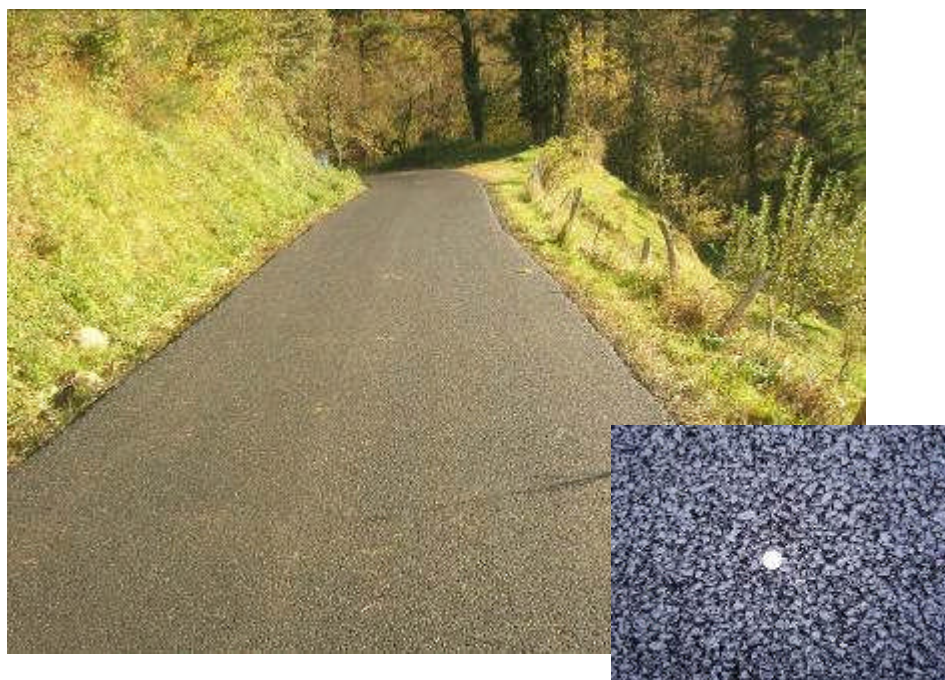




MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN BITUMINOSA

**ASOCIACIÓN TÉCNICA DE EMULSIONES BITUMINOSAS
(ATEB)**



ATEB



ALEB



1ª Edición abril 2014.

Diseño y realización: Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas (ATEB)

Código ISBN: 978-84-616-9228-6

Reservados todos los derechos.

Prohibida la reproducción total o parcial sin la debida autorización.

Impreso en España.

AUTORES

Jacinto Luis García Santiago *Coordinador GT 3 ATEB: Mezclas Templadas*
(Sacyr Construcción)

Ana Izaga Martínez (Cepsa – Proas)

Antonio Álvarez Gumiel (Fabremasa)

Baltasar Rubio Guzmán (CEDEX)

Emilio Moreno Martínez (Repsol)

Francisco Barceló Martínez (Repsol)

Francisco Guisado Mateo (Repsol)

Francisco José Lucas Ochoa (Repsol)

José Luis Pradas Díaz (Repsol)

Juan Eugenio Llamas (General de Estudios S.L.)

Luis Lozano Salvatella (KAO Corporation, S.A.)

Lucía Miranda Pérez (ATEB)

Manuel Salas Casanova (Cemosa)

María del Mar Colás Victoria (Cepsa – Proas)

Marisol Barral Vázquez (Grupo Campezo)

Nuria Querol Sola (Grupo Sorigué)

Óscar Herrero Fernández (Campi y Jové S.A.)

Ramón Tomás Raz (Presidente de Honor ATEB y Director del CIESM)

COMITÉ TÉCNICO

María del Mar Colas Victoria *Directora Comité Técnico ATEB* (Cepsa-Proas)

Lucía Miranda Pérez *Secretariado Comité Técnico ATEB* (ATEB)

Daniel Andaluz García (ATEB)

Jacinto Luis García Santiago (Sacyr Construcción)

Santiago Gil Redondo (Ditecpesa)

Francisco José Lucas Ochoa (Repsol)

Nuria Uguet Canal (Probisa)

ÍNDICE

- 1. INTRODUCCIÓN A LAS MEZCLAS TEMPLADAS**
- 2. ESTADO DEL ARTE DE LAS TÉCNICAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN BITUMINOSA**
- 3. DEFINICIÓN Y TIPOS DE MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN**
- 4. MATERIALES CONSTITUYENTES**
- 5. DISEÑO DE MEZCLAS TEMPLADAS**
- 6. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA**
- 7. CONTROL DE CALIDAD**
- 8. CAMPOS DE APLICACIÓN**
- 9. CONCLUSIONES**
- 10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**
- 11. ANEXO I. TABLA I. RELACIÓN DE EJEMPLOS DE OBRAS DE MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN DE GRANULOMETRÍA ABIERTA REALIZADAS EN ESPAÑA.**
- 12. ANEXO II. TABLA II. RELACIÓN DE EJEMPLOS DE OBRAS DE MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN DE GRANULOMETRÍA CERRADA REALIZADAS EN ESPAÑA Y PORTUGAL.**
- 13. ANEXO III. PROTOCOLO DE TOMA DE MUESTRAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN (MBTE)**

MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN BITUMINOSA

1. INTRODUCCIÓN A LAS MEZCLAS TEMPLADAS.

Las mezclas bituminosas se pueden clasificar, atendiendo al modo de fabricación y puesta en obra, en mezclas en caliente y en frío. En las primeras se emplean básicamente betunes asfálticos, que necesitan calentarse a temperaturas de unos 150° C para reducir su viscosidad y conseguir la envuelta con los áridos calientes y una adecuada puesta en obra, mientras que en las segundas, se emplean ligantes de baja viscosidad como las emulsiones bituminosas, que permiten fabricar y aplicar la mezcla bituminosa a temperatura ambiente.

Las mezclas bituminosas en caliente son actualmente las más utilizadas en la totalidad de los países europeos.

Las mezclas bituminosas en frío no requieren el calentamiento de los áridos ni del ligante bituminoso, por lo que presentan una óptima huella ambiental. Los ligantes generalmente empleados en la actualidad en estas técnicas en frío son las emulsiones bituminosas.

No obstante, las tecnologías en frío se han venido utilizando prioritariamente en vías de baja intensidad de tráfico, porque necesitan un periodo de curado para eliminar el agua procedente de la emulsión y el de preenvuelta (incorporada para facilitar el mezclado), o bien los fluidificantes en el caso de las mezclas abiertas en frío. A medida que se eliminan estos fluidos

las propiedades mecánicas van mejorando progresivamente.

Con objeto de aprovechar las cualidades de las mezclas en caliente y en frío, y buscando en todo momento las mejores prestaciones mecánicas, se han desarrollado dos grupos de tecnologías que permiten fabricar mezclas bituminosas a temperaturas intermedias entre las calientes y las frías.

Estos grupos son los siguientes:

- Las mezclas semicalientes: (denominadas en inglés como WMA, “warm mix asphalt” y en francés como “enrobés tièdes”) permiten reducir las temperaturas de mezclado, extensión y compactación entre 20° C y 40° C respecto a sus homólogas en caliente.

Estas mezclas se preparan bien incorporando aditivos al ligante o la mezcla, o por modificación de los procesos de fabricación.

Los aditivos generalmente empleados son ceras o resinas que disminuyen la viscosidad del ligante, o tensoactivos que interaccionan en la interfase árido/ betún mejorando la trabajabilidad de la mezcla. También se utilizan mezclas de ambos productos. Otro tipo de aditivos consiste en el aporte de agua como pueden ser sales minerales hidratadas como las zeolitas, compuestas por silicatos alumínicos hidratados de metales alcalinos y alcalinotérreos.

Respecto a modificación de los procesos de fabricación, cabe destacar la espumación directa, incorporando agua al ligante antes de su entrada al mezclador.

