM (**)	S25 G20 G25 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)								
		45	32	22	16	8	2	0,5	0,25	0,063
Semidensa	AC32 S	100	90-100		68-82	48-63	24-38	11-21	7-15	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

<table>
<tr><th>Tráfico / Zona</th><th>T00</th><th>T0</th><th>T1</th><th>T2</th><th>T3</th></tr>
<tr><td>Cálida</td><td colspan="2" rowspan="2">BM-2
BC35/50
BC50/70
B 40/50
B 60/70</td><td rowspan="2">BC35/50
BC50/70
B 40/50
B 60/70</td><td colspan="2">BC50/70
B 60/70</td></tr>
<tr><td>Media</td><td colspan="2">BC50/70
B 60/70
B 80/100</td></tr>
<tr><td>Templada</td><td colspan="3">BC50/70
B 60/70
B 80/100</td><td>B 80/100</td><td>B 80/100</td></tr>
</table>

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 ó 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/cm^3:

$\alpha = \frac{2{,}65}{\rho_d}$, donde ρ_d es la densidad de la 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 filleres 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 ºC y con una duración de 10.000 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 5.000 a 10.000 ciclos para capa base (UNE-EN 12697-22 (mm para 10^3 ciclos de carga))

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	T00 y T0	T1	T2 y T31
Cálida	0,07	0,07	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 ºC, 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 15ºC 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 de base	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
$D > 98\% D_{Referencia}$	$\Delta C < 15$ mm	$e \geq e_{proyecto}$	$a \geq a_{proyecto}$

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 m^2) de calzada.
- La fracción construida diariamente.

5.2.1. 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 20ºC, 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 ºC, 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.

En la siguiente tabla se resumen 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
Intermedia	5-10	AC22 bin D AC22 bin S AC32 bin S AC22 bin S MAM (**)	D20 S20 S25 MAM (**)

(*) en la denominación se omite el tipo de ligante
(**) espesor máximo de 6 cm

Mezclas bituminosas para capas intermedias (Art. 542, PG-3)
Husos granulométricos

TIPO DE MEZCLA		TAMAÑO DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)								
		45	32	22	16	8	2	0,500	0,250	0,063
Densa	AC22 D		100	90-100	73-88	55-70	31-46	16-27	11-20	4-8
Semidensa	AC22 S		100	90-100	70-88	50-66	24-38	11-21	7-15	3-7
	AC32 S	100	90-100		68-82	48-63	24-38	11-21	7-15	3-7
Alto módulo	AC22 bin S MAM		100	90-100	70-88	50-66	24-38	11-21	8-15	5-9

Mezclas bituminosas para capas intermedias (Art. 542, PG-3)
Tipos de betunes

Tráfico / Zona	T00	T0	T1	T2 y T31	T32 y ARCENES	T4
Cálida	BM-2 BM-3c BC35/50 B40/50		BM-2 BM-3c BM-3b BC35/50 BC50/70 B40/50 B60/70	BM-3b BC35/50 BC50/70 B40/50 B60/70	BC50/70 B60/70	BC50/70 B60/70 B80/100
Media	BM-3c BM-3b BC35/50 BC50/70 B40/50 B60/70		BM-3b BC35/50 BC50/70 B40/50 B 60/70	BM-3b BC50/70 B60/70	BC50/70 B60/70 B80/100	
Templada	BM-3c BM-3b BC50/70 B60/70		BM-3b BC50/70 B60/70 B80/100			

NOTA: En las mezclas bituminosas de alto módulo se empleará el BM-1 para las categorías de tráfico T00 y T0, y el B13/22 para las categorías de tráfico T1 y T2.

Criterios de diseño.

Para diseñar las mezclas bituminosas para estas capas se consideran el contenido de huecos en mezcla obtenido en una probeta compactada por impacto (tipo Marshall) o vibratorio, complementado con el ensayo de pista de laboratorio.

