

**INSTRUCCIONES GENERALES
PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS
Y EJECUCIÓN DE UNIDADES DE OBRAS MÁS SOSTENIBLES**

**PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES
MEZCLAS BITUMINOSAS MÁS SOSTENIBLES**

OCTUBRE 2021

ÍNDICE

PREÁMBULO.....	6
1 MEZCLAS BITUMINOSAS MÁS SOSTENIBLES.....	8
1.1 OBJETIVOS.....	8
1.2 REQUISITOS PARA UNAS MEZCLAS BITUMINOSAS MÁS SOSTENIBLES	8
1.3 PROCEDIMIENTOS QUE HACEN MÁS SOSTENIBLES LAS MEZCLAS BITUMINOSAS Y RECOMENDACIONES DE USO	8
1.3.1 Mezclas bituminosas con incorporación de material bituminoso reciclado (RA)	9
1.3.2 Procedimientos para rebajar la temperatura de trabajo de las mezclas bituminosas.....	10
1.3.3 Mezclas bituminosas tipo SMA.....	11
1.3.4 Mezclas bituminosas ultradelgadas (AUTL).....	11
1.3.5 Mezclas bituminosas con incorporación de polvo de caucho procedente de neumáticos al final de su vida útil (NFVU).....	12
1.4 TABLA RESUMEN DE USOS MÁS COMUNES SEGÚN EL TIPO DE MEZCLA BITUMINOSA.....	13
2 MEZCLAS BITUMINOSAS CON INCORPORACIÓN DE MATERIAL BITUMINOSO RECICLADO (RA).....	16
2.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	16
2.1.1 Normativa	16
2.1.2 Sostenibilidad.....	16
2.2 DEFINICIONES.....	16
2.3 RECICLADO <i>IN SITU</i> CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS.....	17
2.4 RECICLADO TEMPLADO.....	17
2.5 MEZCLAS BITUMINOSAS CALIENTES O SEMICALIENTES CON INCORPORACIÓN DE RA.....	17
2.5.1 Documentación acreditativa del RA de la propia obra.....	18
2.5.2 Reciclado en caliente y semicaliente en central de capas bituminosas de rodadura: mezclas drenantes, discontinuas y SMA.....	19
2.6 CONSIDERACIONES FINALES.....	21
3 MEZCLAS BITUMINOSAS A BAJA TEMPERATURA.....	22
3.1 CONSIDERACIONES GENERALES.....	22
3.1.1 Normativa	22
3.1.2 Sostenibilidad.....	22
3.1.3 Tipos de mezclas bituminosas en función de las temperaturas de trabajo.....	23
3.2 MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO.....	23
3.2.1 Abiertas en frío	23
3.2.2 Reciclado <i>in situ</i> con emulsión.....	23

3.3	MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS	24
3.3.1	Mezclas bituminosas templadas cerradas.....	24
3.3.2	Mezclas bituminosas templadas discontinuas y drenantes.....	24
3.4	MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES	24
3.4.1	Espumación del betún	25
3.4.2	Utilización de betunes aditivados.....	25
3.4.3	Incorporación secuenciada de constituyentes	26
3.5	CONSIDERACIONES FINALES	26
4	MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO SMA.....	27
4.1	CONSIDERACIONES GENERALES	27
4.1.1	Normativa	27
4.1.2	Sostenibilidad.....	27
4.2	DEFINICIÓN.....	27
4.3	CONSIDERACIONES TÉCNICAS	27
5	MEZCLAS BITUMINOSAS ULTRADELGADAS (AUTL).....	29
5.1	CONSIDERACIONES GENERALES	29
5.1.1	Normativa	29
5.1.2	Sostenibilidad.....	29
5.2	DEFINICIÓN.....	29
5.3	EJECUCIÓN DE LAS OBRAS	29
5.3.1	Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo	30
5.3.2	Fabricación de la mezcla.....	30
5.3.3	Extensión y compactación.....	31
5.4	TRAMO DE PRUEBA.....	31
5.5	CONTROL DE EJECUCIÓN Y DE CALIDAD.....	31
6	MEZCLAS BITUMINOSAS CON INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL (NFVU).....	32
6.1	CONSIDERACIONES GENERALES	32
6.1.1	Normativa	32
6.1.2	Sostenibilidad.....	32
6.2	DEFINICIÓN.....	32
6.3	VENTAJAS QUE APORTA EL NFVU A LAS MEZCLAS BITUMINOSAS	32
6.4	TÉCNICAS DE INCORPORACIÓN DEL POLVO DE CAUCHO EN LAS MEZCLAS BITUMINOSAS	33
6.5	DESIGNACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS CON POLVO DE CAUCHO	34

6.6	POLVO DE CAUCHO.....	35
6.6.1	Definición	35
6.6.2	Características químicas.....	35
6.6.3	Características físicas.....	35
6.6.3.1	<i>Densidad</i>	35
6.6.3.2	<i>Humedad</i>	35
6.6.3.3	<i>Granulometría</i>	36
6.6.3.4	<i>Contenido de impurezas</i>	36
6.6.3.5	<i>Transporte y almacenamiento</i>	36
6.6.3.6	<i>Recepción e identificación</i>	36
6.6.3.7	<i>Control de recepción</i>	38
6.6.3.8	<i>Criterios de aceptación o rechazo</i>	38
6.7	EJECUCIÓN DE LAS OBRAS POR VÍA HÚMEDA.....	38
6.7.1	Requisitos.....	39
6.7.1.1	<i>Betunes mejorados con caucho (BC)</i>	39
6.7.1.2	<i>Betunes modificados con caucho (BMC) y modificados con caucho de alta viscosidad (BMCAV)</i>	39
6.7.1.3	<i>Betunes modificados híbridos (BMH)</i>	40
6.7.2	Fabricación.....	40
6.7.3	Almacenamiento	42
6.7.4	Compactación	43
6.8	EJECUCIÓN DE LAS OBRAS POR VÍA SECA.....	43
6.8.1	Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo	44
6.8.2	Tiempo de digestión	44
6.8.3	Fabricación de la mezcla.....	45
6.8.4	Extensión	46
6.8.5	Compactación	46
6.9	TRAMO DE PRUEBA.....	46
6.10	CONTROL DE EJECUCIÓN PARA LA VÍA HÚMEDA	47
6.11	CONTROL DE EJECUCIÓN PARA LA VÍA SECA	47
6.11.1	Fabricación.....	47
6.11.2	Limitaciones de la ejecución	47
6.12	CONTROL DE CALIDAD POR VÍA HÚMEDA	47
6.12.1	Control de recepción.....	47

6.12.2	Control a la entrada del mezclador.....	48
6.12.3	Control adicional.....	48
6.13	CONTROL DE CALIDAD POR VÍA SECA.....	48
6.14	MEDICIÓN Y ABONO.....	49
7	RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS.....	50
7.1	ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE MEZCLA BITUMINOSA.....	50
7.2	INCREMENTO DEL PORCENTAJE DE BETÚN.....	51
7.3	EVITAR EL EMPLEO DE MEZCLAS TIPO G EN CAPAS DE BASE.....	52
	ANEJO. NORMAS REFERIDAS EN ESTA INSTRUCCIÓN.....	53

INSTRUCCIONES GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS Y EJECUCIÓN DE UNIDADES DE OBRA MÁS SOSTENIBLES. MEZCLAS BITUMINOSAS MÁS SOSTENIBLES.

PREÁMBULO

La presente versión de las “Instrucciones generales para la elaboración de proyectos y ejecución de unidades de obra más sostenibles. Mezclas bituminosas más sostenibles” ha sido elaborada por el equipo de trabajo formado por los siguientes técnicos de la Dirección Insular de Infraestructuras:

- Carlos M. Ribas Rotger
- Silvia Pastor Pellicer
- Joaquín García Rubio
- Ignasi Galmés Trueba

Además, se ha contado, por sus conocimientos específicos en sostenibilidad y economía circular relacionada con los firmes de carreteras, con la colaboración externa de:

- Ángel Sampedro Rodríguez

Asimismo, se agradece la colaboración en la redacción de estas Instrucciones a las siguientes personas con especialización técnica vinculada a las mezclas bituminosas tratadas:

- | | |
|--|--------------------------|
| • M. ^a Lucía Miranda Pérez
Pedro Pou López | Repsol |
| • Vicente Pérez Mena
Antonio García Siller | Cepsa |
| • Manuel Salas Casanova | Cemosá |
| • Aurelio Ruiz Rubio | Ciesm-Intevía |
| • Anna París Madrona | Parma Ingeniería |
| • Cristina Maestre | IGETEC |
| • Josep M. ^a Bauzá
Manuel Garbayo
Francisca Bauzá | Mac Insular |
| • Otto Vogel
Marilena Maierholzner | CTS |
| • Miguel Ángel Sanz | Cirtec |
| • Luis Alfonso de León | TRS |
| • Antón de Castro Villamil | Lehigh Technologies |
| • José Manuel Berenguer Prieto | Eiffage Infraestructuras |

- Rafael Marqués Soriguè
Mar Subarroca Gella
- Rafael Jiménez CEDEX
- Valverde Jiménez Ajo MITMA
- Margarita Ruiz Saiz-Aja MITERD
- Pedro E. Ibáñez Gómez Comunidad Autónoma de la Región de Murcia
- José Antonio Navarro Jausoro Diputación Foral de Gipuzkoa
- Juan Cruz Carrasco Villaverde Direcció Insular de Residus
Sergio Salas Nowotny
- Alberto Bardesi ATC
- Daniel Andaluz García ATEB
- Juan José Potti ASEFMA
- Sandra Verger Rufián Asociación de Constructores de Baleares

1 MEZCLAS BITUMINOSAS MÁS SOSTENIBLES

1.1 OBJETIVOS

El principal objetivo de estas Instrucciones es desarrollar las técnicas o procedimientos que se consideran más sostenibles, en relación con los actualmente utilizados, para la fabricación y puesta en obra de mezclas bituminosas para las obras viarias en la isla de Mallorca.

Al mismo tiempo, estas técnicas no deben mermar la calidad mínima exigible para las mezclas bituminosas.

Teniendo en cuenta los dos párrafos anteriores y sirviendo como base la primera versión de las Instrucciones, se ha desarrollado un nuevo texto denominado **INSTRUCCIONES GENERALES PARA LA ELABORACIÓN DE PROYECTOS Y EJECUCIÓN DE UNIDADES DE OBRAS MÁS SOSTENIBLES. MEZCLAS BITUMINOSAS MÁS SOSTENIBLES**, que se utilizará desde la fase de diseño hasta la ejecución y su posterior conservación, y que:

- Permita asegurar que la calidad obtenida es la prevista en el proyecto
- Aporte un mayor índice de contribución a la sostenibilidad

1.2 REQUISITOS PARA UNAS MEZCLAS BITUMINOSAS MÁS SOSTENIBLES

Los principales puntos que caracterizan a una mezcla asfáltica como más sostenible, y que se deberán tener en cuenta, son:

- Implementar nuevos métodos que permitan un menor consumo de recursos naturales y energéticos para mejorar la sostenibilidad en los procesos constructivos.
- Diseñar un óptimo aprovechamiento de las materias primas y la máxima valorización posible de los residuos o subproductos procedentes de las obras, o de otros sectores industriales, para promover la economía circular en el sector de la construcción y disminuir las emisiones asociadas a esta actividad.
- Asegurar, en cualquier caso, el cumplimiento de los requisitos mínimos solicitados por la normativa vigente, al menos, desde el punto de vista mecánico o estructural.

1.3 PROCEDIMIENTOS QUE HACEN MÁS SOSTENIBLES LAS MEZCLAS BITUMINOSAS Y RECOMENDACIONES DE USO

Existe en la actualidad múltiple metodología de trabajo que se puede emplear para la elaboración de mezclas bituminosas que las hacen más sostenibles comparadas con esas mismas mezclas bituminosas a las que no se les hubiera aplicado dicho *know-how*.

Se indican a continuación los procedimientos contemplados, que se pueden llevar a cabo en la isla de Mallorca para considerar una mezcla bituminosa como más sostenible, tanto en el momento actual como en el corto y medio plazo, con una breve reseña de la sostenibilidad que aportan:

- Mezclas bituminosas con incorporación de material bituminoso reciclado o asfalto recuperado (RA, del inglés *Reclaimed Asphalt*): aprovechamiento de un residuo existente y reducción del consumo de materias primas

- Procedimientos para rebajar la temperatura de trabajo de las mezclas bituminosas: menor consumo energético. Pueden ser para:
 - Mezclas en frío
 - Mezclas templadas
 - Mezclas semicalientes
- Mezclas bituminosas tipo SMA (del inglés *Stone Mastic Asphalt*): mayor durabilidad
- Mezclas bituminosas ultradelgadas (AUTL, del inglés *Asphalt for Ultra-Thin Layer*): menor consumo de recursos
- Mezclas bituminosas con polvo de caucho: uso de un residuo y mayor durabilidad

En general, se trata de técnicas, en cierta manera, novedosas, y sujetas por ello a posibles cambios, tanto técnicos como normativos, que deberán tenerse presentes.

Asimismo, y por el motivo expuesto en el párrafo anterior, los proyectos que empleen estas mezclas deberán incluir, siempre que sea viable y no se descarte por la Dirección Insular, la realización de un tramo de control ejecutado con mezclas y técnicas convencionales (con los porcentajes mínimos de ligante establecidos en el apartado 7.2), de una longitud aproximada de 500 m y ubicado donde los condicionantes de tráfico y trazado sean similares a otros tramos de la obra, de manera que permita su comparación a lo largo del tiempo.

1.3.1 Mezclas bituminosas con incorporación de material bituminoso reciclado (RA)

Las mezclas bituminosas que lleven incorporado material fresado contribuyen a la mejora de la sostenibilidad en la ejecución de la carretera, en mayor o menor medida en función del porcentaje de material bituminoso reciclado que incorpore dicha mezcla. Este procedimiento comprende una serie de técnicas constructivas tendentes al máximo aprovechamiento de materiales envejecidos por el uso para la rehabilitación del firme.

La normativa de aplicación a las mezclas bituminosas que llevan incorporado material fresado es la siguiente:

- Orden Circular 40/2017 sobre reciclado de firmes y pavimentos bituminosos
- Plan Director Sectorial de Residuos no peligrosos de les Illes Balears
- Recomendaciones para la redacción de pliegos de prescripciones técnicas particulares de firmes y pavimentos bituminosos de carreteras de baja intensidad de tráfico de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC). Reciclado templado

En la Orden Circular 40/2017 sobre reciclado de firmes y pavimentos bituminosos, se establecen los criterios de aplicación de las técnicas de reciclado de firmes, que estas Instrucciones siguen, con las siguientes salvedades:

- Según el artículo 22 de la Orden Circular 40/2017, no se podrá utilizar RA en capas de rodadura para las categorías de tráfico pesado entre T00 a T1 en las mezclas bituminosas recicladas en central. No obstante, en estas Instrucciones se amplía, para las mezclas bituminosas recicladas en central, los usos de material procedente de fresado a un 10 % para

cualquier capa de rodadura y para cualquier categoría de tráfico, incluso en las mezclas asfálticas tipo SMA.

1.3.2 Procedimientos para rebajar la temperatura de trabajo de las mezclas bituminosas

Varios son los métodos que se utilizan para rebajar la temperatura de trabajo, tanto para la fabricación como la puesta en obra de las mezclas bituminosas, y obtener así mezclas semicalientes, templadas o en frío. En estas Instrucciones se desarrollan aquellos que se consideran razonablemente factibles atendiendo a la idiosincrasia de la isla de Mallorca.