Todos estos sistemas incluidos en el grupo de las conocidas como mezclas semicalientes se fabrican calentando los áridos por encima de los 100°C, lo que supone aportar la energía necesaria para evaporar la humedad de los áridos

- Las mezclas templadas: (denominadas en inglés como HWMA “half- warm mix asphalt” y en francés como “enrobés semi-tièdes”) permiten reducir drásticamente la temperatura de fabricación y puesta en obra por debajo de 100°C, ya que se fabrican, extienden y compactan generalmente entre 70 y 95°C. Estas mezclas están compuestas por áridos graduados calentados a temperaturas inferiores a 100 °C y una emulsión adecuada para recubrir totalmente dichos áridos, si bien también se puede emplear métodos de espumación de betún por vía directa o indirecta.

Las mezclas templadas presentan importantes ventajas medio ambientales y constituirán en un futuro no muy lejano una alternativa eficaz para la fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas. Por tanto son a ellas y en particular a las fabricadas con emulsión a las que se refiere en esta monografía.

Aunque hace ya algunas décadas se recurrió a estas tecnologías templadas para corregir algunos problemas de envuelta por áridos sucios o de mala calidad, no es hasta principios del siglo XXI cuando, probablemente impulsadas por la limitación de emisiones que exige el protocolo de Kyoto, se desarrollan estas técnicas y se realizan los primeros tramos experimentales en España.

Las primeras aplicaciones de las mezclas templadas se realizaron con mezclas drenantes, si bien también se han realizado experiencias con mezclas discontinuas y con reciclados templados en los que es posible reciclar mezcla bituminosa hasta tasas del 100% en planta, lo que sin duda fue un avance importante para el aprovechamiento total de las mezclas bituminosas procedentes de firmes deteriorados.

Estas mezclas templadas han sido proyectadas, caracterizadas, fabricadas y puestas en obra adaptando los métodos y maquinaria existentes a las características específicas de este tipo de mezclas, ya que no existe ninguna normativa tanto a nivel nacional como internacional que recoja sus particularidades.



Foto 1. Mezcla templada

Esta monografía, pretende recoger el estado del arte en cuanto a los conocimientos, experiencias e investigaciones que se han realizado en nuestro país, con el objetivo de ayudar a todos los técnicos involucrados en obras de carreteras, ya sea en el proyecto, la construcción, la conservación, la asistencia técnica o el control de calidad, para conseguir el máximo provecho de estas nuevas técnicas.

La monografía por tanto, trata de describir la tecnología de mezclas

templadas con emulsión, basándose en las experiencias realizadas hasta la fecha, recogiendo los tipos de mezclas templadas, las características de los materiales básicos constituyentes, los procedimientos de dosificación, las plantas de fabricación y equipos de puesta en obra, los procedimientos de control de calidad, y los campos de aplicación.

2. ESTADO DEL ARTE DE LAS TÉCNICAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN BITUMINOSA

2.1. Estado de la técnica

El objetivo general del desarrollo de las mezclas templadas con emulsión ha sido generar los conocimientos científicos y técnicos, procedimientos y herramientas necesarios para la fabricación de mezclas bituminosas con emulsión a temperaturas inferiores a 100 °C. Se pretende así la reducción de emisiones durante la fabricación de estas mezclas, una mejor eficacia energética y unas mejores condiciones de trabajo para los operarios. Además de la reducción de la temperatura, otro de los objetivos fundamentales es reducir el periodo de maduración de la mezcla para conseguir aperturas inmediatas al tráfico tras su aplicación.

Existen distintos procedimientos para reducir la temperatura por debajo de los 100 °C, entre ellos destacan el procedimiento “estándar”, el EVOTHERM® y ECOMAC®. El procedimiento “estándar” ha sido el más utilizado en España y las experiencias con los demás son limitadas, aunque existe información generada sobre el procedimiento ECOMAC® y EVOTERM® en otros

países como Francia, EEUU y Canadá.

A continuación se recoge una síntesis de los distintos procedimientos de mezclas templadas:

Procedimiento “estándar”:

Las primeras experiencias con este tipo de procedimiento consistieron en el calentamiento de los áridos en torno a los 90-95°C mezclándolos posteriormente con una emulsión a una temperatura entre los 60-65°C. Con este sistema se pueden fabricar mezclas del tipo AF, PA y BBTM, en las que la proporción de arena es inferior al 25%. También ha dado buenos resultados, para reciclados de hasta el 100% de mezcla bituminosa.

Un ejemplo de esta técnica ha sido su aplicación para las reparaciones de la autopista del Atlántico tramo La Coruña - Santiago en donde se utilizaron husos granulométricos tipo PA-10 con un porcentaje de huecos del 25 % calentando los áridos a 75°C y la emulsión a 45 °C. Otro ejemplo corresponde a la aplicación de una mezcla tipo AF12 realizado por la Diputación de Zaragoza en el año 2004 utilizando una emulsión tipo ECM. (actualmente C67BF4 según UNE EN 13808:2005)

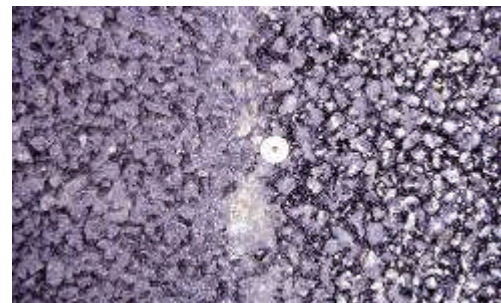


Foto 2. A-9. Comparación entre drenante antigua y nueva

Poco a poco y gracias a los buenos resultados que han ido dando este

tipo de mezclas se han ido desarrollando por todo el territorio español aumentando su empleo. En el anexo I se incluye un listado de obras en donde se describe el tipo de emulsión empleada

Posteriormente se ha continuado el desarrollo y empleo de mezclas cerradas (tipo AC actuales) con emulsión tanto con áridos vírgenes como aprovechando el material proveniente de fresados. Aunque, alguna de las primeras experiencias en España, realizadas en la Comunidad Autónoma de Murcia, se llevaron a cabo calentando los áridos en torno a los 130°C, las siguientes ya se realizaron calentando los áridos en torno a los 100°C y la emulsión por encima de los 60°C.

En el Anexo II se enumeran una serie de obras donde se han realizado mezclas cerradas utilizando emulsiones fabricadas con betunes más duros, 60/70 para bases e intermedias y 40/50 para rodadura en España y Portugal.

Procedimiento EVOTHERM®:

Este procedimiento ha sido desarrollado en EE.UU. por MeadWestvaco y actualmente se está introduciendo también en Europa. El sistema es similar al anterior con la particularidad de que la emulsión lleva un “paquete” de aditivos tipo tensoactivos para facilitar la envuelta y aumentar la trabajabilidad. Las emulsiones son de alta concentración aproximándose al 70%. Otros fabricantes de emulgentes están desarrollando productos alternativos. También se está empleando el mismo tipo de aditivos para mezclas semicalientes inyectando el aditivo directamente en el betún previamente a su entrada al mezclador.

El proceso de aplicación de EVOTHERM® con emulsión se realiza en cuatro etapas:

- 1) Se calientan los áridos a unos 130°C y se mezcla con la emulsión especial de EVOTHERM a una temperatura de unos 80°C.
- 2) El choque térmico de los áridos y la emulsión provoca una espuma con el vapor de agua de la emulsión recubriendo los áridos.
- 3) Éste choque térmico produce que la mezcla reduzca su temperatura en torno a los 90°C, quedando un agua residual menor del 0,5%.
- 4) Una vez que se estabiliza la temperatura, en torno a los 70°C, el agua residual y los tensoactivos que tiene la emulsión, controlan la trabajabilidad de la mezcla y facilitan su puesta en obra.

La mayoría de estas aplicaciones se han realizado en EEUU y Canadá.

Procedimiento ECOMAC®:

El procedimiento ECOMAC® es una patente de SCREG que se desarrolló en el año 2004. Está indicado para aplicaciones de espesor comprendidos entre 3 y 5 cm, se puede utilizar en mezclas cerradas y abiertas. En España no se conoce el empleo de esta técnica.