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 intermedia	4-6	5-8 (*)	4-8	4-8 (**)

(*) En las mezclas bituminosas de alto módulo: 4-6.
(**) En vías de servicio.
(***) Excepto en mezclas con D>22mm, 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 intermedias, con tamaño máximo de 22 ó 32 mm, el contenido de huecos en áridos deberá ser superior o igual a 14%.

También se deben respetar los contenidos mínimos de betún y de polvo mineral de aportación, así como considerar la relación recomendada entre ambos.

Mezclas bituminosas para capas intermedias (Art. 542, PG-3)
Dotación mínima de betún (sobre el total de mezcla bituminosa, incluido el polvo mineral)

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
Intermedia	Densa y semidensa	4,00
	Alto módulo	4,50

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 la partículas del árido.

Mezclas bituminosas para capas intermedias (Art. 542, PG-3)
Proporción de polvo mineral (%)

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

Mezclas bituminosas para capas intermedias (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
Intermedia	1,1	1,0

(*) 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 filleres 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 ºC y con una duración de 10.000 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 intermedias (Art. 542, PG-3)
Pendiente media de deformación en pista en el intervalo de 5.000 a 10.000 ciclos para capa de rodadura e intermedia (UNE-EN 12697-22 (mm para 10^3 ciclos de carga))

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 y T0	T1	T2	T3 y ARCENES	T4
Cálida	0,07			0,10	-
Media	0,07		0,10		-
Templada	0,10			-	

(*) En las mezclas bituminosas de alto módulo la pendiente media de deformación en pista será de 0,07.

Es importante comprobar la resistencia de las mezclas bituminosas mediante el ensayo de pista, sobre todo en el caso de las mezclas tipo AC D, que pueden ser críticas con betunes B-60/70, por su gran cantidad de mástico (finos y ligante) y posible bajo porcentaje de huecos.

Resistencia a la acción del agua

La resistencia a la acción del agua se evaluará mediante el ensayo de tracción indirecta tras inmersión, realizado a 15 ºC, 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 intermedias (Art. 542, PG-3)
Resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión a 15ºC según la UNE-EN 12697-12

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

La versión anterior del Artículo 542 (Orden FOM/891/2004) especificaba los criterios diseño de estas mezclas a partir de los resultados obtenidos con el ensayo Marshall, considerando el tipo de tráfico y el clima, tal como se indica en la siguiente tabla. Este procedimiento se ha retirado de las especificaciones actuales del PG-3; pero se ha incluido en este documento debido a la vasta experiencia previa en el diseño de mezclas con este método.

Mezclas bituminosas para capas intermedias (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	4 - 6	5 - 8	4 - 8	4 - 8 (*)
Huecos en áridos (%)	Mezclas -20 y -25	≥ 14			

(*) En vías de servicio

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 intermedias (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 su ejecución y control se deben seguir las mismas recomendaciones que para las mezclas para capa de base.

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

DENSIDAD (g/cm^3) espesor >6 cm	**DENSIDAD (g/cm^3)** espesor <6 cm	**DIFERENCIA DE COTAS**	**ESPESOR**	**ANCHURA**
$D > 98\% D_{Referencia}$	$D > 97\% D_{Referencia}$	$\Delta C < 10$ mm	$e \geq e_{proyecto}$	$a \geq a_{proyecto}$

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

IRI (dm/hm)		**1,5**	**1,8**	**2**	**2,5**
Porcentaje de hectómetros mínimo con IRI inferior a	Autopistas y autovías	50	80	100	
	Resto de vías	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 m^2) de calzada.
• La fracción construida diariamente.

Mezclas bituminosas de alto módulo

Este tipo de mezclas pueden utilizarse en capa intermedia y su diseño se realizará de forma similar a lo descrito en el apartado anterior de mezclas para capa de base.