Para el desarrollo de este punto se ha tenido en consideración, en general, la siguiente normativa:

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG-3 en adelante), en sus artículos 542, 543 y 544
- Recomendaciones para la redacción de pliegos de prescripciones técnicas particulares de firmes y pavimentos bituminosos de carreteras de baja intensidad de tráfico de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC)
- "Abaissement de température des mélanges bitumineux" del Institut Des Routes des Rues et des Infraestructures pour la Mobilité (IDRRIM)

Los principales usos de las mezclas bituminosas a baja temperatura de fabricación son los que a continuación se detallan:

- Las **mezclas bituminosas en frío** se utilizan básicamente en carreteras de baja intensidad de tráfico:
 - **Mezclas abiertas en frío:** se define como la combinación de áridos gruesos con una emulsión bituminosa y ocasionalmente aditivos. Estas mezclas se utilizan como capas de rodadura e intermedia en espesores entre 2,5 y 8 cm, o bien para pequeñas reparaciones y bacheos. Otras aplicaciones específicas podrían ser como capa antifisuras (aplicación de una capa de 6 cm de mezcla asfáltica abierta en frío sobre la cual se podría colocar una mezcla en caliente) o para rehabilitaciones de firmes muy flexibles. Principalmente se utilizan para tráficos T3 y T4.
 - **Mezclas densas en frío:** se diferencian de las anteriores principalmente, en la utilización de áridos finos en su composición, el empleo de una emulsión de betún puro como ligante y un contenido de huecos en mezcla (una vez compactada) menor del 10 %. Este tipo de mezcla no se desarrolla en las presentes Instrucciones.
 - **Grava-emulsión:** se trata de la mezcla de un árido de granulometría continua convenientemente humectada y emulsión asfáltica en un porcentaje aproximado de betún residual del 3-4 % que se extiende y compacta a temperatura ambiente, pudiendo además ser acopiado una vez fabricado. No obstante, este tipo de mezcla no se desarrolla en las presentes Instrucciones.
 - **Reciclado *in situ* con emulsión:** las aplicaciones están definidas en la OC 40/2017 con las salvedades indicadas en el capítulo 2.
- Las **mezclas templadas** tienen varios campos de aplicación, en función de la tipología de mezcla que se trate, atendiendo fundamentalmente a la granulometría elegida, así como a la emulsión que se considere en la composición de dicha mezcla:

- Mezclas templadas cerradas: el campo de aplicación podría ser el mismo que el de las mezclas bituminosas en caliente del tipo AC, normalmente para tráficos de T3 hasta T4, ya que en la actualidad no se tiene suficiente experiencia en categorías de tráfico superior.
No obstante, se podría plantear utilizar para vías con IMDp < 400 veh/día (por carril) con la aprobación de la Dirección Insular, exclusivamente con la utilización de emulsión bituminosa y para capas intermedias y de base.
- Mezclas templadas porosas y discontinuas: su uso se limita a los tráficos T3 y T4.
 - o Mezclas templadas porosas: su principal aplicación es en capas de rodadura drenantes (o en rodadura + intermedia cuando se consideren sistemas dobles drenantes o “twin-layer”). Dos características fundamentales de estas mezclas son su flexibilidad y su resistencia a la fatiga, como consecuencia del menor grado de envejecimiento del ligante durante el proceso de fabricación de las mezclas, lo que las hacen interesantes allí donde vayan a estar sometidas a esfuerzos de fatiga importantes. Son equivalentes a las de tipo PA.
 - o Mezclas templadas discontinuas: se considera que pueden ser adecuadas en capas de rodadura, con emulsiones modificadas, con prestaciones similares a las mezclas discontinuas en caliente.
- Mezclas templadas recicladas: las aplicaciones se desarrollan en el capítulo 2.
- Las **mezclas bituminosas semicalientes** vienen definidas en los artículos 542, 543 y 544 del PG-3. Su uso es el mismo que en las mezclas bituminosas en caliente, pero para categorías de tráfico T1 e inferiores. Para tráficos T00 y T0, también se admitirán mezclas bituminosas semicalientes, en las cuales la reducción de la temperatura se conseguirá exclusivamente mediante el uso de ligantes aditivados con el correspondiente marcado CE.

1.3.3 Mezclas bituminosas tipo SMA

Se define como mezclas bituminosa tipo SMA la combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (con bajas proporciones de árido fino y discontinuidad granulométrica en los tamaños intermedios del árido grueso), polvo mineral y aditivo estabilizante, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una gruesa película homogénea de ligante, cuyo proceso de fabricación y puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la del ambiente.

En función de la temperatura necesaria para su fabricación y puesta en obra, las mezclas bituminosas tipo SMA se clasifican en calientes y semicalientes.

Las mezclas bituminosas tipo SMA están reguladas por la Orden Circular 3/2019 de la Dirección General de Carreteras (artículo 544 del PG-3).

Esta Orden Circular 3/2019 establece como caso típico de aplicación de estas mezclas en sustitución de una mezcla tipo BBTM en tramos de muy elevada intensidad de tráfico. Se deberá justificar su empleo adecuadamente y limitarse, en principio, a los casos concretos de mejora de resistencia a la fisuración o a la fatiga, o bien a tramos de elevada intensidad de tráfico (IMD > 75.000 veh/día).

1.3.4 Mezclas bituminosas ultradelgadas (AUTL)

Las mezclas AUTL son mezclas discontinuas en caliente ultrafinas, recogidas en la normativa europea UNE-EN 13108-9. Se caracterizan por tener espesores no superiores a los 2 cm, dotando al pavimento de

muy buenas propiedades superficiales, minimizando el consumo de materias primas y de impacto ambiental, y ofreciendo a su vez una rápida apertura al tráfico.

El principal uso dado a este tipo de mezclas bituminosas son las renovaciones de las características superficiales en el pavimento o actuaciones concretas con problemas de cargas en puentes, con gálibos o con bordillos.

Se trata de una tipología de mezcla que puede ser empleada en una amplia gama de carreteras y tráfico con resultados satisfactorios, teniendo en cuenta un aspecto fundamental, y es que la capa soporte posea adecuada regularidad superficial sin deformaciones ni ondulaciones. Se hace imprescindible la correcta aplicación de la emulsión bituminosa que garantice la adherencia con la capa inferior.

No existe todavía normativa a nivel nacional que desarrolle este tipo de mezclas.

1.3.5 Mezclas bituminosas con incorporación de polvo de caucho procedente de neumáticos al final de su vida útil (NFVU)

Las mezclas bituminosas pueden llevar incorporado polvo de caucho proveniente de los neumáticos al final de su vida útil (NFVU). La adición del polvo de caucho puede modificar las propiedades reológicas obteniendo una mayor durabilidad de la mezcla bituminosa, también propiciado por su mayor contenido de ligante.

Existen en la actualidad varias técnicas de fabricación de mezclas bituminosas con polvo de caucho que se agrupan en dos procedimientos: vía húmeda (que puede llevarse a cabo en instalaciones industriales o bien *in situ*) y vía seca (dentro de la cual se incluye la que comúnmente se denomina vía semihúmeda o semiseca). Estas técnicas se desarrollan en el capítulo 6 de estas Instrucciones en mayor profundidad.

La principal normativa en vigor que regula las mezclas bituminosas con polvo de caucho es:

- Orden Circular 21/2007 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU)
- Orden Circular 21bis/2009 sobre betunes mejorados y betunes modificados de alta viscosidad con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) y criterios a tener en cuenta para su fabricación *in situ* y almacenamiento en obra
- Nota Técnica NT 02/2020 – Sustitución de un betún mejorado con caucho (BC) por la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente
- PG-3, en sus artículos 542, 543 y 544

En el Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas, del Cedex, se definen tres tipos de ligantes que se pueden obtener por vía húmeda en los que se les incorpora polvo de caucho:

1. Betún mejorado con caucho (BC) con un contenido orientativo de caucho entre 8-12 % en peso del ligante
2. Betún modificado con caucho (BMC) con contenidos de polvo de caucho entre 12-15 %
3. Betún modificado de alta viscosidad con caucho (BMAVC) cuyo contenido de polvo de caucho es igual o superior al 15 %

En estas Instrucciones se introducen además los betunes modificados híbridos (BMH), que combinan la adición de polvo de caucho y de polímeros.

Actualmente los usos del polvo de caucho por vía húmeda para mezclas bituminosas están previstos en los artículos 542, 543 y 544 del PG-3.

Para la vía seca, los usos previstos vienen recogidos en la Orden Circular 21/2007. Si bien, estas Instrucciones establecen unos requisitos específicos para esta vía.

Estas mezclas bituminosas, en cualquiera de sus vías, no se utilizarán en capas de rodadura para las categorías de tráfico T00 y T0.

1.4 TABLA RESUMEN DE USOS MÁS COMUNES SEGÚN EL TIPO DE MEZCLA BITUMINOSA

		CAPA RODADURA						
TÉCNICAS	CATEGORÍA DE TRÁFICO / TIPO DE MEZCLA BITUMINOSA	T00	T0	T1	T2	T3	T4	OBSERVACIONES
MEZCLAS BITUMINOSAS CON INCORPORACIÓN DE MATERIAL BITUMINOSO RECICLADO (RA)	Reciclado <i>in situ</i> con emulsión					x + microaglomerado en frío	x + microaglomerado en frío	
	Reciclado templado					x máx. 60 % RA	x máx. 60 % RA	
	Calientes o semicalientes en central	x 10 % RA	x 10 % RA	x 10 % RA	x 10 % RA	x 10 % RA	x 10 % RA	
MEZCLAS BITUMINOSAS A BAJA TEMPERATURA	Abiertas en frío					x	x	También se pueden utilizar en reparación de mezclas drenantes en caliente o en rehabilitaciones de firmes muy flexibles.
	Templadas cerradas					x	x	Máximo de 15 % RA, pudiendo llegar al 25 % RA en caso de emplear betún como ligante.
	Templadas discontinuas o drenantes					x	x	Máximo de 10 % RA.
	Semicalientes	x exclusivamente con ligante aditivado con marcado CE	x exclusivamente con ligante aditivado con marcado CE	x	x	x	x	
MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO SMA	SMA (calientes y semicalientes)	x	x	x				Justificadamente, en otras categorías de tráfico, en firmes con problemas de fisuración o fatiga. Se permitirá un 10 % de RA, así como la posibilidad de empleo de polvo de caucho.
MEZCLAS BITUMINOSAS ULTRADELGADAS	AUTL (calientes)	x	x	x	x	x	x	Se recomienda el uso de un ligante modificado con polímeros. No se permitirá la incorporación de RA, ni de polvo de caucho.
MEZCLAS BITUMINOSAS CON INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL	Vía húmeda			x	x	x	x	
	Vía seca (semihúmeda o semiseca)			x	x	x	x	

		CAPA INTERMEDIA Y BASE						
TÉCNICAS	CATEGORÍA DE TRÁFICO / TIPO DE MEZCLA BITUMINOSA	T00	T0	T1	T2	T3	T4	OBSERVACIONES
MEZCLAS BITUMINOSAS CON INCORPORACIÓN DE MATERIAL BITUMINOSO RECICLADO (RA)	Reciclado <i>in situ</i> con emulsión			X Reciclado + 8 cm (1)	X Reciclado + 5 cm (2)	X Reciclado + rodadura (3, 4 o 5)	X Reciclado + rodadura (3, 4 o 5)	(1) Espesor total mínimo de 8 o 10 cm de mezcla bituminosa, en doble capa, siendo 3 o 4 cm el espesor correspondiente a la capa de rodadura, según se trate de una mezcla discontinua o drenante (art. 543 del PG-3), respectivamente. (2) Espesor total mínimo de 5 cm en capa única. Para el espesor mínimo se dispondrá una sola capa de mezcla bituminosa en caliente o semicaliente del tipo densa (D) o semidensa (S) (art. 542 del PG-3) de 5 cm de espesor. En el caso de ser preceptiva una capa de rodadura drenante o discontinua, el espesor mínimo se elevará a 8 cm y se aplicará lo indicado en (1). (3) Mezcla bituminosa en caliente o semicaliente del tipo densa (D) o semidensa (S) reciclada en central conforme a lo indicado en el artículo 22 en su apartado 22.3. (4) Mezcla bituminosa en caliente o semicaliente del tipo densa (D) o semidensa (S) (art. 542 del PG-3). (5) Microaglomerado en frío (art. 540 del PG-3).
	Reciclado templado				X máx. 30 % RA y IMDp<400 veh/día	X máx. 80 % RA	X máx. 80 % RA	
	Calientes o semicalientes en central	X 15-30 % RA	X 15-30 % RA	X 15-30 % RA	X 15-30 % RA	X 15-30 % RA	X 15-30 % RA	Para mayores porcentajes de RA será preceptiva la autorización expresa de la Dirección Insular de Infraestructuras.
MEZCLAS BITUMINOSAS A BAJA TEMPERATURA	Abiertas en frío					X capa intermedia	X capa intermedia	También se podrán utilizar en rehabilitaciones de firmes muy flexibles.
	Templadas cerradas				X IMDp<400 veh/día	X	X	Máximo de 15 % RA, pudiendo llegar al 25 % RA en caso de emplear betún como ligante.
	Templadas discontinuas o drenantes							
	Semicalientes	X exclusivamente con ligante aditivado con marcado CE	X exclusivamente con ligante aditivado con marcado CE	X	X	X	X	
MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO SMA	SMA (calientes y semicalientes)	X capa intermedia SMA 16	X capa intermedia SMA 16	X capa intermedia SMA 16				Justificadamente, en otras categorías de tráfico, en firmes con problemas de fisuración o fatiga. Se permitirá un 15 % de RA, así como la posibilidad de empleo de polvo de caucho.
MEZCLAS BITUMINOSAS ULTRADELGADAS	AUTL (calientes)							
MEZCLAS BITUMINOSAS CON INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL	Vía húmeda	X	X	X	X	X	X	
	Vía seca (semihúmeda o semiseca)	X	X	X	X	X	X	

2 MEZCLAS BITUMINOSAS CON INCORPORACIÓN DE MATERIAL BITUMINOSO RECICLADO (RA)

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

2.1.1 Normativa

Este apartado se ha fundamentado según lo indicado en:

- Orden Circular 40/2017 sobre reciclado de firmes y pavimentos bituminosos
- Plan Director Sectorial de Residuos no peligrosos de les Illes Balears
- UNE-EN 13108-8:2018 Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 8: Asfalto recuperado
- Recomendaciones para la redacción de pliegos de prescripciones técnicas particulares de firmes y pavimentos bituminosos de carreteras de baja intensidad de tráfico de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC). Reciclado templado
- Circulaire n° 2001-39 du 18/06/01 relative à la gestion des déchets du réseau routier national
- Recyclage des agrégats d'enrobés dans les mélanges bitumineux à chaud

2.1.2 Sostenibilidad

En este tipo de mezcla bituminosa la sostenibilidad está directamente relacionada con la disminución de material nuevo a emplear. En primer lugar, por el material que se pueda reutilizar de la propia obra, y, en segundo lugar, por el ahorro de toneladas de CO₂ emitidas para la obtención y transporte de material nuevo (especialmente en rodadura dado que los áridos gruesos provienen de la península).

Por lo tanto, tenemos una componente de economía circular, reutilización de recursos de la propia obra, y una componente medioambiental de reducción de emisiones a la atmósfera.

2.2 DEFINICIONES

Se define como material bituminoso recuperado, o *Reclaimed Asphalt* (RA) en sus siglas en inglés, el material procedente de la disgregación de capas de mezclas bituminosas (rodadura, intermedia o base), obtenido mediante fresado o demolición, o procedente de rechazos o sobrantes de producción, eventual trituración y posterior tratamiento y clasificación, adecuado y preparado para ser utilizado como material constituyente de mezclas bituminosas. Este material debe estar compuesto por áridos de buena calidad y granulometría continua, cubiertos por betún asfáltico envejecido.

Se define como reciclado en central de capas bituminosas la técnica de fabricación de mezclas bituminosas consistente en la utilización del RA con la aportación de un betún asfáltico, áridos, polvo mineral, y eventualmente, aditivos, con los que se obtiene una mezcla bituminosa (caliente y semicaliente) de las especificadas en los artículos 542, 543 y 544 del PG-3.

Se define como reciclado *in situ* con emulsión de capas bituminosas a la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de mezcla bituminosa de un pavimento existente, una emulsión bituminosa, agua y, eventualmente, aditivos. Este tipo de mezclas se desarrollan en este capítulo y en el 3.