Consiste en el calentamiento hasta 50-60° de una mezcla fabricada previamente en frío.

Las aplicaciones se han realizado principalmente en Francia, en vías de baja intensidad de tráfico

2.2. Normativa

Hasta la fecha de edición de esta monografía no se conoce normativa que contemple el empleo de las técnicas descritas, si bien la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía (AOPJA), en el año 2012 ha publicado el documento “Recomendaciones para la redacción de: Pliegos de especificaciones técnicas para el uso de mezclas bituminosas a bajas temperaturas”.

Este documento constituye la primera referencia oficial sobre este tipo de mezclas, en el que se describe las características de las mezclas templadas de granulometría cerrada.

En un futuro dicha administración pretende publicar otros documentos complementarios de carácter similar sobre mezclas templadas de granulometría abierta y recicladas.

3. DEFINICIÓN Y TIPOS DE MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN

3.1. Definición.

Se define como Mezcla Bituminosa Templada con emulsión (MBTE*) a la combinación homogénea de áridos (en su caso, incluido el polvo mineral y/o el material procedente del fresado o demolición de mezclas bituminosas), emulsión bituminosa como ligante y eventualmente aditivos, que es fabricada a una temperatura inferior a 100 °C.

* En adelante, nos referiremos a este tipo de mezclas templadas exclusivamente

3.2. Tipos

3.2.1. Mezclas templadas cerradas

Se define como Mezcla Bituminosa Templada cerrada la combinación homogénea de, áridos (incluido el polvo mineral) con granulometría continua, emulsión bituminosa como ligante y eventualmente aditivos, que es fabricada a una temperatura inferior a 100 °C. Las granulometrías correspondientes a este tipo de mezclas son equivalentes a las del tipo Hormigón Bituminoso AC (Norma UNE-EN 13108-1). Para su fabricación podrá emplearse material procedente de firmes de mezcla bituminosa del (MRMB) en una proporción no mayor del 15% del total de la mezcla.

En adelante, llamaremos MRMB (material recuperado de mezclas bituminosas, RAP en otras publicaciones que recogen la denominación sajona) al material resultante del fresado ó demolición de una ó más capas de mezcla bituminosa de un firme.

3.2.2. Mezclas templadas abiertas

Se define como mezclas templadas abiertas a la combinación homogénea de áridos (que incluyen una baja proporción de finos ó con discontinuidad granulométrica en algunos tamices), polvo mineral emulsión bituminosa como ligante y, eventualmente aditivos, que es fabricada a una temperatura inferior a 100 °C. Para su fabricación podría emplearse MRMB, a criterio de la dirección de obra, y en cualquier caso, siempre con tasa inferior al 15%.

3.2.2.1. Mezclas templadas drenantes

Las mezclas bituminosas templadas drenantes son aquellas que por su baja proporción de árido fino, presentan un contenido muy alto de huecos interconectados que le proporcionan características drenantes. Las granulometrías correspondientes a este tipo de mezclas son equivalentes a las del tipo PA (Norma UNE-EN 13108-7).

3.2.2.2. Mezcla templada discontinua

Las mezclas bituminosas templadas discontinuas son aquellas cuyos áridos presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada en los tamaños inferiores del árido grueso. Las granulometrías correspondientes a este tipo de mezclas son las del tipo BBTM A y B (Norma UNE-EN 13108-2)

3.2.3. Mezcla templada reciclada

Se define como mezcla templada reciclada la combinación homogénea de material resultante del fresado ó demolición de una ó más capas de mezcla bituminosa de un firme, en su caso, árido virgen, emulsión bituminosa como ligante, y eventualmente aditivos, que es fabricada a una temperatura inferior a 100 °C.

La tipología de estas mezclas obedece a criterios de diseño de mezcla (energía de compactación de probetas) y de fabricación en planta (calentamiento del material), muy relacionados con la proporción de MRMB.

3.2.3.1. Mezcla templada reciclada de tasa total

Es la mezcla compuesta por una cantidad de MRMB igual o superior al 80 % y árido virgen, a efectos de una eventual corrección granulométrica o de otra característica. Para el tratamiento y fabricación de estas mezclas, es necesario el empleo de sistemas de calentamiento que eviten el contacto directo del MRMB con la llama del quemador en el tambor secador, evitando así una mayor degradación del ligante envejecido del MRMB

3.2.3.2. Mezcla templada reciclada de alta tasa

Es la mezcla compuesta por una cantidad de MRMB superior al 50 % e inferior al 80% y árido virgen. Para el tratamiento y fabricación de estas mezclas es recomendable el empleo de sistemas de calentamiento específicos como en el caso anterior.

3.2.3.3. Mezcla templada reciclada de tasa media

Es la mezcla compuesta generalmente por una cantidad superior al 15% de MRMB e inferior a 50% de MRMB. Para la fabricación de estas mezclas es necesario fijar una temperatura para los áridos vírgenes adecuada que asegure la transferencia de calor árido-material fresado.

4. MATERIALES CONSTITUYENTES

4.1. Áridos

Los áridos son parte fundamental en las características mecánicas de la mezcla y, específicamente en las

capas de rodadura, juegan un papel importante en su funcionalidad. Es por ello que estos materiales para ser utilizados en su combinación con las emulsiones, deben poseer una serie de características que permitan asegurar la adhesividad entre el árido y la emulsión.

Los áridos, trabajan con una componente de rozamiento interno para soportar las cargas a compresión. Por lo tanto, es importante exigirles una dureza adecuada para evitar degradaciones por las sollicitaciones del tráfico.

Dado que la adhesividad árido-ligante, está condicionada por la naturaleza de ambos materiales, es importante determinar tanto sus características físicas como químicas.

Las características del árido a considerar son:

- Dureza: parámetro determinado a partir del ensayo de Los Ángeles que muestra el desgaste que puede experimentar un árido y vendrá determinado por la procedencia del árido grueso, tipo de roca, textura, inalterabilidad, etc.
- CPA: caracteriza la resistencia al pulimento del árido.
- Forma y angulosidad de las partículas: estos parámetros aseguran el buen rozamiento interno de los áridos en la mezcla y su estabilidad.
- Granulometría: La elección de una granulometría u otra de la mezcla, se hará en función del espesor de la capa y de las prestaciones exigidas a la mezcla. Dicha granulometría condicionará la curva granulométrica de los áridos a emplear, así como el porcentaje

de cada fracción en la composición de la mezcla.

- Limpieza: es una característica importante para conseguir una buena adhesividad con la emulsión.
- Equivalente de arena: parámetro determinante para comprobar la calidad de las arenas empleadas en la fabricación de la mezcla. Este parámetro junto con el azul de metileno aportará la información necesaria para conseguir que se realice una envuelta completa de los áridos con la emulsión sin que se acelere el proceso de rotura al entrar en contacto ambos materiales.
- Composición mineralógica: la naturaleza química de los áridos a emplear condicionará el tipo de emulsión a emplear.

Las exigencias en estas características, serían las mismas que las demandadas por el PG-3 para los áridos en la fabricación de las mezclas en caliente.

Tabla 1: Husos granulométricos: cernido acumulado (% en masa) de las mezclas templadas con emulsión.