5.4. MEZCLAS BITUMINOSAS PARA CAPA DE RODADURA

Las mezclas bituminosas para capas de rodadura desempeñan funciones tanto estructurales como funcionales. No obstante, en el diseño de estas capas se debe primar más lo segundo que lo primero. Esto ha llevado al uso

de mezclas especiales para capas de rodadura, mezclas porosas y mezclas discontinuas tipo BBTM A y BBTM B, de elevada textura y excelente comportamiento en vías rápidas o con presencia de agua.

5.4.1 Hormigones bituminosos (PG-3, Art. 542)

Son mezclas poco permeables, muy resistentes a la acción abrasiva del tráfico, pero cuya macrotextura es relativamente baja y pueden no ser muy adecuadas para tráficos rápidos y climas lluviosos.

A continuación se presenta una tabla con 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
Rodadura	4 - 5	AC16 surf D AC16 surf S	D12 S12
	> 5	AC22 surf D AC22 surf S	D20 S20

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

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Husos granulométricos

TIPO DE MEZCLA		TAMAÑO DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)								
		32	22	16	8	4	2	0,500	0,250	0,063
Densa	AC16 D		100	90 - 100	64 - 79	44 - 59	31- 46	16 - 27	11 - 20	4 - 8
	AC22 D	100	90 - 100	73 - 88	55 - 70		31 - 46	16 - 27	11 - 20	4 - 8
Semidensa	AC16 S		100	90 - 100	60 - 75	35 - 50	24 - 38	11 - 21	7 - 15	3 - 7
	AC22 S	100	90 - 100	70 - 88	50 - 66		24 - 38	11 - 21	7 - 15	3 - 7

Todas las mezclas bituminosas elaboradas para capas de rodadura que correspondan a categorías de tráfico T00 y T0 deben ser elaboradas con betunes modificados.

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Tipos de betunes

Tráfico / Zona	T00	T0	T1	T2 y T31	T32 y ARCENES	T4
Cálida	BM-2 BM-3c BC35/50		BM-2 BM-3c BM-3b BC35/50 BC50/70 B40/50 B60/70	BM-3b BC35/50 BC50/70 B40/50 B60/70	BC50/70 B60/70	BC50/70 B60/70 B80/100
Media	BM-3c BM-3b BC35/50 BC50/70		BM-3b BC35/50 BC50/70 B40/50 B60/70	BM-3b BC50/70 B60/70	BC50/70 B60/70 B80/100	
Templada	BM-3c BM-3b BC50/70		BM-3b BC50/70 B60/70 B80/100			

Criterios de diseño

El diseño de las mezclas bituminosas tipo AC S y AC D para capas de rodadura se lleva a cabo a partir del contenido de huecos obtenido en una probeta compactada por impacto (tipo Marshall). Cuando el tamaño máximo del árido de las mezclas supera los 22 mm la probeta se compactará por vibración.

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Contenido de huecos en mezcla (UNE-EN 12697-8 en probetas UNE-EN 12697-30 (75 golpes por cara) (*)

CARACTERÍSTICA		CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO			
		T00 y T0	T1 y T2	T3 y ARCENES	T4
Huecos en mezcla (%)	**Capa de rodadura**	4 - 6		3 - 5	

(*)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 mezcla con tamaño máximo de 16 mm, deberá ser mayor o igual al 15%, mientras que en mezclas con tamaño máximo de 22 ó 32 mm, deberá ser superior o igual a 14%.

También se deben respetar los contenidos mínimos de betún y de polvo mineral de aportación, así como considerar la relación recomendada entre ambos.

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Dotación mínima de betún (sobre el total de mezcla bituminosa, incluido el polvo mineral)

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
Rodadura	AC D y AC S	4,50

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 la partículas del árido

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Proporción de polvo mineral (%)

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00	T0 y T1	T2	T3 y ARCENES	T4
Rodadura	100			≥ 50	

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Relación filler/betún recomendable (*)

TIPO DE CAPA	ZONA TÉRMICA ESTIVAL	
	CÁLIDA Y MEDIA	TEMPLADA
Rodadura	1,2	1,1

(*) 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 filleres 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 ºC y con una duración de 10.000 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 superior al 98% de la obtenida en probetas elaboradas según la UNE-EN 12697-30, mediante 75 golpes por cara.