Se define como mezcla bituminosa reciclada templada a la combinación de áridos con un ligante bituminoso y material reciclado procedente de mezclas bituminosas, cuyo proceso de fabricación se basa en el calentamiento previo de los componentes para conseguir una mezcla a una temperatura de fabricación próxima a los 100 °C y una temperatura de puesta en obra entre 70 y 95 °C. Este tipo de mezclas también se desarrollan en este capítulo y en el 3.

2.3 RECICLADO *IN SITU* CON EMULSIÓN DE CAPAS BITUMINOSAS

Se define como reciclado *in situ* con emulsión de capas bituminosas a la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de mezcla bituminosa de un pavimento existente, una emulsión bituminosa, agua y, eventualmente, aditivos.

Se seguirá la Orden Circular 40/2017, con la salvedad siguiente que sólo se podrá reciclar el material fresado procedente de la propia obra.

2.4 RECICLADO TEMPLADO

Se define como reciclado templado de mezcla bituminosa la combinación de áridos con un ligante bituminoso (emulsión bituminosa o betún en algunos casos) y material reciclado procedente de mezclas bituminosas en diferentes porcentajes, cuyo proceso de fabricación se basa en el calentamiento previo de los componentes para conseguir una mezcla a una temperatura de fabricación próxima a los 100 °C y una temperatura de puesta en obra entre 70 y 95 °C.

En este caso se seguirá el documento de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC) denominado "Recomendaciones para la redacción de pliegos de prescripciones técnicas particulares de firmes y pavimentos bituminosos de carreteras de baja intensidad de tráfico. Reciclado templado", con las salvedades siguientes:

- Sólo se podrá reciclar el material fresado procedente de la propia obra
- El material procedente del fresado de mezclas asfálticas no podrá ser superior al 80 % de la masa total de la mezcla.
- En capas de base e intermedias de vías con un tráfico de vehículos pesados por carril inferior a 400 veh/día, podrá emplearse en proporción igual o inferior al 30 % de la masa total de la mezcla.

Será preceptiva la autorización expresa de la Dirección Insular para el empleo de mezclas bituminosas recicladas que vayan a contener una proporción de RA superior al treinta por ciento (> 30 %) de la masa total de la mezcla.

2.5 MEZCLAS BITUMINOSAS CALIENTES O SEMICALIENTES CON INCORPORACIÓN DE RA

Para el desarrollo de mezclas bituminosas con incorporación de RA se seguirá la Orden Circular 40/2019 y los artículos 542, 543 y 544 del PG-3, con las salvedades que se indican en este punto:

- Sólo se podrá reciclar el material fresado procedente de la propia obra.

- Se permitirá el uso de un 10 % de RA en cualquier capa de rodadura y para cualquier categoría de tráfico, incluso las mezclas asfálticas tipo SMA, con la excepción de las de tipo AUTL.
- Aunque las mezclas dispongan de marcado CE, además de la comprobación documental, se tomarán muestras a la descarga del mezclador de las mezclas fabricadas para el tramo de prueba, y con ellas se efectuarán los ensayos necesarios para verificar las prestaciones declaradas o exigidas.
- Si una mezcla bituminosa reciclada contiene una proporción en masa de RA igual o inferior al treinta por ciento ($\leq 30\%$) de la masa total de la mezcla, el ligante hidrocarbonado empleado se abonará por toneladas (t), obtenidas multiplicando la medición correspondiente de mezclas bituminosas puestas en obra, por el porcentaje (%) medio de ligante deducido de los ensayos de control de cada lote, contabilizando tanto el ligante de aportación como el ligante residual del material fresado de mezclas bituminosas. Se considerará incluido en dicho precio, y por tanto no será de objeto de abono independiente, del eventual producto rejuvenecedor.

Todas las referencias realizadas a la Dirección General de Carreteras en la OC 40/2017, se entenderán hechas a la Dirección Insular de Infraestructuras. Además, será preceptiva la autorización expresa de dicha Dirección Insular para el empleo de mezclas bituminosas recicladas que vayan a contener una proporción de RA superior al treinta por ciento ($> 30\%$) de la masa total de la mezcla.

A la nueva mezcla bituminosa, con RA, se le podrá añadir un betún o aditivo rejuvenecedor con el fin de recuperar parte o todas las características del betún asfáltico envejecido utilizado.

2.5.1 Documentación acreditativa del RA de la propia obra

Con el fin de garantizar que el material procede de la propia obra se deberá seguir lo indicado a continuación:

- En el proyecto de la obra, el estudio de gestión de residuos analizará y cuantificará el material fresado que se prevé reutilizar a las nuevas capas de mezcla bituminosa
- En la obra o actuación, se deberá acreditar documentalmente el material fresado que se envíe a la planta asfáltica i la mezcla bituminosa donde se incorpore (para la misma obra o actuación). En el documento deberá constar, al menos:
 - Obra o actuación de procedencia, indicando los tramos fresados por tipo de capa, la cantidad (expresada en toneladas) de material fresado por cada tipo de mezcla bituminosa, y la naturaleza de esta
 - La planta asfáltica donde se envía
 - Cantidades (expresadas en toneladas) y tipo de mezclas bituminosas donde se reutiliza, y cantidad de material fresado incorporada en cada una
 - Declaración expresa de que la mezcla bituminosa obtenida con el material fresado se destina a la misma obra o actuación de donde proviene, y los tramos donde se extiende la mezcla bituminosa con el asfalto recuperado
 - Cantidad de material fresado sobrante o que no se haya podido reutilizar, si acaso, y destino que se le da

Este documento acreditativo se deberá incorporar y archivar al expediente de la obra.

Si en la planta asfáltica quedara material fresado sin reutilizar, este se devolverá a la obra o zona de actuación de procedencia, o bien se enviará al servicio público insularizado de gestión de residuos de construcción y demolición.

2.5.2 Reciclado en caliente y semicaliente en central de capas bituminosas de rodadura: mezclas drenantes, discontinuas y SMA

Se define como reciclado en central de capas bituminosas de rodadura la técnica de fabricación de mezclas bituminosas consistente en la utilización del RA con la aportación de un betún asfáltico, áridos, polvo mineral, y eventualmente, aditivos, con los que se obtiene una mezcla bituminosa (caliente o semicaliente) de las especificadas en los artículos 543 y 544 del PG-3.

La fabricación de una mezcla bituminosa reciclada en central incluye las siguientes operaciones previas a las especificadas en el mencionado documento reglamentario:

- Acopio del asfalto retirado procedente de firmes o pavimentos bituminosos envejecidos
- Tratamiento del asfalto retirado (eventual trituración, eliminación de elementos metálicos contaminantes y clasificación por capas, tamaño, aplicación, etc.)
- Caracterización y acopio del asfalto recuperado (RA)
- Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo, con la adaptación de todos los materiales de aportación (áridos, ligante, etc.) a las características del árido y ligante procedente del RA.

Todos los aspectos relativos a la puesta en obra y control de calidad de estos materiales se llevarán a cabo de conformidad a lo indicado en el artículo 542 del PG-3.

El RA procederá del fresado o trituración de capas de mezcla bituminosa de rodadura con árido grueso no calcáreo. En ningún caso se admitirán áridos procedentes del fresado de mezclas bituminosas que presenten deformaciones plásticas (roderas) o que contengan o se encuentren contaminados por sustancias potencialmente peligrosas. Tampoco lo podrán ser aquellos materiales bituminosos que presenten en su composición sustancias procedentes de la destilación de productos carbonosos, asbesto-amianto, ni ningún otro que esté clasificado como peligroso, o que no cumpla la legislación ambiental y de seguridad y salud vigente.

Se determinará la granulometría del árido recuperado (norma UNE-EN 12697-2) que se empleará en el estudio de la fórmula de trabajo. El tamaño máximo de las partículas vendrá fijado por el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

El RA que se incorpore al proceso de producción será homogéneo, no contendrá partículas de tamaño superior a veintidós milímetros ($\nless 22$ mm), o a dieciséis milímetros ($\nless 16$ mm) para capas con tamaño máximo de árido de 11 mm, ni ningún tipo de elemento contaminante potencialmente peligroso, y estará totalmente caracterizado y referenciado. Si fuera necesario se someterá en la central a un tratamiento previo de trituración, eliminación de elementos metálicos contaminantes y homogeneización mediante clasificación, para convertirlo en material apto para su uso en una mezcla bituminosa reciclada. Estos procesos convertirán el producto original acopiado en RA.

El RA estará exento de materiales procedentes de residuos de construcción y demolición, y especialmente de aquellos que en la fabricación de la mezcla reciclada pudieran producir merma en sus propiedades o contaminación. El contenido de materia extraña gruesa y fina para el grupo 1 y 2 de

materiales (norma UNE-EN 12697-42) deberá ser inferior al uno por ciento (< 1 %) en masa para el grupo 1 y del uno por mil (< 1 ‰) en masa para el grupo 2.

Los áridos procedentes del RA no presentarán signos de meteorización y tendrán las propiedades de dureza y calidad semejantes a las exigidas a los áridos de aportación.

La dotación total de ligante hidrocarbonado (el de aportación más el procedente del RA) será conveniente que cumpla con los valores establecidos en el apartado 7.2 de estas Instrucciones.

La central de fabricación (de funcionamiento continuo o discontinuo) dispondrá de, al menos, una tolva adicional para el material bituminoso a reciclar tratado, y será capaz de incorporarlo durante el proceso de mezcla sin afección negativa a los materiales constituyentes, en especial, al ligante bituminoso de aportación. En ningún caso se calentará el RA a una temperatura superior a la del nuevo ligante incorporado, ni los áridos de aportación a más de doscientos veinte grados Celsius (\neq 220 °C).

En centrales de fabricación continua con tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación del RA será ponderal y deberá poder tener en cuenta su humedad, para ajustar la dosificación en función de ella. La central dispondrá de un sistema que permita la incorporación del RA por detrás del quemador, en un anillo intermedio al tambor, de forma que no exista riesgo de contacto con la llama. Cuando la mezcla bituminosa reciclada sea de tasa baja (tipo 1 de la tabla 22.1), el flujo de áridos en el secador-mezclador no coincidirá con el de circulación de los gases (flujo en contracorriente), de manera que se evite la exposición directa a la llama de dichos materiales.

En centrales de fabricación de funcionamiento discontinua, se admitirá la incorporación en frío del RA en el mezclador siempre que tenga una dosificación ponderal específica e independiente. Para incorporarlo en caliente, las centrales tendrán un tambor secador independiente para el RA; además deberán estar provistas de silos para almacenar en caliente el RA y de un sistema de dosificación ponderal específico e independiente del mismo.

Los gases producidos en el calentamiento de la mezcla, se recogerán durante el proceso de fabricación de la mezcla, evitando en todo momento su emisión a la atmósfera. Sobre el RA que contenga en su composición original adiciones modificadoras de la reología del ligante bituminoso o del comportamiento resistente de la mezcla bituminosa (fibras, productos elastoméricos, etc.), se hará un estudio especial de los gases producidos en el calentamiento de la mezcla para el tramo de prueba, ante una eventual emisión de contaminantes a la atmósfera durante el proceso de fabricación de la nueva mezcla. Se estará, en todo caso, a lo dispuesto en la legislación vigente en materia ambiental y de seguridad y salud.

Los acopios deberán estar formados por tongadas horizontales de espesor no superior a un metro y medio (\neq 1,5 m), en una zona bien drenada y, preferiblemente, pavimentada. Si se dispusieran sobre el terreno natural no se utilizarán sus quince centímetros (15 cm) inferiores. Deberá vigilarse su altura para evitar que el RA se aglomere, especialmente con temperaturas elevadas, limitándose a tres metros (\neq 3 m) cuando se prevean temperaturas superiores a los treinta grados Celsius (> 30 °C). Los acopios deberán estar cubiertos si las condiciones meteorológicas son desfavorables y el tiempo de almacenamiento se reducirá al mínimo posible para evitar que el contenido de humedad aumente en exceso.

La fórmula de trabajo fijará, además de las características establecidas en el artículo 543 o 544 del PG-3:

- Los tiempos a exigir para la mezcla del RA y los áridos de aportación, y del conjunto con el ligante de aportación.

- Las temperaturas máxima y mínima y la humedad máxima del RA en la tolva y en la báscula de dosificación a la entrada del mezclador.
- La temperatura máxima de calentamiento del árido de aportación.
- En el caso de que se empleen aditivos o adiciones, se indicarán las prescripciones sobre su incorporación.

Además de la caracterización indicada en el apartado 2.1.1, el RA deberá serlo también en el acopio. Para ello, por cada mil toneladas (1.000 t) de acopio de RA, se tomará una (1) muestra, y de cada una de ellas se determinará:

- Granulometría del material disgregado (norma UNE-EN 933-1)
- Contenido de ligante soluble (norma UNE-EN 12697-1)
- Granulometría de los áridos recuperados (norma UNE-EN 12697-2)
- Coeficiente de Los Ángeles del árido recuperado (norma UNE-EN 1097-2)
- Densidad y absorción de agua del árido grueso y fino recuperados (norma UNE-EN 1097-6)
- Penetración con aguja del ligante recuperado (norma UNE-EN 1426)
- Punto de reblandecimiento, método anillo y bola, del ligante recuperado (norma UNE-EN 1427)
- Índice de penetración del ligante recuperado (Anexo A de las normas UNE-EN 12591 o UNE-EN 13924-1)

Sobre cada acopio que se utilice se realizarán los siguientes ensayos, al menos una (1) vez al día:

- Contenido de humedad del acopio (norma UNE-EN ISO 17892-1)

Adicionalmente, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto la Dirección de las Obras, podrán establecer la necesidad de realizar otro tipo de ensayos.

El abono de los áridos procedentes del fresado de mezclas bituminosas se considerará incluido en el precio de la mezcla bituminosa correspondiente.

El proyecto incluirá en la descomposición del precio de la unidad, además de los áridos, un precio auxiliar del RA que tenga en cuenta las operaciones de tratamiento, clasificación, acopio e incorporación a la central de fabricación.

2.6 CONSIDERACIONES FINALES

Antes de iniciarse la puesta en obra de cada tipo de mezcla bituminosa será preceptiva la realización del correspondiente tramo de prueba, para comprobar la fórmula de trabajo, la fabricación y su puesta en obra. Se seguirá lo indicado al respecto por los artículos 542, 543 y 544 del PG-3 y en las correspondientes recomendaciones. Su ejecución será de abono incluso en caso de tenerse que repetir en una ocasión.

3 MEZCLAS BITUMINOSAS A BAJA TEMPERATURA

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES

3.1.1 Normativa

Para el desarrollo de este punto se ha tenido en consideración la siguiente normativa y documentación técnica (junto con otros borradores, documentos de trabajo, monografías, etc.) sobre la materia:

- Artículos 542, 543 y 544 del PG-3
- “Abaissement de température des mélanges bitumineux”, del Institut des Routes, des Rues et des Infraestructures pour la Mobilité (IDRRIM)
- Recomendaciones para la redacción de pliegos de prescripciones técnicas particulares de firmes y pavimentos bituminosos de carreteras de baja intensidad de tráfico, de la Asociación Técnica de Carreteras (ATC):
 - Abiertas en frío
 - Templadas cerradas
 - Templadas discontinuas y drenantes con emulsión bituminosa
- Mezclas templadas con emulsión bituminosa, de la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB)
- Recomendaciones para la redacción de Pliegos de Mezclas Bituminosas Templadas, de la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía (AOPJA)
- Las mezclas bituminosas templadas con emulsión en la rehabilitación estructural de firmes en carreteras de la DFG con intensidades de tráfico medias y bajas (ASEFMA)
- Producción de mezclas templadas con emulsión bituminosa, de la Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB)
- Mezclas abiertas en frío (ATEB)
- Guía de firmes para carreteras locales, del Foro de gestores de carreteras de diputaciones provinciales, cabildos y consells
- Guía de pavimentos asfálticos para vías de baja intensidad de tráfico, de la Generalitat Valenciana
- Mezclas semicalientes con polvo de caucho procedente del neumático al final de su vida útil, de SIGNUS
- “The use of Warm Mix Asphalt”, de la European Asphalt Pavement Association (EAPA)

3.1.2 Sostenibilidad

Rebajar la temperatura de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas es uno de los requisitos que definen a dichas mezclas bituminosas como más sostenibles.