Tipo de mezcla	Abertura de los tamices UNE EN 933-2 (mm)									
	45	32	22	16	8	4	2	0,5	0,25	0,063
Cerradas										
AC16D	-	-	100	90-100	64-79	44-59	31-46	16-27	11-20	4-8
AC22D	-	100	90-100	73-88	55-70		31-46	16-27	11-20	4-8
AC16S	-	-	100	90-100	60-75	35-50	24-38	11-21	7-15	3-7
AC22S		100	90-100	70-88	50-66		24-38	11-21	7-15	3-7
AC32S	100	90-100		68-82	48-63		24-38	11-21	7-15	3-7
AC22G	-	100	90-100	65-86	40-60		18-32	7-18	4-12	2-5
AC32G	100	90-100		58-76	35-54		18-32	7-18	4-12	2-5
Cerradas Discontinuas										
BBTM 8A*	-	-	-	100	90-100	42-62	17-27	15-25	8-16	4-16
BBTM 11A*	-	-	-	90-100	62-82		28-38	25-35	12-22	7-9
Abiertas Discontinuas										
BBTM 8B*	-	-	-	100	90-100	42-62	17-27	15-25	8-16	4-6
BBTM 11B*	-	-	100	90-100	60-80		17-27	15-25	8-16	4-6
PA 16	-	100	90-100		40-60		13-27	10-17	5-12	3-6
PA11	-	-	-	90-100	50-70		13-27	10-17	5-12	3-6
Abiertas										
A8	-	-	-	-	-	100	50-75	10-28	0-5	0-2
A12	-	-	-	-	10	60-85	30-55	6-24	0-5	0-2
A20	-	-	-	100	70-95	45-70	22-46	3-20	0-5	0-2
A25	-	-	100	81-93	54-78	30-58	16-42	3-20	0-5	0-2

* La fracción de árido que pasa por el tamiz 4 mm de la UNE EN 933-2 y es retenida por el tamiz 2 mm de la UNE EN 933-2, será inferior al ocho por ciento (8%).

4.2. Material recuperado de mezcla bituminosa (MRMB)

En las mezclas bituminosas se puede reutilizar o reciclar material procedente del fresado o demolición de capas de mezcla bituminosa (MRMB), dando lugar a mezclas templadas recicladas.

El MRMB transportado a la planta de fabricación de mezcla bituminosa, podrá, en función de su origen y granulometría, ser tamizado y, en su caso, triturado para conseguir un tamaño máximo adecuado al tipo de mezcla en que se pretende reutilizar o reciclar. El tamaño máximo de este material, dependerá de los medios empleados para su obtención, si bien, para su utilización en mezclas templadas recicladas, no deberá exceder los 32 mm.

Es recomendable clasificarlo y acopiarlo en diferentes tamaños para conseguir una mejor dosificación, siendo este fraccionamiento imprescindible con tasas altas y totales de reciclado. En esta clasificación del MRMB, la fracción fina debería tener una granulometría tal que pase en su totalidad por el tamiz de 5,6 mm.

En las operaciones de clasificación final de MRMB, se debería evitar una trituración ulterior de los áridos que generen más finos, para lo cual es recomendable emplear molinos específicos.

Las características que se deben determinar sobre este material son las siguientes:

- **Granulometría:** condicionará el porcentaje y tipo de las fracciones a utilizar en la composición de la mezcla. En tasas bajas puede ser suficiente con el análisis de la granulometría en negro, aunque

con tasas superiores al 15% habría que tener en cuenta también la granulometría en blanco del MRMB, es decir, una vez extraído el ligante y su homogeneidad.

- **Contenido y características del ligante recuperado del MRMB:** Se determinará el contenido y consistencia del ligante presente en el MRMB, como criterio fundamental de selección de la emulsión bituminosa a emplear (porcentaje de emulsión en mezcla reciclada templada y tipo).
- **Humedad.**

4.3. Ligantes hidrocarbonados. Emulsiones bituminosas

Las especificaciones de las emulsiones catiónicas, para su empleo en construcción y mantenimiento de carreteras, pavimentos de aeropuertos y otras áreas pavimentadas, están reguladas por la norma armonizada UNE-EN 13808.

En el caso de solicitar el empleo de emulsiones bituminosas aniónicas, al no estar recogidas en ninguna norma armonizada, el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en su defecto el Director de las Obras deberá aprobar las características y control de calidad de este material.

Las emulsiones catiónicas a emplear para este tipo de técnicas serán las recogidas en el Anexo Nacional (UNE-EN 13808 1M).

Además de estas emulsiones se podrán utilizar otras con contenidos de ligante residual más alto en función de la tipología de cada mezcla y de las condiciones de fabricación de la misma.

Para elegir el tipo de emulsión más adecuada se debe tener en cuenta la granulometría y la humedad de los áridos. El residuo de penetración de las emulsiones se elegirá dependiendo del tipo de mezcla a fabricar, la climatología de la zona y la categoría de tráfico pesado de la vía, utilizando betunes más duros cuanto más cálida sea la zona y más intenso sea el tráfico.

A continuación se exponen los tipos de emulsiones bituminosas catiónicas recomendadas en el anexo nacional para mezclas bituminosas templadas según el tipo de mezcla

4.3.1. Mezclas bituminosas templadas de granulometría cerrada MBC.

Emulsiones Recomendadas: C65B4 MBC y C65B5 MBC *

Tabla 2: Características prestacionales seleccionadas para la emulsión original

Requisito	C65B4 MBC	C65B5 MBC
Índice de rotura	70-130	120-180
Tiempo de fluencia 4 mm a 40°C	10 – 45 *	10 – 45 *
Adhesividad	≥ 90%	≥ 90%
Contenido de ligante	63-67	63-67
Residuo de tamizado por 0,5 mm	≤ 0,1	≤ 0,1
Tendencia a la sedimentación	≤ 10	≤ 10

* Se podrán emplear emulsiones con Tiempo de fluencia (70-130 s a 40°C con el orificio de 2 mm)

Tabla 3: Características prestacionales seleccionadas para el ligante residual para C65B4 MBC y C65B5 MBC.

Requisito	Clases seleccionada después de evaporación	Clases seleccionadas después de evaporación estabilización envejecimiento
Penetración	≤ 100	DV
Punto de reblandecimiento	≥ 43	DV

4.3.2. Mezclas bituminosas templadas de granulometría abierta MBA

Emulsiones Recomendadas: C67BF4 MBA y C67BPF4 MBA.

Tabla 4: Características prestacionales seleccionadas para la emulsión original:

Requisitos	C67BF4 MBA
Índice de rotura	70 – 130
Tiempo de fluencia 4 mm a 40°C	10 – 45
Adhesividad	≥ 90
Contenido de ligante (por contenido de agua)	65 – 69
Residuo de tamizado por 0,5 mm	≤ 0,1
Tendencia a la sedimentación	≤ 5

Tabla 5: Clases prestacionales seleccionadas para el ligante residual para C67BF4 MBA

Requisito	Clases seleccionada después de evaporación	Clases seleccionadas después de evaporación estabilización envejecimiento
Penetración	>330 *	DV
Punto de reblandecimiento	≤ 35 *	DV

* Se admite Penetración ≤ 330 y Punto de Reblandecimiento ≥ 35 para emulsiones fabricadas con betunes más duros, a emplear en zonas cálidas y/o con tráfico intenso.

Emulsiones Recomendadas:
C67BPF4 MBA.

Tabla 6: Clases prestacionales seleccionadas para la emulsión original

Requisitos	C67BPF4 MBA
Índice de rotura	70 – 130
Tiempo de fluencia 4 mm a 40°C	10 – 45
Adhesividad	≥ 90
Contenido de ligante (por contenido de agua)	65 – 69
Residuo de tamizado por 0,5 mm	≤ 0,1
Tendencia a la sedimentación	≤ 5

Tabla 7: Clases prestacionales seleccionadas para el ligante residual para C67BPF4 MBA

Requisito	Clases seleccionada después de evaporación	Clases seleccionadas después de evaporación estabilización envejecimiento
Penetración	≤ 330 *	DV
Punto de reblandecimiento	≥ 35 *	DV
Cohesión	≥ 0,5	DV
Recuperación elástica	≥ 40	TBR

4.3.3. Mezcla templada reciclada

En este tipo de mezclas, donde se puede emplear diferentes tasas de MRMB, las propiedades del ligante envejecido de este material, condicionarán la elección del tipo de emulsión a emplear. Por ello, si bien se muestran aquellas que recoge el Anexo Nacional UNE-EN 13808/1M, pudieran ser empleadas otros tipos de emulsiones, que lleven asociados

estudios específicos, especialmente en aquellas mezclas con mayores tasas de MRMB.

Emulsiones Recomendadas: C60B7 REC, C60B6 REC.