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Pendiente media de deformación en pista en el intervalo de 5.000 a 10.000 ciclos para capa de rodadura e intermedia (UNE-EN 12697-22 (mm para 10^3 ciclos de carga))

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO				
	T00 y T0	T1	T2	T3 y ARCENES	T4
Cálida	0,07			0,10	-
Media	0,07		0,10		-
Templada	0,10			-	

(*) En mezclas bituminosas de alto módulo la pendiente media de deformación en pista será de 0,07.

La resistencia de las mezclas bituminosas tipo AC D y AC S empleadas en capas de rodadura es susceptible a pequeñas variaciones en la composición de la mezclas o al tipo de betún empleado.

Resistencia a la acción del agua

La resistencia a la acción del agua se determinará mediante el ensayo de tracción indirecta tras inmersión, realizado a 15 ºC, según la UNE–EN 12697-12. Las probetas se compactarán por impacto con 50 golpes por cara (UNE-EN 12697-30).

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión a 15ºC según la UNE-EN 12697-12

CARACTERÍSTICA	VALOR
Número de golpes por capa	50
Resistencia consevada (%)	≥ 80

En la versión anterior del Artículo 542 (Orden FOM/891/2004), los criterios diseño de estas mezclas se basaban en los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall, tal como se recoge en la tabla siguiente. A pesar de que este procedimiento se ha retirado de las especificaciones actuales del PG-3, se ha decidido incluirlo teniendo en cuenta que ha sido empleado durante muchos años en España.

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (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 rodadura	4-6		3-5	
Huecos en áridos (%)	Mezclas -12	≥ 15			
	Mezclas -20 y -25	≥ 14			

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 rodadura (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 su ejecución y control se deben seguir las mismas recomendaciones que para las mezclas para capas de base e intermedia.

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

DENSIDAD (g/cm³)	DIFERENCIA DE COTAS	ESPESOR	ANCHURA
$D > 97\% D_{Referencia}$	$\Delta C < 10$ mm	$e \geq e_{proyecto}$	$a \geq a_{proyecto}$

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

IRI (dm/hm)		1,5	1,8	2	2,5
Porcentaje de hectómetros mínimo con IRI inferior a	Autopistas y autovías	50	80	100	
	Resto de vías	50		80	100

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

IRI (dm/hm)				1,5	1,8	2	2,5	2,5
Porcentaje de hectómetros mínimo con IRI inferior a	Autopistas y autovías	Espesor recrecimiento	> 10 cm	50	80	100		
			≤ 10 cm	50		80	100	
	Resto de vías	Espesor recrecimiento	> 10 cm	50		80	100	
			≤ 10 cm			50	80	100

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Especificaciones de la unidad terminada. Textura y adherencia

TIPO DE MEZCLA	DENSAS Y SEMIDENSAS
Macrotextura superficial (UNE-EN 13036-1) (mm) (*)	0,7
Coeficiente mínimo rozamiento transversal (NLT-336) (%) (**)	65

(*) Medida antes de la puesta en servicio de la capa.
(**) Medida una vez transcurridos dos meses de la puesta en servicio de la capa.

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 m^2) de calzada.
• La fracción construida diariamente.

5.4.2 Mezclas drenantes (PG-3, Art. 543)

Las mezclas drenantes ofrecen unas características especiales como capa de rodadura para mejorar la seguridad y comodidad del tráfico. Están especialmente indicadas para eliminar o reducir el problema de hidroplaneo de los vehículos con lluvia o pavimento mojado y para reducir el ruido de rodadura. Por el contrario, estas mezclas presentan una menor resistencia a los efectos abrasivos del tráfico y pueden colmatarse en zonas donde no llueve con frecuencia y se acumule la suciedad.