Las ventajas que se consiguen al bajar la temperatura de trabajo de las mezclas bituminosas son:

- Se rebaja el consumo de combustible necesario para la fabricación de las mezclas bituminosas.
- Se reduce la emisión de gases de efecto invernadero.
- Se mejora la seguridad y salud tanto del personal que trabaja con las mezclas como, en el caso de la pavimentación en entorno urbano, de las personas que viven en las proximidades

de los trabajos, debido, por un lado, a la disminución de humos y olores y, por otro, al menor riesgo por quemaduras.

- Reducción del envejecimiento del betún al rebajar la temperatura de la mezcla.
- Aumento del tiempo de trabajabilidad al partir de una temperatura inferior de la mezcla.

3.1.3 Tipos de mezclas bituminosas en función de las temperaturas de trabajo

Las mezclas bituminosas se pueden clasificar, en función de las temperaturas de fabricación, en los siguientes tipos:

- Mezclas frías: las fabricadas a menos de 50 °C
- Mezclas templadas: las fabricadas entre 50 y 100 °C
- Mezclas semicalientes: las fabricadas entre 100 y 150 °C
- Mezclas calientes (no son objeto de este apartado): las fabricadas a más de 150 °C

3.2 MEZCLAS BITUMINOSAS EN FRÍO

3.2.1 Abiertas en frío

Se define como mezcla bituminosa abierta en frío la combinación de áridos gruesos (> 2 mm), una emulsión bituminosa y ocasionalmente aditivos, que tiene un contenido alto de huecos y cuyo proceso de fabricación no requiere, salvo situaciones excepcionales, calentar previamente los componentes. La mezcla, que puede ser almacenada, debe poderse extender y compactar a temperatura ambiente.

Las mezclas bituminosas abiertas en frío se utilizan como capas de rodadura e intermedia, en espesores entre 2,5 y 8 cm. El empleo de la técnica del enarenado para facilitar la compactación o el empleo de sistemas de sellado, no exime de las exigencias de la mezcla como capa de rodadura.

El porcentaje de RA no superará el 15 % de la masa total de la mezcla.

Las especificaciones técnicas de estas mezclas se ajustarán a las prescripciones indicadas en las Recomendaciones de la ATC indicadas en el apartado 3.1.1.

3.2.2 Reciclado *in situ* con emulsión

Se denomina reciclado *in situ* con emulsión de capas bituminosas a la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de un firme existente, en un espesor comprendido entre 6-12 cm, emulsión bituminosa, agua y, eventualmente aditivos. Todo el proceso de ejecución se realizará a temperatura ambiente y sobre la misma superficie a tratar.

Las mezclas bituminosas recicladas *in situ* con emulsión se encuentran recogidas en la Orden Circular 40/2017 sobre reciclado de firmes y pavimentos bituminosos, en su artículo 20, reciclado *in situ* con emulsión de capas bituminosas. Hay que tener presente lo indicado en el capítulo 2 de estas Instrucciones respecto a las salvedades indicadas de la OC 40/2017 para las obras realizadas por el Consell de Mallorca.

3.3 MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS

3.3.1 Mezclas bituminosas templadas cerradas

Se define como mezcla bituminosa templada cerrada la combinación homogénea de áridos (incluido el polvo mineral) de granulometría continua, ligante bituminoso (emulsión o betún) y eventualmente aditivos, que es fabricada a una temperatura igual o inferior a 100 °C.

Las granulometrías correspondientes a este tipo de mezclas son equivalentes a las del tipo hormigón bituminoso AC.

Es necesario calentar previamente los componentes para su fabricación, limitando la temperatura máxima a la salida del mezclador entre 95 °C y 100 °C. El porcentaje de RA no superará el 15 % de la masa total de la mezcla, pudiendo llegar al 25 % en el caso de emplear betún como ligante. Y la temperatura de extensión y posterior compactación estará comprendida entre 70 y 95 °C.

En el caso de las mezclas templadas con betún, es necesario emplear una tecnología que permita que el betún envuelva los áridos a una temperatura inferior a 100 °C. Estas tecnologías suelen consistir en técnicas de espumación directa o indirecta del betún.

Las especificaciones técnicas de estas mezclas se ajustarán a las prescripciones indicadas en las Recomendaciones de la ATC indicadas en el apartado 3.1.1.

3.3.2 Mezclas bituminosas templadas discontinuas y drenantes

Se define como mezcla bituminosa templada discontinua a la combinación homogénea de áridos (incluido el polvo mineral) de granulometría discontinua, emulsión bituminosa y eventualmente aditivos, que es fabricada a una temperatura igual o inferior a 100 °C.

Se define como mezcla bituminosa templada drenante la combinación homogénea de áridos (incluido el polvo mineral) de granulometría abierta, emulsión bituminosa y eventualmente aditivos, que es fabricada a una temperatura igual o inferior a 100 °C.

Las granulometrías correspondientes a este tipo de mezclas son equivalentes a las del tipo BBTM y PA. Las que tengan una baja proporción de árido fino, y por lo tanto, un alto contenido de huecos interconectados tendrán características más similares a las PA o drenantes. Mientras que las mezclas cuyos áridos presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada en los tamaños inferiores del árido grueso presentarán más similitudes a las del tipo BBTM A y B.

Es necesario calentar previamente los componentes para su fabricación, limitando la temperatura máxima a la salida del mezclador entre 95 °C y 100 °C. El porcentaje de RA no superará el 10 % de la masa total de la mezcla. Y la temperatura de extensión y posterior compactación estará comprendida entre 70 y 95 °C.

Las especificaciones técnicas de estas mezclas se ajustarán a las prescripciones indicadas en las Recomendaciones de la ATC indicadas en el apartado 3.1.1.

3.4 MEZCLAS BITUMINOSAS SEMICALIENTES

Existen diversas técnicas para conseguir la reducción de la temperatura de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas:

- Espumación del betún
- Utilización de betunes aditivados
- Incorporación secuenciada de constituyentes

En las mezclas asfálticas semicalientes, y cuando se utilice polvo de caucho se deberá justificar adecuadamente en cada caso. En este caso no se aconseja la técnica de espumación del betún.

Las plantas asfálticas deberán tener las medidas necesarias para prevenir la condensación de los gases emitidos, para secar los áridos a menor temperatura y para poder variar el rango operacional del quemador.

3.4.1 Espumación del betún

El betún se espuma introduciendo agua. Esta espumación permite recubrir los materiales a una temperatura más baja. Un aditivo en fase acuosa se utiliza a veces para mejorar el recubrimiento de los componentes por la espuma. La cantidad de agua incorporada a la mezcla representa usualmente del 2 al 4 % de la masa del betún.

El agua, y los aditivos empleados en su caso, podrán ser introducidos:

- Directamente en el mezclador
- Aguas arriba de la zona de mezclado sobre la línea de inyección del betún
- En una cámara del mezclador (equipo específico dedicado a la producción de espuma)

En este método es importante ajustar y controlar la cantidad de agua incorporada a la mezcla.

3.4.2 Utilización de betunes aditivados

El proceso de aditivación consiste en la adición al betún de un producto químico, llamado aditivo. Esta aditivación permite recubrir los materiales a una temperatura más baja.

Existen dos tipos de aditivos:

- Los aditivos líquidos permiten mejorar el recubrimiento por disminución de las tensiones superficiales en la interfaz ligante/árido (mejora de la humectabilidad). La viscosidad del ligante es idéntica antes y después de la aditivación. La cantidad de aditivo líquido incorporado a la mezcla bituminosa representa usualmente del 0,2 al 0,5 % de la masa del betún.
- Las ceras en forma granular. Las ceras permiten reducir la viscosidad del betún. Esto permite bombear el betún y recubrir los materiales a una temperatura más baja. Estas ceras se solidifican a temperaturas del orden de 90 a 100 °C, lo que requiere compactar el asfalto inmediatamente después de su extendido. La cantidad de ceras incorporadas a la mezcla bituminosa representa normalmente del 1 al 2 % de la masa del betún.

Estos aditivos pueden mezclarse *in situ* con el betún o venir preparados de refinería. Cuando la planta asfáltica no pueda garantizar la correcta incorporación de los aditivos, estos deberán estar incorporados al ligante utilizado, lo cual deberá recogerse en el correspondiente marcado CE del ligante.

Cuando se opte por esta técnica, la empresa Contratista deberá informar de ello a la Dirección de la Obra y aportar la documentación técnica que avale su empleo y que demuestre que el comportamiento a largo plazo de la mezcla no resulta afectado significativamente por el uso de estos aditivos especiales.

3.4.3 Incorporación secuenciada de constituyentes

Esta es una introducción fraccionada de los componentes de la mezcla. A pesar de enumerarse en este punto, no será de aplicación para estas Instrucciones.

Existen dos tipos de incorporación secuenciada o secuenciación:

- Incorporación de materiales no secos al mezclador
- Incorporación de dos betunes diferentes en el mezclador

3.5 CONSIDERACIONES FINALES

Con el fin de llevar un adecuado control por parte de la Dirección Facultativa, habrá que especificar la metodología a seguir, que deberá ser aprobada por la misma. Es importante en estas mezclas llevar un control casi diario de la densidad aparente alcanzada mediante la extracción de testigos.

A las mezclas bituminosas semicalientes se les exigirán las mismas prestaciones que a las mezclas bituminosas en caliente. Para tráfico T00 y T0, la reducción de la temperatura se conseguirá exclusivamente mediante el uso de ligantes aditivados con el correspondiente marcado CE. La empresa Contratista deberá aportar la documentación técnica que avale su empleo y que demuestre que su comportamiento a largo plazo no resulta afectado significativamente por el uso del ligante aditivado que proponga.

El Pliego de prescripciones técnicas particulares establecerá los requisitos que se exijan a cada una del resto de mezclas bituminosas a baja temperatura, de acuerdo con estas Instrucciones.

Este punto queda abierto a la publicación de nueva normativa, instrucciones u otros documentos de carácter técnico que pudieran aparecer en un futuro, y que definan en mayor grado, que en la actualidad, las distintas metodologías a seguir para una bajada de la temperatura de las mezclas asfálticas.

Antes de iniciarse la puesta en obra de cada tipo de mezcla bituminosa será preceptiva la realización del correspondiente tramo de prueba, para comprobar la fórmula de trabajo, la fabricación y su puesta en obra. Se seguirá lo indicado al respecto por los artículos 542, 543 y 544 del PG-3 y en las correspondientes recomendaciones. Su ejecución será de abono incluso en caso de tenerse que repetir en una ocasión.

4 MEZCLAS BITUMINOSAS TIPO SMA

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

4.1.1 Normativa

Este capítulo de las Instrucciones se rige por la siguiente normativa:

- Orden Circular OC 3/2019 sobre mezclas bituminosas tipo SMA

4.1.2 Sostenibilidad

La sostenibilidad de este tipo de mezclas, que contienen un alto contenido en betún y por lo tanto un mayor coste económico, viene dada por su mayor durabilidad y su buen comportamiento frente a la reflexión de fisuras.

4.2 DEFINICIÓN

Se define como mezclas bituminosa tipo SMA la combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (con bajas proporciones de árido fino y discontinuidad granulométrica en los tamaños intermedios del árido grueso), polvo mineral y aditivo estabilizante, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una gruesa película homogénea de ligante, cuyo proceso de fabricación y puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la del ambiente.

4.3 CONSIDERACIONES TÉCNICAS

Se seguirá todo lo especificado en la Orden Circular OC 3/2019 para las mezclas bituminosas tipo SMA, siempre y cuando el Pliego de prescripciones técnicas particulares no indique lo contrario.

Según esta OC 3/2019, el empleo de mezclas bituminosas tipo SMA debe ceñirse a la consecución de actuaciones de construcción y rehabilitación más durables y sostenibles. Por lo que, debido a su limitada experiencia de uso y comportamiento a largo plazo, se deberá justificar adecuadamente su empleo y limitar su uso a los casos concretos de mejora de resistencia a la fisuración o a la fatiga, o bien a tramos de elevada intensidad de tráfico (IMD > 75.000 veh/día).

Habrà que tener en cuenta que en este tipo de mezclas bituminosas el empleo de RA será según el especificado en el apartado 2.5, donde se indica que en capa de rodadura se permitirá el empleo de RA en un porcentaje del 10 %. En el caso de que se utilice una mezcla SMA en capa intermedia, el porcentaje de RA podrá ser del 15 %.

Las mezclas bituminosas tipo SMA semicalientes, donde el empleo de betunes especiales, aditivos u otros procedimientos permiten disminuir la temperatura mínima de mezclado en, al menos, cuarenta grados Celsius (40 °C) respecto a la mezcla equivalente, podrán emplearse en las mismas condiciones que aquéllas en la categoría de tráfico pesado T1.

Cuando a este tipo de mezcla bituminosa se decida incorporar polvo de caucho, se deberá seguir lo indicado a este respecto en la OC mencionada y lo indicado en el capítulo 6 de estas Instrucciones.

Antes de iniciarse la puesta en obra de cada tipo de mezcla bituminosa será preceptiva la realización del correspondiente tramo de prueba, para comprobar la fórmula de trabajo, la fabricación y su puesta en obra. Se seguirá lo indicado al respecto por la OC 3/2019. Su ejecución será de abono incluso en caso de tenerse que repetir en una ocasión.

5 MEZCLAS BITUMINOSAS ULTRADELGADAS (AUTL)

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

5.1.1 Normativa

En España no existe, al menos hasta la fecha, normativa específica al respecto. Por lo que, y hasta que se publique normativa concreta de este tipo de mezclas, se seguirán las indicaciones establecidas en estas Instrucciones.

5.1.2 Sostenibilidad

Lo más relevante en este tipo de mezcla bituminosa es la minimización del consumo de materias primas y, por lo tanto, del impacto ambiental (disminuyendo el consumo de energía que se traduce en menores emisiones generadas), especialmente en el caso de Mallorca al no contar en la isla con yacimientos explotables de los que se puedan obtener áridos gruesos que cumplan con los requisitos exigidos para las capas de rodadura.

5.2 DEFINICIÓN

Las mezclas bituminosas ultradelgadas, también denominadas AUTL, son mezclas discontinuas en caliente de espesor muy reducido recogidas en la normativa europea UNE-EN 13108-9 "Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 9: Mezclas bituminosas ultrafinas (AUTL)". Se trata de la combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (incluido el polvo mineral) y aditivos, de manera que todas las partículas de los áridos queden recubiertas por una película homogénea y gruesa de mástico, extendida en un espesor comprendido entre 10 y 20 mm.

Se caracterizan por tener espesores no superiores a los 2 cm, dotando al pavimento de muy buenas propiedades superficiales (resistencia al deslizamiento y macrotextura) y ofreciendo a su vez una rápida apertura al tráfico.

Para la designación de las mezclas AUTL, se seguirá la establecida en la UNE-EN 13108-9, como se indica a continuación:

AUTL	D	Ligante
------	---	---------

Siendo D tamaño máximo del árido, expresado como la abertura del tamiz que deja pasar entre un noventa y un cien por ciento (90 % y 100 %) del total del árido.

5.3 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Este tipo de mezcla puede ser empleada sobre cualquier tipo de firme existente sin tener que realizar operaciones de fresado, siempre y cuando el estado del firme a rehabilitar sea adecuado, es decir, carezca de defectos de tipo estructural y posea una buena regularidad superficial, sin deformaciones ni ondulaciones. También puede usarse como capa de rodadura para firmes nuevos.

La empresa Contratista detallará las características de la mezcla y sus componentes, así como los requisitos para su formulación, elaboración y puesta en obra, que deberán ser previamente aprobadas

por la Direcció de Obra, y seguir las indicaciones establecidas en estas Instrucciones o por normativa nueva que aparezca.

Se deberá redactar un plan de ensayos y de seguimiento con el fin de comprobar el comportamiento de las mezclas AUTL (reflexión de fisuras, regularidad superficial, etc.) para poder hacer un seguimiento de la actuación junto con la Direcció Insular.