Tabla 8: Clases prestacionales seleccionadas para la emulsión original

Requisitos	C60B7 REC*	C60B6 REC*
Índice de rotura	≥ 220	170 – 230
Tiempo de fluencia 2 mm a 40°C	10–45**	10–45 **
Adhesividad	≥ 90 %	≥ 90 %
Contenido de ligante	58 – 62	58 – 62
Residuo de tamizado por 0,5 mm	≤ 0,1	≤ 0,1
Tendencia a la sedimentación	≤ 10	≤ 10

* Se elegirá el empleo de una de estas dos emulsiones en función del tipo de material a reciclar y de las condiciones de la ejecución.

** Se podrán emplear emulsiones con Tiempo de fluencia (35-80 s), especialmente en los casos en que se considere necesario.

Tabla 9: Clases prestacionales seleccionadas para el ligante residual para C60B7 REC y C60B6 REC

Requisito	Clases seleccionada después de evaporación	Clases seleccionadas después de evaporación estabilización envejecimiento
Penetración	≤ 150	DV
Punto de reblandecimiento	≥ 43	DV

5. DISEÑO DE MEZCLAS TEMPLADAS.

Uno de los aspectos fundamentales de las mezclas templadas consiste en definir una metodología de diseño para obtener en el laboratorio la fórmula de trabajo que posteriormente pueda ser empleada en la central de fabricación. A continuación se detallan los aspectos relativos a, elección de la emulsión bituminosa, temperaturas recomendadas de empleo y tiempos de mezclado.

Es importante tener en cuenta que a la fecha de elaboración de esta monografía no se dispone de una normativa de ensayo específica para este tipo de materiales, tomándose como referencia la normativa de ensayo actual de mezclas en caliente. Este aspecto y, adicionalmente, la presencia de humedad residual en estas mezclas así como el menor envejecimiento del ligante en su fabricación, implica que los criterios de valoración de los resultados obtenidos en dichos ensayos puedan presentar algunas diferencias respecto a los establecidos en las mezclas en caliente.

El uso de un tipo u otro de emulsión dependerá de la naturaleza de los áridos, del porcentaje de finos que constituyen la composición granulométrica de la mezcla, y de la penetración del ligante residual. Todos estos factores dependerán de la intensidad de tráfico pesado de la carretera, situación de la capa en el pavimento y zona térmica estival.

Se recomiendan siempre temperaturas de fabricación menor o igual a los 100 °C, para ello serán necesarios temperaturas de áridos o, en su caso, de la mezcla de los áridos y MRMB,

en torno a los 100-110 °C y temperatura de emulsión en el entorno de los 60 °C, y no superando nunca los 80 °C. Las temperaturas de compactación siempre deben estar por encima de los 60 °C, recomendándose temperaturas entre 70 – 80 °C. Si no se dispone de experiencias con estas mezclas o similares, se recomienda comenzar las envueltas con áridos a una temperatura de 100 - 110 °C y la emulsión a 65 °C, no superándose las temperaturas de fabricación indicadas anteriormente.

En el caso de que la densidad de los áridos sea diferente de dos gramos y sesenta y cinco centésimas de gramo por centímetro cúbico (2,65 g/cm³), los contenidos mínimos de ligante se deben corregir multiplicando por el factor

$$\alpha = 2.65 / P_d$$

donde P_d es la densidad de la partículas del árido.

Con la curva granulométrica escogida de áridos combinados en seco, se procederá a realizar las envueltas con la/s emulsión/es correspondiente/s a ensayar, a las temperaturas típicas de las mezclas templadas indicadas anteriormente. Para comprobar la idoneidad de la/s emulsión/es elegida/s en cuanto a envueltas se seguirá lo expuesto en la norma de ensayo NLT-145, pero empleando la cantidad de emulsión que proporcione un porcentaje de ligante residual igual al contenido mínimo exigido en la tablas 10 y 12. La emulsión elegida debe presentar una envuelta “buena”, es decir, una cubrición completa de la superficie de los áridos. Las temperaturas máxima y mínima de calentamiento previo de áridos y emulsión bituminosa se fijarán a partir de los resultados de este ensayo.

Se podrá recurrir al empleo de aditivos en caso necesario, para mejorar alguna propiedad específica de la mezcla.

5.1. Diseño de mezclas templadas abiertas

El diseño de la mezcla para granulometrías BBTM B y PA, sigue criterios similares a los empleados en las mezclas en caliente teniendo en cuenta las particularidades que presenta el empleo de emulsión bituminosa. Las mezclas del tipo A toman como referencia sus homólogas en frío (tipos AF8, AF12, AF20 y AF25)

Una vez definida la composición granulométrica y el tipo de emulsión y fabricada la mezcla, se procederá a la compactación de las probetas necesarias para determinar el contenido óptimo de emulsión o de ligante residual.

El proceso de mezclado de la emulsión elegida con los constituyentes definidos en las pruebas anteriores, a las temperaturas de calentamiento fijadas previamente, se realizará mediante una amasadora mecánica y siendo conveniente dejar una salida para el vapor generado en el proceso de mezclado y así evitar el reflujo de agua. En esta etapa se fijarán los tiempos de mezclado. Por experiencias anteriores con este tipo de mezclas abiertas, tiempos de mezclado entre 60 y 120 segundos se consideran adecuados (por ejemplo en la monografía de ATEB de mezclas en frío abiertas se indicaba que no deberían ser superiores a los 90 segundos).

Para determinar el contenido óptimo de emulsión, se debe emplear el ensayo de pérdidas de partículas (ensayo Cántabro) según la norma

UNE-EN 12697-17 por vía seca, fabricando series de probetas con la compactadora de impactos (UNE EN 12697 – 30) aplicando cincuenta (50) golpes por cara, con distintos porcentajes de ligante residual (ó emulsión añadida), a la temperatura de compactación indicada anteriormente.

Las probetas sin desmoldar se deslizan hasta dejarlas enrasadas con una de las aberturas del molde y se apoyan sobre una superficie rígida y perforada (por ejemplo sobre una rejilla metálica con perforaciones de 3-4 mm). Así se introducen en una estufa de convención forzada para su curado.

El periodo de curado será como máximo de tres días a 50 °C en estufa de ventilación forzada, hasta masa constante, menos temperatura que en las mezclas abiertas tipo A en frío donde el periodo de curado es de 48h a 75 °C.

Al finalizar el proceso de curado se observará si se ha producido escurrimiento de ligante sobre la superficie rígida y perforada en donde se han situado las probetas. Si se ha producido se deberá actuar sobre la elección de la emulsión o sobre la granulometría diseñada y si no se ha producido escurrimiento se desmoldan las probetas y se determina la densidad aparente por dimensiones según la norma UNE-EN 12697-6 y el contenido de huecos según la UNE-EN 12697-8

Para el cálculo del contenido de huecos es necesario conocer la densidad máxima de la mezcla, para ello se sigue el procedimiento volumétrico en agua descrito en la norma UNE-EN 12697-5, sobre muestra curada (sin humedad) disgregada.

Para el empleo de estas mezclas en capa de rodadura, se considera crítica la pérdida de partículas por desgaste en húmedo, determinada según la UNE-EN 12697-17 a 25 °C tras ser sometidas las probetas a un proceso de inmersión en agua durante un día a 60 °C. Dicha pérdida no rebasará el veinticinco por ciento (25%) en húmedo ni el quince por ciento (15%) en seco.

Además también se deberá evaluar la adhesividad de la mezcla mediante el ensayo de sensibilidad al agua, según la norma UNE-EN 12697-12. Los resultados de este ensayo deberán garantizar un valor de resistencia conservada superior en todo caso al noventa por ciento (90%) en las discontinuas tipo BBTM B y del ochenta y cinco por ciento (85%) para mezclas drenantes y abiertas (tipos PA y A).

Tabla 10: Dotación mínima de ligante hidrocarbonado (betún residual).