De acuerdo con la Norma 6.1 IC Instrucción de carreteras, las mezclas drenantes se colocarán en capas de 4 a 5 cm de espesor y sólo podrán

aplicarse en carreteras sin problemas de nieve o de formación de hielo, cuyos accesos estén pavimentados, con tráfico suficiente (IMD ≥ 5.000 vehículos/día) y con un régimen de lluvias razonablemente constante que facilite su limpieza. No se utilizarán sobre tableros de estructuras que no estén debidamente impermeabilizados y en todo caso deberán preverse sistemas específicos de captación y de eliminación del agua infiltrada a través de la superficie del pavimento.

Para mejorar la eficacia de las mezclas drenantes y reducir el problema de su colmatación, se está usando también la doble capa drenantes, consistente en colocar en la parte inferior una primera capa de mezcla drenante fabricada con un árido más grueso, de 12 a 20 mm., que proporciona unos huecos de mayor tamaño, más difíciles de colmatar por el polvo, mientras que la capa superior tiene un menor tamaño de árido, 8 a 10 mm., con objeto de proporcionar una mayor comodidad, una menor sonoridad al usuario y una mayor capacidad para evacuar el agua.

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Husos granulométricos mezclas drenantes

TIPO DE MEZCLA		TAMAÑO DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)							
		22	16	11,2	8	4	2	0,5	0,063
Drenante	PA11		100	90 - 100	50 - 70	13 - 27	10 - 17	5 - 12	3 - 6
	PA16	100	90 - 100		40 - 60	13 - 27	10 - 17	5 - 12	3 - 6

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Tipos de betunes. Mezclas drenantes

TRÁFICO	T00 y T0	T1	T2 (*) y T31	T32 y ARCENES
Tipo de ligante	BM-3c	BM-3c BM-3a BM-3b	BM-3a BM-3b BC50/70 B60/70	BC50/70 B60/70 B80/100

(*) Para tráfico T2 se emplearán betunes modificados en autovías y cuando la IMD sea superior a 5.000 vehículos por día y carril.

Criterios de diseño

En las mezclas drenantes se determina el porcentaje de huecos en mezcla, determinado según la UNE-EN 12697-8 en probetas compactadas de acuerdo con la UNE-EN 12697-30, que no debe ser inferior al 20%. Complementariamente, se calcula la pérdida por desgaste mediante el ensayo de Pérdida de partículas a 25 ºC, UNE-EN 12697-17, en seco y tras inmersión, que deberá cumplir con los límites indicados. La sensibilidad al agua se evalúa determinando la resistencia conservada mediante el ensayo de tracción indirecta a 15ºC, según la UNE-EN 12697-12 y en probetas compactadas de acuerdo con la UNE-EN 12697-30.

Mezclas drenantes para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Criterios de dosificación con el ensayo de pérdida de partículas (UNE-EN 12697-17) en probetas compactadas según la UNE-EN 12697-30 con 50 golpes por cara

ENSAYO	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
	T00 a T2	T3 y T4
Pérdida de partículas a 25ºC	20	25

Mezclas drenantes para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión a 15ºC según la UNE-EN 12697-12

CARACTERÍSTICA	VALOR
Número de golpes por capa	50
Resistencia conservada (%)	≥ 85

La versión anterior del Artículo 542 (Orden FOM/891/2004) especificaba que la determinación de la resistencia a la acción del agua se debía determinar mediante el ensayo Cántabro a 25 ºC tras inmersión, que debería cumplir con los límites indicados en la tabla.

Mezclas drenantes para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Criterios de dosificación con el ensayo Cántabro (NLT-352)

ENSAYO CÁNTABRO	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO		
	T00 a T1	T2 a T3	T4
Tras inmersión (24 h a 60 ºC)	35	40	

En estas mezclas se deberá comprobar que no se produce escurrimiento del ligante, mediante el ensayo recogido por la UNE-EN 12697-18. También se deben respetar unos contenidos mínimos de betún y de polvo mineral de aportación.