5.3.1 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

El tamaño máximo del árido (D) será igual o inferior a 8 mm, aunque justificadamente podrá llegar a ser de hasta 11,2 mm. Los áridos deben ser homogéneos, triturados al 100 % en todas sus fracciones. Presentarán una alta cubricidad (índice de lajas < 15), alta resistencia a la fragmentación (coeficiente de Los Ángeles < 15) y elevada resistencia al pulimento (PSV > 50, PSV > 56 para tráfico T00 y T0). Las fracciones finas procederán de la trituración de áridos que cumplan las características anteriores. El equivalente de arena de la fracción 0/4 mm del árido combinado será > 55 (SE4 > 55). El polvo mineral a emplear será totalmente de aportación, salvo el que quede inevitablemente adherido a los áridos tras su paso por el secador, y estará en posesión del correspondiente marcado CE, de conformidad con la norma UNE-EN 13043.

Asimismo, se cuidará su limpieza (el contenido de finos del árido grueso (norma UNE-EN 933-1), determinado como el porcentaje que pasa por el tamiz 0,063 mm, y que será inferior al cinco por mil (< 5 ‰) en masa) y deberán estar muy bien clasificados (en la planta se deberá verificar el control de todas las fracciones ya que estas mezclas son muy susceptibles a las variaciones en las granulometrías).

No se incorporará RA en este tipo de mezclas bituminosas.

Para la obtención de la fórmula de trabajo de la mezcla AUTL se seguirán los mismos criterios que para las mezclas BBTM B. Será recomendable el ensayo cántabro (normas UNE-EN 12697-17 y NLT-362/92) para las mezclas AUTL abiertas con valores en seco < 15 y tras inmersión 24 horas a 60 °C < 20. Deberá comprobarse que el escurrimiento del ligante mediante el método del vaso de precipitados la cesta, realizando el ensayo conforme a la norma UNE-EN 12697-18, es inferior a 0,3 %.

A efectos del comportamiento a baja temperatura de la mezcla se realizará el ensayo Fénix a 5 y 15 °C, y se informará de los resultados al Laboratorio de Carreteras.

5.3.2 Fabricación de la mezcla

El ligante bituminoso a emplear en la mezcla AUTL deberá ser del tipo PMB 45/80-65 o PMB 45/80-75, este segundo ligante será preceptivo en caso de que la superficie a cubrir presente un nivel de fisuración no estructural (por envejecimiento o reflexión de fisuras de base tratada con cemento) significativo.

Si se utilizasen aditivos, estos serán del tipo fibras para estabilizar los elevados contenidos de ligantes de estas mezclas (> 6 % sobre mezcla) en unas proporciones comprendidas entre el 0,3 - 0,5 % sobre mezcla.

No se incorporará en estas mezclas polvo de caucho procedente de NFVU.

5.3.3 Extensió y compactación

El riego de adherencia se realizará con emulsión C60BP3 ADH, según lo indicado en la tabla 214.4.a del artículo 214 del PG-3, aunque se aceptará también con índice de rotura clase 4. Las características del ligante residual obtenido por evaporación y seguido de estabilización deberán cumplir, al menos, las características del betún PMB 45/80-60 según la tabla 212.2.a del artículo 212 del PG-3. La dotación de ligante residual del riego de adherencia deberá estar comprendido entre 0,5 y 0,8 kg/m², ajustándose la cantidad final en obra en función de la menor o mayor macrorrugosidad, respectivamente.

Será recomendable colocar una lechada de cal según las indicaciones del apartado 7.1, a no ser que se emplee un equipo de extendido con dotación de riego incorporado.

Dado el poco espesor de la capa a extender, su ejecución se realizará siempre bajo condiciones climáticas favorables, entendiéndose como tales aquellas en las que el riesgo de que se produzcan precipitaciones, heladas o situaciones de temperaturas inferiores a diez grados Celsius (< 10 °C), así como fuerte viento, es muy reducido, y por tanto su afección al extendido y compactación es también reducida.

Por el mismo motivo, antes de proceder a la ejecución deberá comprobarse que la superficie sobre la que se va a efectuar el extendido ha alcanzado una temperatura superior a diez grados Celsius (> 10 °C).

Después del extendido, se deberá compactar la mezcla mediante compactadores lisos metálicos o compactadores de neumáticos. El fin de esta compactación no debe ser transmitir energía al proceso, sino asegurar el contacto de la emulsión que se deberá integrar a la mezcla en la totalidad de superficie de extendido.

5.4 TRAMO DE PRUEBA

En cuanto al tramo de prueba, control de calidad y materiales, control de ejecución y de recepción de la unidad terminada se seguirán los mismos criterios que para las mezclas BBTM B del artículo 543 del PG-3.

Su ejecución será de abono incluso en caso de tenerse que repetir en una ocasión.

5.5 CONTROL DE EJECUCIÓN Y DE CALIDAD

Las especificaciones de la unidad terminada serán, al menos, tan exigentes como los empleados en las mezclas BBTM B aplicadas en espesores inferiores a 2,5 cm. (apartado 543.7 del PG-3). Las macrotexturas dependerán del tipo de mezcla: AUTL densa > 0,9 y AUTL abierta > 1,2, y el CRT deberá ser > 60.

Para los criterios de aceptación o rechazo se seguirán los criterios establecidos en el epígrafe 543.10 del PG-3 para mezclas BBTM B.

Además de esto y de los ensayos considerados en el plan de ensayos y de seguimiento redactado y mencionado anteriormente, será preciso incorporar un ensayo de adherencia en obra que aporte la suficiente información sobre la adherencia real con el pavimento antiguo, debiéndose incluir en laboratorio algún ensayo de medida de la cohesión superficial (esto es debido a que los métodos utilizados hoy en día para evaluar la adherencia entre capas no son de aplicación a mezclas cuyo espesor sea inferior a 2,5 cm).

6 MEZCLAS BITUMINOSAS CON INCORPORACIÓN DE POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS AL FINAL DE SU VIDA ÚTIL (NFVU)

6.1 CONSIDERACIONES GENERALES

6.1.1 Normativa

Se detallan los documentos seguidos para desarrollar este capítulo de las Instrucciones:

- Orden Circular 21/2007 sobre el uso y especificaciones que deben cumplir los ligantes y mezclas bituminosas que incorporen caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU)
- Orden Circular 21bis/2009 sobre betunes mejorados y betunes modificados de alta viscosidad con caucho procedente de neumáticos fuera de uso (NFU) y criterios a tener en cuenta para su fabricación in situ y almacenamiento en obra
- Nota Técnica NT 02/2020 – Sustitución de un betún mejorado con caucho (BC) por la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho en la fabricación de mezclas bituminosas en caliente
- PG-3, en sus artículos 542, 543 y 544
- Manual de empleo de caucho NFU en mezclas bituminosas del CEDEX (en adelante Manual NFU)

También existen manuales, recomendaciones y otros tipos de documentos (borradores, documentos de trabajo, etc.) que se han tenido en cuenta para la realización de estas Instrucciones.

6.1.2 Sostenibilidad

La aportación sostenible de este tipo de mezclas bituminosas radica en el reciclado de los neumáticos al final de su vida útil para crear un nuevo producto, polvo de caucho. Y, por otro lado, en la mayor durabilidad que pueden presentar estas mezclas.

6.2 DEFINICIÓN

Se define mezcla bituminosa modificada con polvo de caucho a la combinación de un ligante hidrocarbonado, áridos (incluido el polvo mineral), polvo de caucho y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del árido queden recubiertas por una película homogénea de ligante.

6.3 VENTAJAS QUE APORTA EL NFVU A LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

En el Manual NFU del Cedex se indican las ventajas técnicas que el empleo de polvo de NFU aporta a las mezclas bituminosas fabricadas con esta adición:

“La adición de polvo de caucho a un betún o a una mezcla bituminosa tiene dos efectos principales:

- *El polvo de caucho actúa como espesante, aumentando la viscosidad del ligante. En las mezclas bituminosas esto permite envolver los áridos con películas más gruesas de betún sin que se produzcan escurrimientos o exudaciones.*

- *La adición de polvo de caucho modifica la reología de los betunes, de manera que aumentan su elasticidad y resiliencia a temperaturas elevadas y disminuye la susceptibilidad térmica.*

El efecto conjunto de estas modificaciones permite conseguir en las mezclas bituminosas:

- *Mejor resistencia a las roderas que las mezclas convencionales, por su elevada viscosidad, punto de reblandecimiento y resiliencia (ligante más elástico y viscoso a las temperaturas altas de servicio). “*
- *Menor susceptibilidad a la temperatura que las mezclas convencionales.*
- *Mayor resistencia al agrietamiento, tanto por fatiga como por reflexión de las capas inferiores que las mezclas convencionales, debido a los mayores contenidos de ligante que permite esta técnica.*
- *Mayor resistencia al envejecimiento y a la oxidación que las mezclas convencionales, por el potencial de utilizar mayores dotaciones de ligante y por la presencia de los antioxidantes del caucho de los NFU's.”*

6.4 TÉCNICAS DE INCORPORACIÓN DEL POLVO DE CAUCHO EN LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

La incorporación del polvo de caucho en la fabricación de las mezclas bituminosas se puede realizar por uno de los siguientes procedimientos o técnicas:

- **Por vía húmeda**, procedimiento que consiste en la mezcla a alta temperatura de polvo de caucho con un betún asfáltico (como uno más de sus componentes) durante el tiempo suficiente (digestión) para modificar sus propiedades.

La forma de fabricar este ligante puede ser en una central de fabricación esencialmente semejante a las utilizadas para la obtención de betunes modificados o bien mediante una instalación *in situ* ubicada en la planta de fabricación de la mezcla bituminosa.

Debido a los tiempos máximos de almacenamiento de estos ligantes, su fabricación en instalaciones industriales y posterior transporte hasta la isla no parece hoy por hoy factible. En el caso que se plantee esta opción en una obra, deberá justificarse adecuadamente su viabilidad real y verificarse posteriormente, y deberá contar con la autorización de la Dirección de las Obras y previo informe favorable del Laboratorio de Carreteras del Consell de Mallorca.

- **Por vía seca**, procedimiento que consiste en la incorporación del polvo de caucho directamente a la amasadora de la central de fabricación de la mezcla bituminosa, como uno más de sus componentes.

Esta vía permite trabajar con el polvo de caucho virgen o con el polvo de caucho pretratado o aditivado en origen con otros componentes.

La finalidad del polvo de caucho pretratado o aditivado (en adelante aditivos de NFVU), comúnmente denominada vía semihúmeda o semiseca, es facilitar la incorporación de dicho polvo de caucho a la mezcla bituminosa sin necesidad de los tiempos de espera (digestión) requeridos para la vía seca con polvo de caucho convencional, y sin los inconvenientes de la vía húmeda.

El caucho pretratado o aditivado se incorpora también directamente a la amasadora de la central de fabricación de la mezcla bituminosa, como uno más de sus componentes.

Nota: El polvo de caucho pretratado con betún se fabrica en factoría industrial mediante un proceso de vía húmeda.

6.5 DESIGNACIÓN DE LAS MEZCLAS BITUMINOSAS CON POLVO DE CAUCHO

La designación de las mezclas bituminosas que incorporan polvo de caucho dependerá de la modalidad de fabricación de la mezcla, ya sea por vía húmeda o por vía seca.

Si el polvo de caucho se incorpora a la mezcla bituminosa a través del ligante, es decir, por vía húmeda, la denominación seguirá lo que indique la normativa en vigor en su momento.

Actualmente, y según el Manual NFU del Cedex, la Orden Circular 21/2007 y posteriores actualizaciones, por vía húmeda se clasifican los ligantes de las mezclas bituminosas en función del porcentaje de polvo de caucho, en las siguientes tipologías:

- **Betunes mejorados con caucho (BC)**, con dotaciones aproximadas de polvo de NFVU del 6 al 12 % (en porcentaje sobre peso total del ligante con caucho empleado).
- **Betunes modificados con caucho (BMC)**, con dotaciones orientativas de polvo de NFVU superiores al 12 hasta el 15 % (en porcentaje sobre peso total del ligante con caucho empleado).
- **Betunes modificados de alta viscosidad con caucho (BMAVC)**, con dotaciones estimativas de polvo de NFVU superiores al 15 % (en porcentaje sobre peso total del ligante con caucho empleado).

A ellas se añade la siguiente tipología:

- **Betunes modificados híbridos (BMH)**, que obtienen sus propiedades mediante la combinación de polvo de caucho de NFVU y polímeros en las proporciones adecuadas.

Sin embargo, cuando la incorporación del polvo de caucho se realiza por vía seca se añadirá una letra C al tipo de mezcla.

La designación de las mezclas tipo hormigón bituminoso, discontinuas, drenantes y SMA, se hará de conformidad con lo indicado en los artículos correspondientes del PG-3, con los cambios que se indican a continuación:

AC	C	D	Surf/bin/base	Ligante	Granulometría
----	---	---	---------------	---------	---------------

BBTM	C	D	Clase	Ligante
------	---	---	-------	---------

PA	C	D	Ligante
----	---	---	---------

SMA	C	D	Surf/bin	Ligante
-----	---	---	----------	---------

donde:

C: indicación relativa a que la mezcla contiene caucho por vía seca

D: tamaño máximo del árido

Ejemplo: Una mezcla del tipo hormigón bituminoso con caucho por vía seca, de granulometría semidensa, con un tamaño máximo de árido de 16 mm para capa intermedia y fabricada con un betún asfáltico de penetración 50/70 se designaría como:

ACC 16 bin 50/70 S

6.6 POLVO DE CAUCHO

6.6.1 Definición

Se define como polvo de caucho para su aplicación en obras de pavimentación a las partículas de tamaño no superior a ocho décimas de milímetro ($\neq 0,8$ mm) obtenidas del proceso de granulación y molienda de neumáticos al final de su vida útil (NFVU), compuestas por una mezcla de caucho natural y cauchos sintéticos, tras haber procedido a la retirada de sus componentes ferromagnéticos, textiles y contaminantes.

El polvo de caucho puede incorporar aditivos que mejoren su empleo, denominándose polvo de caucho aditivado, o haber sido sometido a procesos de tratamiento para modificar sus propiedades, obteniéndose lo que se denomina polvo de caucho pretratado (aditivo de NFVU).

6.6.2 Características químicas

El polvo de caucho está compuesto por una mezcla de caucho natural (NR) y cauchos sintéticos (SBR y BR), cuya proporción depende del origen de los neumáticos de partida.

La composición química del polvo de caucho puede determinarse de acuerdo con la especificación técnica CEN/TS 17307. Su finalidad principal será la comprobación de que el material procede de neumáticos y la homogeneidad de su composición (proporción de neumáticos de camión y de turismo) a lo largo del suministro.

El polvo de caucho aditivado y pretratado contendrá, además, otros elementos o aditivos cuya finalidad sea facilitar su incorporación a betunes y mezclas asfálticas. El fabricante o suministrador aportará información sobre el contenido de los materiales empleados en la fabricación de dicho producto que se tendrá en cuenta a la hora de su incorporación.

En cualquier caso, el contenido en caucho del polvo de caucho aditivado y pretratado no será inferior al setenta por ciento ($\neq 70$ %) ni al cuarenta por ciento ($\neq 40$ %) respectivamente.

6.6.3 Características físicas

6.6.3.1 Densidad

La densidad aparente de las partículas de caucho puede variar ligeramente en función del proceso de producción, pudiéndose tomar como valor medio cinco décimas de gramo por centímetro cúbico ($0,5$ g/cm³). Su densidad real (UNE-CEN/TS 17189) es de uno con diecinueve gramos por centímetro cúbico con una tolerancia de seis centésimas de gramo por metro cúbico ($1,19 \pm 0,06$ g/cm³).

La densidad real y aparente de las partículas de caucho pretratado variará en función del proceso de pretratamiento, por lo que sus valores deberán ser declarados por el fabricante o suministrador.

6.6.3.2 Humedad

El contenido de humedad del polvo de caucho debe controlarse para evitar la formación de espumas durante su empleo. Su contenido será inferior al tres por mil (< 3 ‰) (CEN/TS 16916).

6.6.3.3 Granulometría

La granulometría del polvo de caucho, determinada de conformidad con el método de ensayo descrito en la norma UNE-EN 14243-2, deberá ajustarse a los husos descritos en la Tabla 2.4.1 en función de su forma de empleo.