Tipo de mezcla	% en masa sobre el total de mezcla
PA 11, PA 16	≥ 4,30
BBTM 8B, BBTM 11 B	≥ 4,75
MEZCLAS TIPO A*	2,4 - 3,8

El porcentaje óptimo de emulsión se determinará por la curvas de densidad, huecos, pérdidas de partículas (ensayo Cántabro) en seco y húmedo y/o sensibilidad al agua teniendo en cuenta los porcentajes mínimos recogidos en la tabla 10. Con el contenido óptimo de ligante determinado, para las mezclas discontinuas tipo BBTM B se procederá a realizar el ensayo de rodadura, compactando las probetas en el compactador de placas según UNE-EN 12697-33. La

densidad volumétrica de las probetas para el ensayo de rodadura debe ser superior al noventa y ocho por ciento (98%) de la densidad obtenida en las probetas cilíndricas preparadas a cincuenta (50) golpes por cara con la compactadora de impactos. Estas probetas se curaran en estufa con ventilación forzada a 50 °C, un máximo de 3 días, hasta masa constante.

La temperatura a la que se realiza el ensayo de rodadura, se establece en sesenta grados centígrados (60°C) de forma general.

El contenido de huecos en mezcla determinado según la UNE-EN 12697-8 debe cumplir lo especificado en la tabla 11.

Tabla 11: Huecos volumétricos de probetas compactadas.

Tipo de mezcla	% de huecos
BBTM B	≥12
Drenante (PA) y tipo A	≥ 20

Además se deberá comprobar que no se produce escurrimiento de ligante, según UNE-EN 12697- 18.

Para este tipo de mezclas se podría contemplar también, el empleo de la compactación en giratoria en la etapa de diseño, si bien todavía no hay suficiente experiencias como para definir las condiciones de aplicación.

5.2. Diseño de mezclas templadas cerradas

El diseño de las mezclas templadas cerradas tipo hormigón bituminoso (AC) y discontinuas, tipo BBTM A, se realiza con criterios similares a los empleados para las correspondientes mezclas en caliente, si bien, hay que tener en cuenta las particularidades

que presenta el empleo de emulsiones bituminosas en la fabricación.

La metodología para realizar el diseño en laboratorio de las mezclas templadas cerradas es la siguiente.

- Elección de la emulsión bituminosa y de las temperaturas de los componentes:

El tipo de emulsión se elegirá teniendo en cuenta la naturaleza y la granulometría de los áridos. En concreto, para este tipo de mezclas, donde la proporción de finos es elevada, se pueden requerir emulsiones con índices de rotura altos.

- Fabricación de la mezcla, tiempos de envuelta, compactación de las probetas de ensayo y determinación del contenido óptimo de ligante.

Una vez definida la composición de los áridos y seleccionado el tipo de emulsión se procederá a fabricar las probetas necesarias para determinar el contenido óptimo de ligante. Dicha cantidad se establecerá, al igual que en las correspondientes mezclas en caliente, mediante el análisis de huecos de la mezcla y las resistencias a las deformaciones plásticas y a la acción del agua.

Para ello se fabricará en el laboratorio la mezcla templada mezclando, a las temperaturas seleccionadas, los áridos y la cantidad de emulsión que proporcione el mínimo de ligante residual establecido en la tabla 12. El mezclado se realizará en una amasadora mecánica que permita la salida del vapor generado en el proceso de mezcla y evitar el reflujo de agua condensada.

Posteriormente se debe determinar la humedad de la mezcla, mediante la

norma UNE 103300, ya que es un parámetro crítico para la trabajabilidad y compactabilidad de la mezcla templada. En caso de necesidad, se propone realizar el curado de la mezcla a 50 °C hasta masa constante y hasta un máximo de 3 días.

Dado que estas mezclas pueden fabricarse a diferentes temperaturas, siempre inferiores a 100 °C, se considera adecuado definir el proceso de curado de la mezcla que debe seguirse en el laboratorio, para reproducir el contenido de humedad de la mezcla en cada situación en la planta de fabricación. En cuanto a los tiempos de mezclado, será necesario definir los más correctos. Se consideran valores adecuados los comprendidos entre sesenta y ciento veinte (60 y 120) segundos.

Las probetas para el análisis volumétrico de la mezcla y para la sensibilidad al agua, se compactan en el laboratorio mediante el compactador giratorio, según el procedimiento indicado en la norma UNE-EN 12697-31 en las condiciones siguientes:

- Presión de consolidación: 600 KPa.
- Angulo de giro interno: 0.82°.
- Velocidad de giro: en este parámetro hay experiencias satisfactorias con valores de < 32 r.p.m.
- Si bien la norma específica tamaño máximo 16 mm para las probetas de 100 mm, hay experiencias en mezclas con tamaño máximo nominal de veintidós milímetros ($D \leq 22$ mm), tal y como se recoge en las recomendaciones para la redacción de Pliegos de Mezclas Templadas de la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía (AOPJA), en mezclas con tamaño

superior a 22 mm las probetas tendrán un diámetro de ciento cincuenta (150) milímetros.

Antes de proceder al diseño, será necesario determinar el número de giros para fabricar las probetas que aseguren el comportamiento de la mezcla tras su puesta en obra y así obtener sus características. Este número de giros se establecerá para cada tipo de mezcla bituminosa, de forma que se obtenga una densidad que proporcione un contenido de huecos en mezcla adecuado según lo establecido en la tabla 12. La experiencia indica que las mezclas templadas cerradas requieren entre 90 y 150 giros para la compactación de las probetas, si bien su número dependerá fundamentalmente del tipo de granulometría a estudiar (gruesa, densa, semidensa o BBTM A) y del tipo y contenido del ligante residual de la emulsión.

Tabla 12. Dotación de ligante hidrocarbonado (betún residual)

Tipo de capa	% en masa de dotación mínima de ligante	
	Respecto del peso total del árido combinado seco incluido el polvo mineral	Respecto del peso total de la mezcla incluido el polvo mineral
Rodadura*	≥4.7	≥4.50
Intermedia	≥4.2	≥4.00
Base	≥3.8	≥3.65

* Para las mezclas tipo BBTM A, la dotación mínima de ligante hidrocarbonado residual de la emulsión, en masa sobre el total de la mezcla, será de 5,2%.

A continuación se procede a su compactación, a la energía específica-

da anteriormente, a una temperatura de unos 70-80°C hasta que se consigan los huecos especificados en la tabla 13. Se podrá recurrir al empleo de aditivos en caso necesario, para mejorar alguna propiedad específica de la mezcla.

Las probetas para el ensayo de rodadura se compactarán mediante el compactador de rodillo metálico recogido en la norma UNE EN 12697-33. La densidad de las probetas será superior al 98% de la obtenida con el compactador giratorio.

A partir de la energía de compactación (número de giros) definida se compactan series de probetas cilíndricas, con diferentes contenidos de emulsión. Se determina su densidad aparente por superficie saturada seca (s.s.s), según la UNE EN 12697-6 y se calculan los parámetros de huecos en mezcla y huecos en áridos según la UNE EN 12697-8. La densidad máxima será determinada siguiendo el procedimiento volumétrico en agua descrito en la norma UNE EN 12697-5, a partir de mezcla sin humedad residual.

El contenido óptimo de emulsión corresponderá al contenido de ligante residual, con el cual se cumple las exigencias relativas al contenido de huecos y al resto de ensayos (sensibilidad al agua, ensayo en pista).

Tabla 13. % huecos mezcla por superficie saturada seca (UNE EN 12697-8) en probetas.

Características		Categoría de tráfico pesado		
		T1 y T2	T3 y arcenes	T4
% Huecos en mezcla S.S.S.	Rodadura*	4 - 6	3 - 5	
	Intermedia	5 - 8	4 - 8	
	Base	6 - 9	5 - 9	--

* Para mezclas tipo BBTM A el porcentaje en huecos será mayor o igual a 4%.

Es recomendable igualmente determinar el módulo de rigidez a tracción indirecta a 20 °C según la norma UNE EN 12697 – 26 Anexo C con diferentes porcentajes de emulsión, para evaluar su evolución.

Con el porcentaje óptimo de ligante seleccionado, se procederá a realizar el ensayo de sensibilidad al agua a 15°C de la mezcla bituminosa según la norma UNE EN 12697 – 12.