Mezclas drenantes para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Dotación mínima de betún (sobre el total de mezcla bituminosa)

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA (%)
Rodadura	Drenante	4,3

Factor de multiplicación cuando los áridos tienen densidad diferente de 2,65 g/cm^3:

$\alpha = \frac{2{,}65}{\rho_d}$, donde ρ_d es la densidad de la partículas del árido.

Mezclas drenantes para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Proporción de polvo mineral de aportación (%)

TIPO DE CAPA	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
	T00, T0, T1 y T2	T3 , T4 y ARCENES
Rodadura	100	≥ 50

La relación ponderal recomendable entre el contenido de filler y de betún, está comprendida entre 0,9 y 1,1. No obstante 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 filleres volumétricamente a partir de su concentración crítica.

Ejecución y puesta en obra

Para la fabricación de las mezclas drenantes 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 rodadura (Art. 543, PG-3)
Tolerancias máximas admisibles

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

Las mezclas drenantes se compactan con facilidad mediante el empleo de rodillos lisos que permiten conseguir una excelente regularidad. Aunque no es necesario una elevada energía de compactación, ésta debe realizarse adecuadamente, pues si no se produciría la rápida disgregación de la mezcla.

Mezclas drenantes para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Especificaciones de la unidad terminada. Huecos y geometría

HUECOS (%)	DIFERENCIA DE COTAS	ESPESOR	ANCHURA
$H_{mezcla} = H_{mezcla\ referencia} \pm 2\%$	$\Delta C < 10$ mm	$e \geq e_{proyecto}$	$a \geq a_{proyecto}$

El tiempo de evacuación del agua en el permeámetro LCS (NLT-327) permite controlar la porosidad y capacidad de la mezcla colocada y compactada, no debiéndose aceptar capas cuyos tiempos de evacuación no estén conformes con el porcentaje de huecos de la mezcla proyectada.

Mezclas drenantes para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Especificaciones de la unidad terminada. Regularidad superficial IRI

IRI (dm/hm)		1,5	1,8	2	2,5
Porcentaje de hectómetros mínimo con un IRI inferior a	Autopistas y autovías	50	80	100	
	Resto de vías	50		80	100

Mezclas drenantes para capas de rodadura (Art. 542, PG-3)
Especificaciones de la unidad terminada. Textura y adherencia

TIPO DE MEZCLA	PA
Macrotextura superficial (UNE-EN 13036-1) (mm) (*)	1,5
Coeficiente mínimo rozamiento transversal (NLT-336) (%) (**)	60

(*) Medida antes de la puesta en servicio de la capa
(**) Medida una vez transcurridos dos meses de la puesta en servicio de la capa

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 m^2) de calzada.
- La fracción construida diariamente.

5.4.3 Mezclas discontinuas (PG-3, Art. 543)

Las mezclas discontinuas se colocan en capas muy finas, 2-3 cm y ofrecen una excelente macrotextura, adecuada para mejorar la seguridad de rodadura con lluvia y pavimento mojado y para reducir, también, el ruido de rodadura.

En la tabla siguiente se aprecia la nueva denominación para estas mezclas discontinuas y su equivalencia con la denominación anterior.

DENOMINACIÓN UNE-EN 13108-1*	DENOMINACIÓN ANTERIOR
BBTM 8A	F8
BBTM 11A	F10
BBTM 8B	M8
BBTM 11B	M10

Son mezclas de granulometría similar a las porosas, pero con un mayor contenido de betún asfáltico y finos, por lo que tienen unas prestaciones funcionales próximas a las porosas, pero con una mayor resistencia a la

abrasión del tráfico. Tienen una discontinuidad entre los tamaños 2 y 4 mm, distinguiéndose dos tipos de mezclas según su mayor contenido de arena: BBTM B y BBTM A.