TABLA 6.6.1 – HUSOS GRANULOMÉTRICOS DEL POLVO DE CAUCHO A EMPLEAR EN BETUNES Y MEZCLAS BITUMINOSAS

Forma de empleo	Tipo de NFVU	Cernido ponderal acumulado (% en masa)					
		Abertura de los tamices (mm)					
		0.8	0.71	0.5	0.25	0.125	0.063
Vía húmeda		97-100	75-100	50-100	5-75	0-15	0-15
Vía seca	Normal (*)						
	Aditivado (**)	-	-	97-100	0-75	0-40	0-25
	Pretratado (**)	90-100	75-100	40-90	10-50	5-30	0-15

(*) Polvo de caucho sin ningún tipo de tratamiento.

(**) La granulometría se refiere a la del caucho normal utilizado para obtenerlo.

6.6.3.4 Contenido de impurezas

El contenido de materiales ferromagnéticos, fibras textiles e impurezas en el polvo de caucho, determinado de conformidad con la norma UNE-EN 14243-2:2019, deberá cumplir los límites indicados en la Tabla 2.4.2.

TABLA 6.6.2 – CONTENIDO DE IMPUREZAS EN EL POLVO DE CAUCHO (UNE-EN 14243-2)

Impurezas	Porcentaje en masa
Materiales ferromagnéticos	≤ 0,1
Fibras textiles	≤ 0,25
Otras	≤ 0,25

6.6.3.5 Transporte y almacenamiento

El polvo de caucho puede suministrarse a granel o en sacas (*big bags*). En el primer caso se almacenará en un silo especialmente identificado. En los suministros mediante sacas, éstas deberán estar fechadas y deberán acopiarse en almacenes ventilados, protegidas de la lluvia y del sol.

Cuando el periodo de almacenamiento sea superior a seis (> 6) meses, deberá comprobarse que no se han producido aglutinaciones antes de proceder a su empleo. En caso de haberse producido, el producto deberá ser necesariamente tratado, por ejemplo, mediante un cribado por vibración, para permitir su uso correcto.

6.6.3.6 Recepción e identificación

Cada partida irá acompañada de un albarán y de una hoja de características del producto en los que debe figurar, al menos, la información que se indica a continuación.

El albarán contendrá explícitamente los siguientes datos:

- Nombre y dirección de la empresa suministradora
- Fecha de fabricación y de suministro
- Identificación del vehículo que lo transporta
- Forma de suministro (a granel o en sacas)
- Cantidad que se suministra
- Denominación comercial, si la hubiese, y tipo de polvo de caucho suministrado (normal, aditivado, pretratado)
- Nombre y dirección del comprador y del destino
- Referencia del pedido

La hoja de características deberá incluir la siguiente información:

- Número de lote de fabricación
- Descripción del producto en función del origen del neumático: camión, turismo, mezcla de ambos indicando la proporción, u otros tipos
- Granulometría
- Contenido de humedad
- Contenido de materiales ferromagnéticos, fibra textil e impurezas

En el caso de polvo de caucho aditivado y pretratado la hoja de características deberá incluir la siguiente información:

- Número de lote de fabricación
- Identificación del producto y forma de suministro
- Declaración del fabricante del contenido de caucho y su origen
- Granulometría
- En el caso de los productos aditivados, indicación de los efectos principales sobre el ligante o la mezcla bituminosa
- En el caso de productos pretratados o aditivados, información sobre sus componentes para poderlos tener en cuenta en la fórmula de trabajo de la mezcla bituminosa. Declaración sobre el contenido de impurezas del polvo de caucho utilizado
- Indicaciones sobre forma de incorporación en ligantes o en mezclas bituminosas
- Otras características relevantes

NOTA: En el caso de que el polvo de caucho aditivado o pretratado se suministre en forma de pellets, la granulometría a la que se hace referencia en la hoja de características se refiere a la del caucho normal utilizado, no a la granulometría del pellet.

Además, el polvo de caucho aditivado y el polvo de caucho pretratado podrán estar en posesión de una evaluación técnica de la idoneidad de empleo en la que se indiquen, entre otras, sus características, forma de uso, limitaciones de empleo, en su caso, y se establezca su idoneidad para ser empleados como aditivos en mezclas bituminosas en caliente o en ligantes hidrocarbonados.

NOTA: La evaluación técnica de la idoneidad de empleo se materializa a través de un Documento de Idoneidad Técnica (DIT), un documento de carácter voluntario que contiene una apreciación técnica favorable de la idoneidad de empleo en obra civil de materiales, sistemas o procedimientos constructivos no tradicionales o innovadores, expedido por un organismo autorizado para ello. A los efectos de estas Instrucciones se considerarán como tales los organismos pertenecientes a la UEAtc (The European Union for Technical

Approval in Construction), *así como los pertenecientes a la EOTA* (The European Organisation for Technical Assessment).

6.6.3.7 Control de recepción

Para el control de recepción se llevará a cabo la verificación documental de que los valores declarados en la información que acompaña al polvo de caucho cumplen las especificaciones establecidas en estas Instrucciones y en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares del proyecto.

La Dirección de la Obra, o la persona responsable de la recepción, podrá, en cualquier momento, realizar comprobaciones y ensayos sobre los materiales suministrados. En este caso, se seguirán los criterios que se indican a continuación.

De cada partida suministrada se tomará una muestra representativa de, al menos, dos kilogramos (2 kg). En suministros a granel la muestra se formará mediante tomas realizadas en distintas zonas de la cisterna y a diferentes profundidades, mientras que en suministros en sacas se seguirán los criterios descritos en UNE-CEN/TS 17188. Cuando la partida esté constituida por varias sacas, la muestra deberá constituirse con tomas realizadas en, al menos, dos (2) sacas.

Sobre esta muestra se realizarán los siguientes ensayos:

- Granulometría (UNE-EN 14243-2) en el caso del polvo de caucho normal
- Contenido de impurezas (UNE-EN 14243-2) en el caso del polvo de caucho normal
- Contenido de humedad (CEN/TS 16916)

6.6.3.8 Criterios de aceptación o rechazo

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, o en su defecto la Dirección de la Obra o la persona responsable de la recepción, indicará las medidas a adoptar en el caso de que el producto suministrado no cumpla alguna de las especificaciones establecidas para él.

6.7 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS POR VÍA HÚMEDA

La ejecución de las obras por vía húmeda seguirá las prescripciones descritas en el PG-3, y en la reglamentación específica vigente de la Dirección General de Carreteras relativa a betunes con incorporación de caucho y con lo indicado en estas Instrucciones.

Cuando se empleen ligantes que incorporen caucho, deberán utilizarse dotaciones mínimas de ligante superiores en tres (3) décimas porcentuales a las indicadas en los artículos correspondientes del PG-3.

En aquellas aplicaciones donde se decida emplear un betún mejorado con caucho (BC), este se podrá reemplazar por la combinación de un betún de penetración y un aditivo de caucho (vía semihúmeda o semiseca) de acuerdo con la NT 02/2020, con las particularidades siguientes:

- El contenido mínimo en peso de polvo de caucho será del 6 % respecto a la masa final del ligante con caucho
- Las comprobaciones que la Nota Técnica recomienda sobre el ligante resultante de la combinación del betún con el aditivo deberán considerarse preceptivas
- Las especificaciones del BC resultante serán las recogidas en la Tabla 2.7.1

6.7.1 Requisitos

Se indican a continuación los requisitos que deben cumplir los ligantes que incorporen caucho. En todos los casos, deberán emplear como betún de partida un betún asfáltico de los definidos en el artículo 211 del PG-3.

6.7.1.1 Betunes mejorados con caucho (BC)

Los betunes mejorados con caucho, o betunes caucho, (BC) deberán contener un mínimo del 6 % en peso de polvo de caucho, así como cumplir las especificaciones que se indican en la Tabla 2.7.1.

Tabla 6.7.1 - REQUISITOS DE LOS BETUNES MEJORADOS CON CAUCHO

Característica	Norma de referencia	Unidad	BC 35/50	BC 50/70
Penetración a 25 °C	UNE-EN 1426	0,1 mm	35 - 50	50 - 70
Punto de reblandecimiento	UNE-EN 1427	°C	≥ 58	≥ 53
PROPIEDADES DE TRACCIÓN Energía de cohesión Temperatura Elongación	UNE-EN 13589	J/cm ² °C mm	≥ 0,5 DV DV	
Recuperación elástica a 25 °C	UNE-EN 13398	%	≥ 30	
RESISTENCIA AL ENVEJECIMIENTO Cambio de masa Penetración retenida Variación punto reblandecimiento	UNE-EN 12607-1	% % °C	≤ 1 ≥ 65 ≤ 8	≤ 1 ≥ 60 ≤ 10
Punto de inflamación en vaso abierto	UNE-EN ISO 2592	°C	≥ 235	
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO (*) Diferencia punto de reblandecimiento Diferencia de penetración	UNE-EN 13399	°C 0,1 mm	≤ 10 ≤ 8	≤ 10 ≤ 10

DV Valor declarado de la temperatura, en °C, y de la elongación, en mm, con los que se obtiene la energía de cohesión.

(*) No exigible a los ligantes que se fabriquen in situ en virtud de la obligación de estar dotados de sistemas eficaces de agitación en los tanques de almacenamiento.

6.7.1.2 Betunes modificados con caucho (BMC) y modificados con caucho de alta viscosidad (BMCAV)

Deberán cumplir con las prescripciones descritas en el PG-3 y en la reglamentación específica vigente de la Dirección General de Carreteras.

6.7.1.3 Betunes modificados híbridos (BMH)

Estos betunes deberán contener un mínimo del 4 % en peso de polvo de caucho y del 3 % en peso de polímeros (a menos que el betún de partida sea un betún modificado con polímeros PMB 45/80-60 o PMB 45/80-65), así como cumplir las especificaciones que se indican en la Tabla 2.7.2.

Tabla 6.7.2 - REQUISITOS DE LOS BETUNES MODIFICADOS HÍBRIDOS

Característica	Norma de referencia	Unidad	BMH 45/80-60	BMH 45/80-65
Penetración a 25 °C	UNE-EN 1426	0,1 mm	45 - 80	45 - 80
Punto de reblandecimiento	UNE-EN 1427	°C	≥ 60	≥ 65
Energía de cohesión	UNE-EN 13589	J/cm ²	≥ 2 a 5 °C	≥ 3 a 5 °C
Recuperación elástica a 25 °C Inicial Tras envejecimiento (UNE-EN 12607-1)	UNE-EN 13398	%	≥ 60 ≥ 50	≥ 70 ≥ 60
RESISTENCIA AL ENVEJECIMIENTO Cambio de masa Penetración retenida Variación punto reblandecimiento – incremento	UNE-EN 12607-1 UNE-EN 1426 UNE-EN 1427	% % °C		≤ 1,0 ≥ 60 ≤ 10
Viscosidad dinámica a 135°C (*)	UNE-EN 13302	Pa·s		DV
Punto de inflamación en vaso abierto	UNE-EN ISO 2592	°C		≥ 235
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO (**) Diferencia punto de reblandecimiento Diferencia de penetración	UNE-EN 13399	°C 0,1 mm		≤ 5 ≤ 10

DV Declaración de valor alcanzado.

(*) A una velocidad de corte de 100 s⁻¹

(**) No exigible a los ligantes que se fabriquen *in situ* en virtud de la obligación de estar dotados de sistemas eficaces de agitación en los tanques de almacenamiento.

6.7.2 Fabricación

La fabricación de este tipo de ligantes sólo puede realizarse por vía húmeda, consistente en la mezcla a alta temperatura del polvo de caucho con un betún en unas determinadas condiciones de temperatura, tiempo de envuelta y combinación íntima de ambos componentes, en un proceso conocido como digestión.

Este proceso puede llevarse a cabo en instalaciones industriales (en este caso hay que tener en cuenta si es posible garantizar su estabilidad durante el tiempo necesario para su transporte) o bien *in situ*, en instalaciones específicas anejas a la propia planta de fabricación de mezcla bituminosa. En ambos casos su elaboración deberá incluir dos procesos sucesivos y complementarios:

- Mezclado del betún con el polvo de caucho NFVU
- Proceso de digestión del polvo de caucho con el ligante bituminoso hasta alcanzar las prescripciones establecidas

Cada una de estas fases deberá tener una duración mínima para que se complete de forma adecuada todo el proceso de fabricación. En ningún caso será admisible que el ligante con caucho fabricado *in situ* se incorpore al mezclador de la planta de mezcla bituminosa sin haber completado estas dos fases preceptivas.

En el caso de ligantes fabricados *in situ*, la instalación de fabricación dispondrá de un sistema de control de producción que proporcione, al menos, un nivel de garantía similar al correspondiente al mercado CE, debiendo disponer de un laboratorio propio o contratado para llevar a cabo los ensayos correspondientes.

Esta instalación deberá ser visitada por la Dirección de la Obra, o entidad en la que ésta delegue, comprobándose la idoneidad de la misma y, en especial, que dispone de:

- Sistema de almacenamiento del polvo de caucho protegido de la intemperie y un sistema de incorporación al mezclador que permita asegurar la dosificación ponderal.
- Un mezclador del betún de penetración con el polvo de caucho y un depósito con agitación independiente del anterior para que se pueda producir el proceso de digestión del polvo de caucho por el ligante, ambos con sistema de calefacción indirecta incorporado, y con capacidad suficiente en relación con la producción horaria de la planta de mezcla bituminosa.
- Un tanque de almacenamiento, con sistema de agitación y calefacción, para almacenar el ligante fabricado antes de su incorporación a la mezcla bituminosa, que deberá permitir la toma de muestras en las zonas superior e inferior.
- Un centro de control del proceso que efectúe un registro de dosificaciones, viscosidades, temperaturas y tiempos de mezclado, de digestión y de almacenamiento, que permita realizar una trazabilidad del producto generado.

En el caso de instalaciones de fabricación *in situ* que utilicen un tanque mezclador-digestor, los procesos de mezclado y digestión se producen de manera simultánea, por lo que puede considerarse que el periodo de digestión es el tiempo que el betún y el polvo de caucho permanezcan en dicho tanque.

Aquellas en las que el ligante con caucho se incorpore directamente para la fabricación de la mezcla bituminosa, no será preceptiva la existencia de un tanque de almacenamiento. Dicha función podrá ser realizada por el tanque digestor una vez completado el proceso de digestión del caucho, al disponer de la agitación necesaria para evitar problemas de decantaciones y sedimentaciones.

Para los BMH, en el caso de incorporarse los polímeros también en las instalaciones de fabricación *in situ*, deberá detallarse y justificarse adecuadamente el procedimiento empleado.

La Dirección de la Obra deberá poder tener acceso a todos los registros de producción y resultados de ensayos iniciales correspondientes al ligante que vaya a emplearse en la obra. El fabricante deberá certificar y describir el procedimiento de fabricación utilizado, y garantizar la veracidad de la información facilitada y las características del ligante obtenido.

En dicha certificación se deberán indicar, al menos, los siguientes parámetros:

- Tiempo mínimo de mezclado, que no será inferior a treinta minutos (≤ 30 m in) para contenidos de polvo de caucho de hasta el doce por ciento (≤ 12 %) en peso, ni a sesenta minutos (≤ 60 m in) para contenidos superiores.
- Tiempo mínimo de digestión, que no será inferior a treinta minutos (≤ 30 m in).
- Tiempo máximo de almacenamiento, que no será superior a setenta y dos horas (≤ 72 h).
- Las temperaturas de mezclado y de digestión, que no deberán ser inferiores a ciento sesenta grados Celsius (≤ 160 °C), ni superar en ningún caso los doscientos grados Celsius (≤ 200 °C).
- La temperatura de almacenamiento, que no será inferior a ciento sesenta grados Celsius (≤ 160 °C).

En cualquier caso, no se podrán emplear ligantes fabricados *in situ* sin contar previamente con la aprobación de la Dirección de la Obra.