Las probetas para la realización de este ensayo se compactarán mediante compactador giratorio con un 67%* de los giros empleados para los ensayos de densidad y huecos.

*simulación de condiciones más críticas, con una menor energía de compactación (equivalente a la relación 50/75 impactos Marshall)

Los valores de resistencia conservada serán superiores al ochenta por ciento (80%) para capas intermedias y base, y un ochenta y cinco (85%) para las capas de rodadura.

También se determinará la resistencia a las deformaciones plásticas a 60°C mediante el ensayo de rodadura descrito en la norma UNE EN 12697-22, empleando el procedimiento B en aire con el dispositivo pequeño.

Al igual que se ha comentado para las mezclas templadas abiertas, la temperatura a la que se realiza el ensayo de rodadura, se establece en sesenta grados centígrados (60°C) de forma general. Las probetas prismáticas se compactarán mediante el compactador de rodillo metálico según la norma UNE EN 12697-33. La densidad s.s.s. de las probetas para el ensayo de rodadura debe ser superior al 98% de la densidad obtenida en las probetas cilíndricas preparadas en la compactadora giratoria, para la determinación del contenido de huecos.

5.3. Diseño de mezclas templadas recicladas

Las mezclas templadas recicladas (definidas en el apartado 3.2.3) se diseñan siguiendo unas pautas y criterios similares a los empleados para las mezclas recicladas en caliente (Art. 22 del PG-4), teniendo en cuenta, de igual modo, las particularidades que presentan tanto el material bituminoso a reciclar como las emulsiones bituminosas de aportación.

El objeto de esta etapa es definir una metodología para obtener la fórmula de trabajo, incidiendo en los aspectos particulares o específicos de estas mezclas respecto a las homólogas recicladas en caliente

5.3.1 Caracterización de materiales

Los áridos vírgenes a emplear deberán cumplir las mismas especificaciones exigidas en la mezcla homóloga de hormigón bituminoso por los artículos 542 del PG-3, recogido en la Orden Circular 24/2008 y 22 del PG-4.

En cuanto a los materiales bituminosos a reciclar (MRMB), deben ser triturados o disgregados y tamizados

para conseguir un tamaño máximo adecuado al tipo de mezcla en la que se pretende reutilizar o reciclar que, en todo caso, deberá pasar en su totalidad por el tamiz de 32 mm de la UNE EN 933-1. En estas operaciones se debe evitar una trituración ulterior de los áridos, que genere más finos, para lo cual es altamente recomendable emplear molinos específicos para el tratamiento de MRMB, que disgreguen el material minimizando el machaqueo del árido.

Es recomendable que el MRMB destinado a mezclas recicladas se clasifique en, al menos, dos fracciones, para asegurar la regularidad de características de la mezcla final, especialmente en lo relativo a su contenido de ligante. Esta recomendación es especialmente importante a partir de tasas de MRMB del 15% y se considera imprescindible en mezclas recicladas de alta tasa (50% - 80% de MRMB en mezcla) y tasa total (80% a 100% de MRMB en la mezcla), debiendo tener la fracción fina una granulometría tal que pase en su totalidad por el tamiz de 5,6mm.

Las pautas para la caracterización del MRMB y sus fracciones serán similares a las que indica el artículo 22 del PG-4. Así pues, se clasificarán por tramos homogéneos en base a las siguientes características:

- Granulometría tras extracción de ligante (UNE EN 12697-2) (granulometría en blanco)
- Contenido de ligante del material (UNE EN 12697-1)
- Penetración (UNE EN 1426) del ligante recuperado
- Punto de reblandecimiento (UNE EN 1427) del ligante recuperado

- Asimismo, se debe determinar la granulometría de cada fracción del MRMB según UNE EN 933-1 (granulometría en negro), para control de la regularidad del proceso de desmenuzado y clasificación del MRMB

Del árido recuperado del MRMB una vez extraído el ligante, se determinarán sus propiedades a efectos de validar su utilización (salvo constancia de esos datos en las mezclas de las que proviene el MRMB). A este respecto, los áridos del MRMB no deberán presentar signos de meteorización y deberán poseer unas propiedades de dureza y calidad similares a las exigidas a los áridos nuevos de aportación en el artículo 542 del PG-3, recogido en la Orden Circular 24/2008, para la aplicación a la que se destine la mezcla, o bien por los criterios definidos por el Director de las Obras

5.3.2 Granulometría de la mezcla reciclada templada

Para obtener la granulometría de la mezcla resultante de combinar las distintas fracciones de los áridos (incluido el polvo mineral) y las fracciones de MRMB, se tendrá en cuenta el análisis granulométrico realizado según la UNE-EN 933- 1, para las fracciones de áridos vírgenes y recuperados del MRMB, tras la extracción del ligante.

La necesidad de considerar la granulometría en blanco, se debe a que las temperaturas de mezclado generalmente serán superiores al punto de reblandecimiento del ligante residual del MRMB, en más de una veintena de grados. Por ello, el proceso de mezclado y la energía aportada en el mismo, producirán un desmenuzamiento del material bituminoso.

La granulometría de la mezcla reciclada templada deberá estar comprendida dentro de uno de los husos granulométricos fijados para las mezclas AC en el Artículo 542 del PG-3, recogido en la Orden Circular 24/2008.

En los casos de mezclas recicladas de tasa alta o total (más del 50% de MRMB en mezcla), se admitirá un aumento en los contenidos máximos de hasta un 3% en polvo mineral, en el tamiz de 0.063 mm y de un 1.5% en el tamiz 0.25 mm.

5.3.3. Selección de la emulsión:

Como ya se ha indicado en 4.4.3 y al principio de este punto 5, las características del MRMB, y la tasa de reciclado junto con la naturaleza de los áridos, la del fíller y la situación de la capa, tipo de tráfico pesado y zona térmica estival condicionarán la elección del tipo de emulsión a emplear.

La cantidad mínima de emulsión a emplear en la mezcla reciclada templada será aquella que garantice un contenido de ligante residual final que cumpla con las exigencias indicadas en la tabla 12, del apartado 5.2. En todo caso, el contenido de ligante residual aportado por la emulsión a la mezcla no debería ser inferior a un 1.5%.

En las mezclas recicladas con alta tasa o tasa total de MRMB, el contenido final de ligante puede parecer elevado tras el aporte de la emulsión. Esto no debe suponer, a priori un deficiente comportamiento de la mezcla debido a que parte de ese ligante no es de nueva aportación sino un ligante envejecido que ha perdido durante su vida en servicio algunas de sus propiedades aglomerantes y que el nuevo ligante que aporta la emul-

sión tratará de reconstituir, teniendo en cuenta que las condiciones y temperatura de mezclado favorecerán este proceso.

5.3.4. Fabricación de la mezcla, compactación, tiempos de envuelta, curado de las probetas y determinación del óptimo de ligante.

Se recomienda aplicar la misma metodología indicada en el apartado 5.2 anterior para las mezclas cerradas, si bien el empleo de MRMB y su proceso de calentamiento introducen algunas matizaciones, que se indican a continuación.

En la elaboración de la mezcla, en cuanto a calentamiento en el laboratorio de los áridos y del MRMB, o sus fracciones, hasta llegar a la temperatura de mezcla deseada, ha de procurarse la reproducción fidedigna del proceso industrial de fabricación en central. Como ya se ha citado y se explicará más adelante, hay varios procedimientos de calentamiento de los materiales bituminosos (MRMB) de la mezcla: directo, por transferencia de calor desde los áridos al MRMB (que se aporta a temperatura ambiente) o por combinación de ambos. Por ello, en el laboratorio, la mezcla de componentes, sus temperaturas de entrada al mezclador, la secuencia de mezclado, decalajes entre fases y tiempos de cada una, deben ser coherentes con lo que se pueda hacer en central.