La Instrucción de carreteras, Norma 6.1 IC, recomienda el uso de estas mezclas para las categorías de tráfico pesado T00 a T1.

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Husos granulométricos

TIPO DE MEZCLA		TAMAÑO DE LOS TAMICES UNE-EN 933-2 (mm)							
		16	11,2	8	5,6	4	2	0,5	0,063
BBTM A	BBTM 8A		100	90-100	50-70	28-38	25-35	12-22	7-9
	BBTM 11A	100	90-100	62-82		28-38	25-35	12-22	7-9
BBTM B	BBTM 8B		100	90-100	42-62	17-27	15-25	8-16	4-6
	BBTM 11B	100	90-100	60-80		17-27	15-25	8-16	4-6

Tipos de betunes

Mezclas bituminosas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Tipos de betunes. Mezclas discontinuas

TRÁFICO	T00 y T0	T1	T2(*) y T31	T32,T4 y ARCENES
Tipo de ligante	BM-3c	BM-3c BM-3b	BM-3b BC50/70 B60/70	BC50/70 B60/70 B80/100

(*) Para tráfico T2 se emplearán betunes modificados en autovías cuando la IMD sea superior a 5.000 vehículos por día y por carril.

Criterios de diseño

La dosificación de las mezclas discontinuas se lleva a cabo mediante el análisis de huecos, el ensayo de pista de laboratorio y el ensayo de tracción indirecta.

Mezclas discontinuas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Contenido de huecos en mezcla (UNE-EN 12697-8) en probetas compactadas según UNE-EN 12697-30 (50 golpes por cara)

TIPO DE MEZCLA	HUECOS (%)
BBTM A	≥ 4
BBTM B	≥ 12

Mezclas discontinuas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Pendiente media de deformación en pista en el intervalo de 5.000 a 10.000 según UNE-EN 12697-22 (mm para 1.000 ciclos de carga)

ZONA TÉRMICA ESTIVAL	CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
	T00 a T2	T3, T4 y ARCENES
Cálida y Media	0,07	0,10
Templada		-

Mezclas discontinuas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión a 15ºC según la UNE-EN 12697-12

CARACTERÍSTICA	VALOR
Número de golpes por capa	50
Resistencia conservada (%)	≥ 90

La versión anterior del Artículo 542 (Orden FOM/891/2004) especificaba que la determinación de la resistencia a la acción del agua en las mezclas BBTM B (tipo M) se debía determinar mediante el ensayo Cántabro a 25 ºC tras inmersión, que debería cumplir con los límites indicados en la tabla.

Mezclas tipo M para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Criterios de dosificación con el ensayo Cántabro (NLT-352)

CARACTERÍSTICA	VALOR
Número de golpes por capa	50
Pérdida por abrasión en húmedo (1 día, 60ºC) (%)	≤ 25

El PG-3 también indica para estas mezclas la dotación mínima de ligante y de polvo mineral a emplear así como la cantidad de mezcla a emplear por metro cuadrado. Por otra parte, estas mezclas se colocan en capas muy finas y están sometidas a fuertes esfuerzos tangenciales. Se debe colocar una dotación mínima de riego de adherencia, recogido en la tabla, recomendándose el uso de emulsiones modificadas y termoadherentes modificadas (Styemul Adherencia) con las ventajas adicionales que conlleva el uso de este tipo de emulsiones.

Mezclas discontinuas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Dotaciones mínimas de mezcla, ligante y riego de adherencia

CARACTERÍSTICA		TIPO DE MEZCLA			
		BBTM 8B	BBTM 11B	BBTM 8A	BBTM 11A
DOTACIÓN MEDIA DE MEZCLA (kg/m^2)		35-50	55-70	40-55	65-80
DOTACIÓN MÍNIMA (*) DE LIGANTE (% en masa sobre el total de la mezcla)		4,75		5,20	
LIGANTE RESIDUAL EN RIEGO DE ADHERENCIA (kg/m^2)	Firme nuevo	> 0,3		> 0,25	
	Firme antiguo	> 0,4		> 0,35	

(*) Incluidas las tolerancias indicadas más adelante

Cuando la densidad de los áridos sea diferente de 2,65 g/cm^3, los contenidos mínimos de ligante de la tabla se deben corregir multiplicando por el factor:

$\alpha = \frac{2{,}65}{\rho_d}$, donde ρ_d es la densidad de la partículas del árido.