6.7.3 Almacenamiento

Los betunes que incorporen caucho deberán almacenarse en tanques calorifugados, dotados con un sistema propio de calefacción, un sistema eficaz de recirculación o agitación, y un sistema de registro y control de la temperatura con termómetros situados en puntos visibles, para evitar que se produzcan variaciones de más de diez grados Celsius (≤ 10 °C) con relación a la temperatura indicada por el fabricante para su almacenamiento.

El sistema de calefacción deberá ser, preferentemente, de recubrimiento exterior del tanque, no siendo admisibles los de serpentines de aceite en su interior, a menos que éstos sean objeto de revisión y limpieza al menos una vez al año para controlar que sobre ellos no se depositan partículas de caucho que disminuyen progresivamente su eficacia, y que así figure en el plan de aseguramiento de la calidad de la planta.

Siempre que sea posible se emplearán tanques de almacenamiento de eje vertical, con sistema de agitación o recirculación, y salida del ligante por la parte inferior del tanque. Esta salida tendrá preferiblemente forma troncocónica para asegurar que se pueda vaciar por completo y evitar una eventual acumulación de producto en el caso de que haya alguna anomalía en el mezclado, susceptible de producir sedimentación de parte del polvo de caucho no adecuadamente incorporado al betún.

El tiempo máximo de almacenamiento no superará las setenta y dos horas (≤ 72 h). Tiempos superiores pueden conducir a una excesiva dilución de las partículas de caucho en el betún y a una progresiva reducción de las propiedades del ligante.

De haberse superado este plazo se procederá a la caracterización del ligante para comprobar sus propiedades y evaluar si éstas se ajustan a alguno de los tipos contemplados en estas Instrucciones o en los artículos 211 o 212 del PG-3, previamente a su utilización en la fabricación de mezclas bituminosas.

Cuando por motivos sobrevenidos vaya a aumentarse el período de almacenamiento de los ligantes con caucho por encima de los periodos habituales, es recomendable reducir la temperatura del tanque a ciento cincuenta grados Celsius (150 °C) para ralentizar la reducción de propiedades.

En el caso del empleo de ligantes que contengan caucho, en los que se haya producido una merma de determinadas propiedades al aumentar el tiempo máximo de almacenamiento, será responsabilidad del fabricante de mezclas bituminosas la comprobación del cumplimiento de las especificaciones establecidas en los artículos 211, 212 del PG-3 o en estas Instrucciones, según corresponda, con excepción del ensayo de solubilidad, y que las mezclas resultantes puedan ostentar, en su caso, el

correspondiente marcado CE, para lo que es preceptiva la idoneidad de los materiales componentes utilizados.

6.7.4 Compactación

La compactación se continuará obligatoriamente hasta que la temperatura de la mezcla bituminosa sea inferior a los 80 °C.

6.8 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS POR VÍA SECA

En la vía seca, el ligante hidrocarbonado a emplear será uno de los recogidos en los artículos 211 y 212 del PG-3, no debiéndose emplear para este cometido ninguno de los ligantes obtenidos por vía húmeda. Las mezclas que podrán incorporar aditivos de caucho son las definidas en los artículos 542, 543 y 544 del PG-3, que han de cumplir todo lo especificado para ellas en los mencionados artículos con las particularidades que se indican a continuación.

Deberán utilizarse dotaciones mínimas de ligante superiores en 3 décimas porcentuales a las indicadas en los artículos correspondientes del PG-3, que en ningún caso incluirán el polvo de caucho.

El polvo de caucho se considerará como parte de la granulometría del árido, como si se tratase de una fracción más. Debe tenerse en cuenta su densidad, empleando para ello los valores declarados por el suministrador, dado que es muy diferente a la de los áridos.

A continuación se indican los tipos de mezcla para la vía seca y el contenido mínimo de caucho en mezcla que se deberá utilizar.

TABLA 6.8.1 – CONTENIDO EN PESO DEL POLVO DE CAUCHO A EMPLEAR EN LAS MEZCLAS BITUMINOSAS

Tipo de mezcla	Contenido en peso (*) (%)
ACC	> 0,3
BBTMC	> 0,5
PAC	> 0,5
SMAC	> 1

(*) Sobre peso total de mezcla.

En el caso de polvo de caucho pretratado, deberá tenerse en cuenta su composición (contenido de ligante, polvo mineral de aportación u otros aditivos) de acuerdo con los valores declarados por el fabricante de este producto, para ajustar la dotación de ligante y la relación ponderal polvo mineral-ligante de la mezcla.

Dado el incremento de viscosidad que produce la incorporación de caucho por vía seca, se podrán utilizar betunes asfálticos con una penetración superior a la especificada en los artículos 542, 543 y 544 del PG-3, siempre que lo autorice la Dirección de las Obras basándose en los ensayos aportados por la empresa Contratista y previo informe favorable del Laboratorio de Carreteras del Consell de Mallorca.

No obstante, las mezclas así planteadas podrán ejecutarse también incorporando el polvo de caucho por vía húmeda de acuerdo con las indicaciones siguientes:

- Cuando el ligante previsto por vía seca fuera un betún asfáltico convencional, se emplearán para la vía húmeda betunes mejorados con caucho (BC) que cumplan con el epígrafe 6.7.1.1.

- Cuando el ligante previsto por vía seca fuera un betún modificado con polímeros, se emplearán para la vía húmeda betunes modificados híbridos (BMH) que cumplan con el epígrafe 6.7.1.3.
- Se cumplirá con las prescripciones establecidas en los apartados 6.7, 6.10 y 6.12.
- Se recomienda realizar igualmente los ensayos prestacionales indicados en el apartado 6.8.1.

6.8.1 Estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

La fórmula de trabajo señalará:

- Tipo de polvo de caucho empleado (normal, aditivado, pretratado) y dotación referida a la masa de la mezcla total
- Densidad mínima a alcanzar
- Las prescripciones necesarias sobre la forma de incorporación y tiempo de mezclado del polvo de caucho para asegurar su completa dispersión en la mezcla. En su caso, se indicará el tiempo de amasado en seco con los áridos antes de la incorporación del ligante
- El tiempo estimado de amasada
- El tiempo mínimo de digestión
- La temperatura mínima de la mezcla al iniciar y terminar la compactación
- Valores de referencia para los ensayos de sensibilidad al agua, deformación en pista y pérdida de partículas, en su caso
- Procedimiento para el control del porcentaje de caucho colocado, justificando los coeficientes correctores a utilizar

La dosificación del ligante y del polvo de caucho en la fórmula de trabajo se fijará teniendo en cuenta los materiales disponibles, la experiencia obtenida en casos análogos y verificando que la mezcla obtenida en la central de fabricación optimiza las prestaciones. Para ello, se utilizarán ensayos prestacionales para la determinación de los contenidos óptimos de los constituyentes, como, por ejemplo: el ensayo Fénix (NLT-383/20), el ensayo UGR-FACT u otros de los que se disponga suficiente experiencia.

La temperatura máxima a la salida del mezclador podrá aumentarse en una cantidad no superior a diez grados Celsius ($\nless 10$ °C) sobre la indicada en los artículos 542 y 543 del PG-3 y en el artículo 544 de la Orden Circular 3/2019.

El fabricante de la mezcla bituminosa con caucho deberá indicar la temperatura de referencia para la compactación de las probetas y para la fabricación, extendido y compactación de la mezcla, así como el tiempo necesario de digestión para alcanzar una adecuada interacción betún/caucho.

La fórmula de trabajo entregada por la empresa Contratista deberá ser aprobada por la Dirección Facultativa previo informe favorable del Laboratorio del Consell de Mallorca.

6.8.2 Tiempo de digestión

En las mezclas que incorporen caucho por vía seca es preciso garantizar un tiempo suficiente de contacto entre el betún y el polvo de caucho en condiciones adecuadas de temperatura. Para ello, el producto resultante tras la envuelta puede almacenarse en un silo intermedio entre la fabricación y el

transporte, o bien transportarse en vehículos convenientemente adaptados para garantizar las menores pérdidas posibles de temperatura hasta el momento de la extensión.

El tiempo de digestión dependerá del tipo de polvo de caucho utilizado y de la temperatura de fabricación de la mezcla. El fabricante de la mezcla deberá indicar con precisión este tiempo en base a los resultados de su control de producción.

A falta de experiencias previas el tiempo de digestión se determinará mediante el ensayo de determinación de sensibilidad al agua realizado sobre probetas en las que se haya dejado transcurrir un determinado tiempo desde la fabricación de la mezcla con caucho, que se conservará en estufa a una temperatura diez grados Celsius (10 °C) inferior a la de fabricación.

El tiempo de digestión será aquel que sea necesario para que se cumpla la especificación de resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta tras inmersión, realizado a quince grados Celsius (15 °C) (método A de la norma UNE EN 12697-12), establecida en función del tipo de mezcla. Las probetas se compactarán según la norma UNE-EN 12697-30, aplicando cincuenta (50) golpes por cara, y desmoldadas en un plazo no inferior a cuatro horas (≤ 4 h) para evitar su descompactación.

Los resultados de laboratorio deberán contrastarse con mezcla fabricada en central.

NOTA: La utilización de aditivos activantes de la adhesividad puede conducir a errores en la determinación del tiempo de digestión del caucho, por lo que se recomienda tenerlo en cuenta a la hora de efectuar el ensayo. Una forma, por ejemplo, sería tomar como valor de resistencia conservada de referencia la máxima que es posible alcanzar sin el empleo de aditivos. Una vez determinado el tiempo de digestión se ajusta la cantidad de aditivo necesaria para mejorar la adhesividad y se repite la determinación del tiempo de digestión en estas nuevas condiciones. El tiempo de digestión final a adoptar será el que haya resultado mayor.

6.8.3 Fabricación de la mezcla

La central de fabricación dispondrá de una tolva específica para la incorporación del polvo de caucho por vía seca, con sistema de dosificación ponderal con una precisión superior al tres por mil (± 3 ‰).

En centrales continuas debe evitarse que el polvo de caucho pueda quedar bajo la influencia de la llama directa en el secador, para prevenir el riesgo de que pueda quemarse. Por este motivo, se incorporará por las entradas previstas para los aditivos. En el caso de contar con un sistema dinámico de pesaje, su precisión no será inferior al uno por mil (± 1 ‰).

Para la fabricación de mezclas bituminosas con caucho por vía seca se procederá de la siguiente forma:

- Se realizará un amasado conjunto de los áridos, incluido el polvo mineral, y el polvo de caucho durante el tiempo necesario para alcanzar una mezcla homogénea que, en ningún caso, será inferior a cinco segundos (≤ 5 s).
- Posteriormente, se incorporará el ligante bituminoso y se procederá a amasar durante al menos treinta segundos (≤ 30 s).

Los tiempos mínimos anteriormente indicados podrán reducirse en el caso de utilización de polvo de caucho pretratado, previa justificación documentada por parte del fabricante y con la aprobación de la Dirección de Obra.

El fabricante de las mezclas bituminosas con caucho es responsable de que éstas se elaboren en las condiciones de homogeneidad y temperatura definidas por el suministrador del polvo de caucho.

6.8.4 Extensió

A la vista de las condiciones climáticas que rodeen la puesta en obra, de los tiempos de digestión, transporte y espera, especialmente cuando sean superiores a una hora (> 1 h) el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o, en su defecto, la Dirección de la Obra podrá exigir que las cajas de los camiones del transporte de la mezcla dispongan de aislamiento térmico y de puntos de control de la temperatura de la mezcla uniformemente repartidos en sus laterales, en un número total no inferior a cuatro (≥ 4).

No podrá procederse a la descarga y extensión de ninguna mezcla con caucho sin que haya transcurrido el tiempo de digestión especificado para la misma en la fórmula de trabajo.

No se admitirá la descarga ni la extensión de mezclas con caucho que lleguen con una temperatura inferior a la indicada en la fórmula de trabajo, ya que el rápido enfriamiento de estas mezclas y su rápido aumento de viscosidad impedirá su correcta compactación.

6.8.5 Compactación

Se emplearán líquidos antiadherentes o soluciones jabonosas para evitar la adherencia de las mezclas con caucho a los compactadores. Estos productos deberán haber sido previamente aprobados por la Dirección de la Obra, a la vista de los resultados obtenidos en el tramo de prueba, y no deberán influir negativamente en las características y comportamiento de la capa.

En mezclas con elevado contenido de caucho deberá comprobarse que los compactadores de neumáticos no producen su levantamiento. En dicho caso, se sustituirán por otros dispositivos de compactación que no produzcan este fenómeno.

La compactación se continuará obligatoriamente hasta que la temperatura de la mezcla bituminosa sea inferior a los 80 °C.

NOTA: Se recuerda que está terminantemente prohibido el uso de gasoil para la limpieza de herramientas, equipos de transporte o equipos de puesta en obra, por el riesgo que conlleva sobre la calidad de las mezclas bituminosas de todo tipo. Esta misma prohibición es extensible a su uso para evitar la adherencia de mezclas y ligantes a compactadores y ruedas de equipos de obra. La Dirección de la Obra habilitará los sistemas de control necesarios para evitar esta práctica, y adoptará las medidas pertinentes para que no se vuelva a producir, en su caso.

Es recomendable no utilizar agua para lastrar los compactadores de neumáticos, pues aumentan las deformaciones en la superficie de la mezcla. En su lugar pueden emplearse arena o granalla metálica.

6.9 TRAMO DE PRUEBA

Antes de iniciarse la puesta en obra de cada tipo de mezcla bituminosa será preceptiva la realización del correspondiente tramo de prueba, para comprobar la fórmula de trabajo, la forma de actuación de los equipos de extensión y compactación, y, especialmente, el plan de compactación.

Se seguirá lo indicado al respecto por los artículos 542, 543 y 544 del PG-3. Su ejecución será de abono incluso en caso de tenerse que repetir en una ocasión.

6.10 CONTROL DE EJECUCIÓN PARA LA VÍA HÚMEDA

El control de la ejecución de las obras por vía húmeda seguirá las prescripciones descritas en el PG-3 y la reglamentación específica vigente de la Dirección General de Carreteras relativa a betunes con incorporación de caucho.

6.11 CONTROL DE EJECUCIÓN PARA LA VÍA SECA

6.11.1 Fabricación

Se realizará un registro de los contenidos de polvo de caucho incorporados a la mezcla. Dichos registros deberán proceder de los sistemas implantados en la central de fabricación y se entregarán, firmados por persona física con responsabilidad, a la Dirección de la Obra como parte del control de calidad.

En centrales de mezcla continua se calibrará diariamente el flujo de la cinta suministradora de polvo de caucho, deteniéndola cargada y recogiendo y pesando el material existente en una longitud elegida.

6.11.2 Limitaciones de la ejecución

Dada la imposibilidad de una adecuada compactación de las mezclas bituminosas con caucho a temperaturas inferiores a ciento veinte grados Celsius (< 120 °C), su ejecución se realizará siempre bajo condiciones climáticas favorables, entendiéndose como tales aquellas en las que el riesgo de que se produzcan precipitaciones, heladas o situaciones de temperaturas inferiores a diez grados Celsius (< 10 °C) es muy reducido, y por tanto su afección al extendido y compactación es también reducida, permitiendo disponer del tiempo suficiente para poder ejecutar la unidad de obra dentro del intervalo de temperaturas indicado en la fórmula de trabajo.

Por el mismo motivo, antes de proceder a la ejecución deberá comprobarse que la superficie sobre la que se va a efectuar el extendido ha alcanzado una temperatura superior a diez grados Celsius (> 10 °C).

6.12 CONTROL DE CALIDAD POR VÍA HÚMEDA

El control de calidad por la vía húmeda deberá seguir las prescripciones descritas en el PG-3 y la reglamentación específica vigente de la Dirección General de Carreteras relativa a betunes con incorporación de caucho, junto con lo indicado en este apartado.

6.12.1 Control de recepción

El control de recepción a efectuar sobre estos ligantes se hará con criterios similares a los indicados en los artículos 211 y 212 del PG-3. En el caso de betunes modificados con caucho de alta viscosidad (BMAVC) se comprobará, además, la viscosidad dinámica a 170 °C (UNE-EN 13302).