Mezclas discontinuas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Proporción de polvo mineral de aportación (%)

CATEGORÍA DE TRÁFICO PESADO	
T00 a T2	**T3, T4 y ARCENES**
100	≥ 50

Mezclas discontinuas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Relación ponderal recomendable entre el contenido de polvo mineral y ligante (*)

TIPO DE MEZCLA	RELACIÓN f/b
BBTM A	1,2 -1,6
BBTM B	1,0 -1,2

(*) 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 filleres volumétricamente a partir de su concentración crítica.

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

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

Ejecución y puesta en obra

Tanto las mezclas BBTM A como las BBTM B son relativamente fáciles de compactar, no requieren equipos pesados de compactación, se realizan básicamente con rodillos lisos sin vibración, pero dado su pequeño espesor es difícil controlar la compacidad conseguida. Por ello, y para asegurar una buena compactación, fundamental para su buen comportamiento, es importante controlar su ejecución, en especial, la temperatura de compactación y el número de pasadas.

Las mezclas tipo BBTM A deben cumplir con un porcentaje mínimo de densidad del 98% con respecto a un valor tomado como referencia. En las mezclas tipo BBTM B con espesores mayores o iguales que 2,5 cm, el porcentaje de huecos no podrá diferir en más de 2% con respecto al de referencia. Cuando las mezclas tipo BBTM B se colocan en espesores menores de 2,5 cm., se puede controlar la compactación alcanzada utilizando la relación entre la dotación de mezcla y el espesor de capa conseguidos en el tramo de prueba.

Mezclas discontinuas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Especificaciones de la unidad terminada. Huecos, densidad y geometría

TIPO DE MEZCLA		**DIFERENCIA DE COTAS**	**ESPESOR**	**ANCHURA**
BBTM B (≥ 2,5 cm)	**BBTM A**			
HUECOS (%)	**DENSIDAD (g/cm^3)**			
$H_{mezcla} = H_{referencia} \pm 2\%$	$D > 98\% D_{Referencia}$	$\Delta C < 10$ mm	$e \geq e_{proyecto}$	$a \geq a_{proyecto}$

Mezclas discontinuas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Especificaciones de la unidad terminada. Regularidad, IRI

IRI (dm/hm)			1,5	1,8	2	2,5	3
Porcentaje de hectómetros mínimo con IRI inferior a	Nueva construcción	Autopistas y autovías (A)	50	80	100		
		Resto de vías (RV)	50		80	100	
	Rehabilitación	Espesor de recrecimiento > 10 cm (A)	50	80	100		
		Espesor de recrecimiento > 10 cm (RV)	50		80	100	
		Espesor de recrecimiento < 10 cm (A)	50		80	100	
		Espesor de recrecimiento < 10 cm (RV)	50			80	100

(A): Autopistas y autovías (RV): Resto de vías

Mezclas discontinuas para capas de rodadura (Art. 543, PG-3)
Especificaciones de la unidad terminada. Textura y adherencia

TIPO DE MEZCLA	BBTM B	BBTM A
Mínima macrotextura superficial (UNE-EN 13036-1) (mm) (*)	1,5	1,1
Mínimo coeficiente mínimo rozamiento transversal (NLT-336) (%) (**)	60	65

(*) Medida antes de la puesta en servicio de la capa.
(**) Medida una vez transcurridos dos meses de la puesta en servicio de la capa.

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 m^2) de calzada.
- La fracción construida diariamente.