Para los ligantes fabricados *in situ*, se tomarán dos (2) muestras por cada cincuenta toneladas (50 t) de producto fabricado y, al menos, dos (2) cada jornada de trabajo de las tuberías de salida de la instalación de fabricación del ligante con caucho, conservando una (1) muestra hasta el final del período de garantía, y realizando sobre las otras los siguientes ensayos:

- Determinación de la penetración a 25 °C, según la norma UNE-EN 1426

- Punto de reblandecimiento, según la norma UNE-EN 1427
- Recuperación elástica a 25 °C, según la norma UNE-EN 13398
- Viscosidad dinámica a 170 °C, según la norma UNE-EN 13302 (aplicable, exclusivamente, al caso de betunes modificados con caucho de alta viscosidad).

NOTA: En caso de considerarlo necesario, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en su defecto la Dirección de Obra, podrán exigir información adicional sobre la viscosidad de los ligantes que incorporan caucho.

6.12.2 Control a la entrada del mezclador

Se considerará como lote, que se aceptará o rechazará en bloque, a la cantidad de ciento cincuenta toneladas (150 t) o fracción de ligante hidrocarbonado con caucho. El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o la Dirección de la Obra podrán fijar otro tamaño de lote.

De cada lote se tomarán dos (2) muestras de, al menos, cuatro kilogramos (4 kg) (norma UNE-EN 58), en algún punto situado entre la salida del tanque de almacenamiento y la entrada del mezclador. Antes de la toma de muestras se debe permitir la salida de al menos cuatro litros (≈ 4 l) de ligante para asegurar la limpieza de la válvula. Las muestras se verterán en un contenedor limpio y seco que se sellará e identificará a continuación.

Una muestra se conservará hasta el final del periodo de garantía por si fuera preciso realizar ensayos de contraste. Sobre la otra muestra se realizarán los siguientes ensayos:

- Determinación de la penetración a 25 °C, según la norma UNE-EN 1426
- Punto de reblandecimiento, según la norma UNE-EN 1427
- Recuperación elástica a 25 °C, según la norma UNE-EN 13398
- Viscosidad a 170 °C, según la norma UNE-EN 13302 (aplicable, exclusivamente, al caso de betunes modificados con caucho de alta viscosidad -BMCAV)

En la preparación de las muestras para los ensayos correspondientes, debe tenerse la precaución de agitar el ligante con caucho durante el calentamiento antes del vertido en los moldes para asegurar la homogeneidad del producto.

6.12.3 Control adicional

La Dirección de la Obra, en el uso de sus atribuciones, podrá exigir la realización de los ensayos necesarios para la comprobación de las características especificadas en el apartado 6.7.1, con una frecuencia recomendada de una (1) vez cada mes y como mínimo tres (3) veces durante la ejecución de la obra, por cada tipo y composición de ligante utilizado.

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en su defecto la Dirección de Obra podrán incluir entre los ensayos de control adicional el de la viscosidad.

6.13 CONTROL DE CALIDAD POR VÍA SECA

Los componentes y las mezclas bituminosas elaboradas cumplirán con las prescripciones establecidas por el PG-3 para la unidad correspondiente, por la reglamentación específica vigente de la Dirección General de Carreteras sobre mezclas que incorporen caucho de NFVU y por estas Instrucciones.

Aunque las mezclas dispongan de marcado CE, además de la comprobación documental, se tomarán muestras a la descarga del mezclador de la mezcla fabricada para el tramo de prueba, y con ellas se efectuarán los ensayos necesarios para verificar las prestaciones declaradas y las exigidas por el PG-3. Adicionalmente se realizarán también sobre esas muestras los ensayos siguientes:

- Módulo dinámico a veinte grados Celsius (20 °C) (Anexo C de la norma UNE-EN 12697-26)
- Resistencia a la fatiga con una frecuencia de treinta hercios (30 Hz) y a una temperatura de veinte grados Celsius (20 °C) (Anexo D de la norma UNE-EN 12697-24)
- Para mezclas PA y BBTM B, pérdida de partículas a veinticinco grados Celsius (25 °C) (norma UNE-EN 12697-17) y pérdida de cohesión por la acción del agua sobre las mezclas bituminosas (NLT-362/92)
- Ensayo Fénix (NLT-383/20), ensayo UGR-FACT u otros de los que se disponga suficiente experiencia utilizados en el estudio de la mezcla y obtención de la fórmula de trabajo

Asimismo, el fabricante de la mezcla, de acuerdo con el suministrador del polvo de caucho (natural, aditivado o pretratado) que se emplee, indicará el procedimiento para la preparación de la mejor aproximación viable al ligante resultante de la combinación del betún utilizado con el polvo de caucho añadido en seco, que, aunque no vaya a ser idéntico al que se obtenga en el proceso de fabricación, dará una idea de su comportamiento. Sobre el ligante resultante se extraerán las cantidades necesarias para la realización de los ensayos de caracterización correspondientes (incluido el ensayo de viscosidad dinámica según UNE-EN 13302).

6.14 MEDICIÓN Y ABONO

El polvo de caucho se abonará incluido en el precio de la unidad de mezcla bituminosa correspondiente.

7 RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA EJECUCIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS

Hay que tener siempre presente que la adecuada ejecución de los firmes de carreteras es una de las estrategias más sencillas y eficaces para aumentar su vida de servicio y contribuir a una economía circular, disminuyendo la cantidad de residuos generados y alargando en el tiempo las actuaciones de conservación ordinaria y de rehabilitación de las carreteras.

Se considera, consecuentemente, muy recomendable seguir además ciertas prácticas constructivas durante la ejecución de las mezclas bituminosas que ayudan a mejorar la calidad de dichas unidades, y por lo tanto a alargar su vida útil:

- Garantizar la adherencia entre capas de mezcla bituminosa
- Incrementar el porcentaje mínimo de betún de las mezclas bituminosas en un 0,2 %
- Evitar el empleo de mezclas tipo G en capas de base

Asimismo, aunque no se haga referencia en estas Instrucciones a la Norma 6.1-IC de secciones de firme, se deberá tener en cuenta lo indicado en el apartado 6 de dicha Norma.

7.1 ADHERENCIA ENTRE CAPAS DE MEZCLA BITUMINOSA

La correcta ejecución del riego de adherencia, de acuerdo con el artículo 531 del PG-3, hace posible el trabajo conjunto de las distintas capas de mezcla bituminosa (base, intermedia y rodadura), aumentando exponencialmente el número de sollicitaciones de carga que puede soportar el firme antes de que se produzca su fallo por fatiga.

Esto requiere además que una vez que se haya producido su rotura de la emulsión bituminosa, el riego mantenga su integridad hasta que se extienda la nueva capa de mezcla. Para garantizarlo, es muy recomendable el empleo de emulsiones bituminosas termoadherentes (C60B3 TER y C60BP3 TER).

Por el mismo motivo, es importante llevar el adecuado control de calidad del riego de adherencia, de acuerdo con los epígrafes 214.6 y 531.8 del PG-3.

Especial cuidado en la ejecución del riego de adherencia requieren las superficies fresadas (habituales en actuaciones de rehabilitación). Estas superficies presentan irregularidades que pueden llegar a provocar un desigual extendido y colocación del riego de adherencia. En este caso, por una parte, hay que asegurar una correcta limpieza del polvo y detritus depositados en el fondo de los surcos, para lo cual la actuación de las barredoras suele ser insuficiente, debiendo preverse métodos de limpieza con aspiración o soplado. Por otra, se debe prestar especial atención a conseguir que se apliquen las dotaciones mínimas prescritas en el PG-3 (0,25 kg/m² de ligante residual para mezclas tipo AC; 0,35 kg/m² para las de tipo BBTM A –o SMA–; y 0,40 kg/m² para las de tipo PA o BBTM B). Incluso sería recomendable incrementar estas dotaciones de ligante en el caso de las mezclas tipo AC, en las que se debería alcanzar un mínimo 0,35 kg/m² de ligante residual. Sin embargo, cuando se emplean fresadoras con tambores con poca densidad de picas, los valles pueden quedar muy marcados y la emulsión acumularse en los mismos, dificultando el proceso de rotura de la misma; en estos casos, se debería emplear una menor dotación de ligante (del orden de un 15 % menos que la recomendada).

En determinados casos, las emulsiones termoadherentes podrían no llegar a garantizar la completa integridad del riego, o este tipo de emulsiones pueden no estar indicado (como en el caso de las mezclas

AUTL). En estos casos, se debería recurrir a la aplicación de un tratamiento de protección, como puede ser la lechada de cal.

La lechada de cal para protección de riegos de adherencia consiste en una solución muy diluida de hidróxido cálcico en agua. Ésta deberá seguir las indicaciones establecidas en la Nota Técnica NT 01/2020 de la Dirección General de Carreteras.

Las circunstancias que podrían hacer recomendable su empleo son las siguientes:

- Aglomerado con tiempo cálido
- Aglomerados de tramos de gran longitud (que obligan a largos recorridos de los vehículos de transporte)
- Uso de emulsiones modificadas con polímeros o emulsiones de betunes modificadas con polímeros
- Soportes irregulares como las superficies fresadas
- Uso de elevadas dotaciones de ligante residual (> 300 g/m²)
- Extendido de capas bituminosas ultradelgadas

7.2 INCREMENTO DEL PORCENTAJE DE BETÚN

La práctica observada, en la realidad, en la fabricación de mezclas bituminosas está ligada en general a la colocación del mínimo contenido de betún estricto permitido por la normativa. Esta circunstancia afecta a la durabilidad de las mezclas.

Por otro lado, y según el Manual de empleo de caucho de NFU en mezclas bituminosas del Cedex, la experiencia existente ha puesto de manifiesto que los contenidos óptimos de betún en las mezclas que incorporan caucho son generalmente superiores (del orden del 0,25 - 0,35 %) a los obtenidos para mezclas equivalentes fabricadas con betunes convencionales. A pesar de ello, la elevada viscosidad de estos ligantes con caucho no perjudicaría la resistencia a las deformaciones plásticas, ni se producirían escurrimientos en mezclas drenantes; y por otro lado se mejoraría la resistencia a la fatiga. En todo caso, siempre debe establecerse el contenido óptimo del ligante mediante los correspondientes ensayos.

En resumen, se plantea en este apartado la generalización del incremento del porcentaje mínimo de betún exigido a las mezclas bituminosas aunque no incorporen NFVU, en este caso en 0,2 puntos porcentuales.

De esta manera, las dotaciones mínimas de ligante considerados en las tablas 542.10 del artículo 542 y 543.9 del artículo 543 del PG-3 quedarían de la siguiente manera:

TABLA 542.10 MODIFICADA – DOTACIÓN MÍNIMA (*) DE LIGANTE HIDROCARBONADO

TIPO DE CAPA	TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA DE LIGANTE (%)
RODADURA	densa y semidensa	4,70
INTERMEDIA	densa y semidensa	4,20
	alto módulo	4,70
BASE	semidensa y gruesa	4,20
	alto módulo	4,95

TABLA 543.9 MODIFICADA - DOTACIÓN MÍNIMA (*) DE LIGANTE HIDROCARBONADO

TIPO DE MEZCLA	DOTACIÓN MÍNIMA DE LIGANTE (%)
PA 11	4,50
PA 16	
BBTM 8B	4,95
BBTM 11B	
BBTM 8A	5,40
BBTM 11A	

(*) Estos valores serán los que se deberán considerar en los epígrafes 542.9.3.1 y 543.9.3.1 del PG-3.

Este incremento propuesto no afectará a las mezclas bituminosas tipo SMA, dado su ya, de por sí, elevado contenido en betún y falta de experiencia local al respecto.

7.3 EVITAR EL EMPLEO DE MEZCLAS TIPO G EN CAPAS DE BASE

Tanto la Norma 6.1-IC como el artículo 542 del PG-3 vigentes contemplan para las capas de base de mezcla bituminosa el empleo de las mezclas de tipo semidenso (S) o de las de tipo grueso (G). Las mezclas tipo S, aunque pueden suponer un pequeño sobrecoste, presentan en general un mejor comportamiento a fatiga. Siendo la resistencia a fatiga un requisito destacado en estas capas para prevenir su fisuración, y, en consecuencia, alargar la vida del firme. Por lo que, en estas Instrucciones se recomienda evitar el empleo de las mezclas tipo G y se aboga, por tanto, por elegir las de tipo S para el diseño de las capas de base de las mezclas bituminosas.

En la actualidad, las mezclas tipo G en capas de base se corresponden con las mezclas bituminosas tipo AC22 base G (antiguo G20) y AC32 base G (antiguo G25).

ANEJO. NORMAS REFERIDAS EN ESTA INSTRUCCIÓN

A lo largo de las Instrucciones se establecen una serie de comprobaciones de la conformidad de los productos y los procesos incluidos en su ámbito que, en muchos casos, están referidos a normativa NLT, UNE, UNE-EN y UNE-EN ISO. Debe entenderse que las normas mencionadas en esta Instrucción se refieren siempre a las versiones que se relacionan a continuación, salvo en el caso de normas UNE-EN que sean transposición de normas EN cuya referencia haya sido publicada en el Diario Oficial de la Unión Europea, en el marco de aplicación del Reglamento Europeo de Productos de la Construcción UE 305/2011, en cuyo caso la cita se deberá relacionar con la última Comunicación de la Comisión que incluya dicha referencia.

Las normas aquí recogidas podrán ser sustituidas por otras de las utilizadas en cualquiera de los otros estados miembros de la Unión Europea, o que sean parte del Acuerdo sobre el Espacio Económico Europeo, y en aquellos estados que tengan un acuerdo de asociación aduanera con la Unión Europea, siempre que se demuestre que poseen especificaciones técnicas idénticas.

A continuación se detallan todas las normas mencionadas en la presente Instrucción:

- UNE-EN 13108-8:2018 Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 8: Asfalto recuperado.
- UNE-EN 13108-9:2018 Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 9: Mezclas bituminosas ultrafinas (AUTL).
- UNE-EN 14243-2:2019 Materiales producidos a partir de neumáticos al final de su vida útil. Parte 2: Granulado y polvo. Métodos para la determinación de sus dimensiones e impurezas, incluyendo contenido de acero libre y textil libre.
- UNE-CEN/TS 17188:2019 Materiales obtenidos a partir de neumáticos fuera de uso (NFU). Método de muestreo para granulados y polvos almacenados en big-bags.
- UNE-EN 1426:2015 Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la penetración con aguja.
- UNE-EN 1427:2015 Betunes y ligantes bituminosos. Determinación del punto de reblandecimiento. Método del anillo y bola.
- UNE-EN 13589:2008 Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de las propiedades de tracción de betunes modificados por el método de fuerza-ductilidad.
- UNE-EN 13398:2018 Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la recuperación elástica de los betunes modificados.
- UNE-EN 12607-1:2015 Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la resistencia al endurecimiento por efecto calor y del aire. Parte 1: Método RTFOT (película fina y rotatoria).
- UNE-EN ISO 2592:2018 Petróleo y productos relacionados. Determinación de los puntos de inflamación y de combustión. Método Cleveland en vaso abierto. (ISO 2592:2017).
- UNE-EN 13399:2018 Betunes y ligantes bituminosos. Determinación de la estabilidad al almacenamiento de los betunes modificados.
- UNE-EN 12697-12:2019 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 12: Determinación de la sensibilidad al agua de probetas de mezcla bituminosa.
- UNE-EN 12697-17 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 17: Pérdida de partículas de probetas de mezclas bituminosas drenantes.
- UNE-EN 12697-24 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 24: Resistencia a la fatiga.
- UNE-EN 12697-26 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 26: Rigidez.
- UNE-EN 12697-30:2019 Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo. Parte 30: Preparación de probetas mediante compactador de impactos.

- UNE-EN 13043:2003 Áridos para mezclas bituminosas y tratamientos superficiales de carreteras, aeropuertos y otras zonas pavimentadas.
- NLT-362/92 Efecto del agua sobre la cohesión de mezclas bituminosas de granulometría abierta, mediante ensayo cántabro de pérdida por desgaste
- NLT 383/20 Evaluación de la resistencia, tenacidad y energía de rotura de las mezclas bituminosas mediante el ensayo Fénix: evaluación de la resistencia, tenacidad y energía de rotura de las mezclas bituminosas mediante el ensayo Fénix.