Se realizan pruebas de mezclado con el tipo de emulsión seleccionado, para las temperaturas fijadas para los constituyentes empleando una amasadora mecánica, acondicionada con un dispositivo para la salida del vapor generado en el proceso de mezclado, evitando así, reflujo de agua. En esta etapa se ajustarán las temperaturas

definitivas de los constituyentes (áridos, MRMB, mezcla de éstos y la emulsión) y se fijarán los tiempos y secuencia de mezclado, seco (áridos nuevos y MRMB) y húmedo (conjunto áridos nuevos y MRMB con la emulsión). A título orientativo tiempos de mezclado adecuados para estas mezclas recicladas rondan los 120 segundos.

Una vez fabricada la mezcla para su caracterización, el procedimiento de elaboración de probetas para el estudio volumétrico y de sensibilidad al agua es el mismo que se recomienda en el punto 5.2 para las mezclas templadas cerradas, utilizando el compactador giratorio, según UNE EN 12697-31

Para las mezclas templadas recicladas se definirá la energía de compactación para conseguir unos huecos según la UNE EN 12697-8 cuya densidad máxima haya sido determinada por el método volumétrico en agua según la UNE-EN 12697-5 y la densidad de la probeta determinada por s.s.s según la (UNE EN 12697-6), cercanos al valor máximo de huecos para la capa y categoría de tráfico a la que se destine la mezcla.

Los valores de referencia para los huecos serán los mismos que se recomiendan para las mezclas cerradas y se recogen en la tabla 13 del apartado 5.2. No obstante, en el caso de reciclados a tasa total, experiencias realizadas indican que el rango de huecos puede desplazarse hacia valores inferiores, reduciéndose los mínimos recomendados hasta un valor de un 3%.

A título orientativo, se puede considerar que, en mezclas templadas recicladas a tasa total, un valor de 65 ciclos puede ser suficiente para estudiar las características mecánicas

de estas mezclas. Para las de alta tasa, el número de ciclos finales necesario va a depender de la cantidad de áridos vírgenes de aportación y del tipo de mezcla resultante.

Las condiciones de compactación de las probetas, tamaño de moldes y requisitos de curado que se deben emplear son las mismas ya indicadas para las mezclas cerradas en 5.2.

Con los giros establecidos anteriormente, se procederá a compactar las probetas de mezcla con varias dotaciones de emulsión, superiores e inferiores al mínimo establecido.

Por cada porcentaje de emulsión añadido será necesario realizar los siguientes ensayos:

- Determinación de la densidad aparente por superficie seca saturada (s.s.s) según UNE EN 12697 – 6.
- Determinación densidad máxima según UNE EN 12697 – 5 (Sin humedad antes de realizar el ensayo).
- Contenido en huecos según UNE EN 12697 – 8.
- Determinación de la resistencia a tracción indirecta a 15 °C según UNE EN 12697 - 23.
- Se recomienda realizar el Modulo de Rigidez a tracción indirecta según UNE EN 12697 – 26 Anexo C, a 20 °C, para altas tasas y tasas totales de reciclado

La determinación del contenido óptimo de ligante se realiza mediante las curvas de densidad, contenido de huecos en mezcla, resistencia a tracción indirecta y, en su caso, módulo de rigidez frente a contenido de emulsión. Considerando adecuados

unos valores de huecos en mezcla como los indicados anteriormente, se optimiza el diseño dentro del rango de cumplimiento de huecos, en función de los valores obtenidos en los otros parámetros y la importancia relativa que puedan tener en función de las características de empleo de la mezcla.

Con este porcentaje óptimo de ligante, se procederá a realizar el ensayo de sensibilidad al agua a 15°C de la mezcla bituminosa según la norma UNE EN 12697 – 12, para lo cual se compactarán las probetas mediante compactador giratorio con un 67%* de los giros empleados para los ensayos de densidad y huecos. El valor de resistencia conservada debe ser superior en todo caso al ochenta por ciento (80%) para todas las mezclas y al ochenta y cinco (85%), si va a ser empleada en capa de rodadura.

Además, se procederá a realizar el ensayo de rodadura, compactando las probetas en el compactador de placas según UNE EN 12697-33. La densidad s.s.s de las probetas para el ensayo de rodadura debe ser superior al 98% de la densidad obtenida en las probetas cilíndricas preparadas con los giros establecidos en la prensa giratoria para la determinación de huecos.

6. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA.

Si bien en las operaciones de transporte y puesta en obra se emplean los mismos equipos que en las mezclas bituminosas convencionales, en la fabricación de las mezclas templadas existen condicionantes particulares que introducen diferencias en el proceso y requieren instala-

ciones con ciertas especificidades o adaptaciones.

6.1. Fabricación.

Las mezclas bituminosas templadas pueden fabricarse en centrales diseñadas específicamente para este tipo de mezclas, o en centrales de fabricación de mezclas en caliente, ya sean estándar o adaptadas para trabajar con material reciclado en caliente. Dichas plantas deben estar preparadas para trabajar con emulsión bituminosa, en el rango de temperaturas de uso de los materiales constituyentes (áridos y/o MRMB, y emulsión) y de la mezcla.



Foto 3. Planta FAMAT – 135 diseñada específicamente para mezclas templadas

La central de fabricación debe disponer de un sistema de producción de calor en el tambor secador, que permita un calentamiento adecuado del material empleado en la fabricación, para alcanzar el rango de temperatura requerido.

Una planta convencional de mezclas en caliente, está optimizada para un rango de temperaturas de trabajo elevado en sus sistemas de calentamiento de áridos y recuperación de polvo. Su empleo con temperaturas inferiores, puede generar problemas, como desajustes en el quemador, contaminación de los áridos por mala calidad en la combustión, etc. Para

evitar este tipo de inconvenientes, se debe asegurar una combustión adecuada.

Estas plantas constan de un número de tolvas de alimentación en frío de áridos, que es recomendable que no sea inferior a tres y, en su caso, de MRMB, con sistema de dosificación y control de la producción desde la cabina de control.

El almacenamiento de polvo mineral se lleva a cabo por medio de silos estancos y separados, de modo que en el proceso de fabricación podríamos contar con el propio filler de recuperación procedente del árido empleado, así como con el polvo mineral de aportación. La dosificación de estos materiales se efectúa con un método ponderal. Hay que tener en cuenta que dado que no se alcanzan las temperaturas más adecuadas para el secado total de los áridos finos, es posible que parte del filler no sea extraído por parte del ciclón, aunque existe la posibilidad de disponer de un sistema para bifurcar parte de los áridos a secado total (con extracción de filler) mientras que la otra parte llegaría con su filler al mezclador.

La emulsión se almacena en un tanque de la planta ó bien en una cisterna móvil nodriza conectada al sistema de aportación de ligante de la planta. Este sistema puede consistir en un circuito dispuesto de forma paralela al sistema de aportación de betún empleando el mismo equipo bomba mediante válvulas, ó bien disponiendo de un sistema independiente que permita la pesada secuencial mediante mecanismo automático en las plantas convencionales discontinuas o dosificación controlada con caudalímetro en las plantas continuas. En todo caso, la planta o condiciones de empleo deben asegurar que las temperaturas del circuito y

sistema de dosificación de emulsión sean adecuadas, en especial si se emplea el circuito de betún, cuyas temperaturas normales de operación son inadecuadas. En las plantas específicas se dispone de un sistema calorifugado independiente de la emulsión que va desde los tanques hasta el caudalímetro que permite la dosificación.

La aportación de la emulsión se realiza por los medios convencionales, contando con un circuito que lleve el producto desde cisterna ó tanque de almacenamiento hasta la báscula de ligante y finalmente al mezclador. En este punto es necesario tener en cuenta los posibles problemas que puedan derivarse de la viscosidad de la emulsión para su trasiego y de las temperaturas a mantener en el circuito. Por motivos de seguridad es recomendable contar con un circuito para la emulsión independiente del betún para el trasiego de estos materiales desde tanque a báscula.

En las plantas específicas de producción de mezclas templadas con emulsión se dispone un circuito calorifugado de emulsión que va desde los tanques de almacenamiento o cisternas a un caudalímetro que da la dosificación de la misma en función del peso seco de los áridos.

La planta debe disponer de un sistema de mezclado que pueda ser regulado para trabajar con diferentes tiempos de mezclado en seco (solo áridos combinados y, en su caso, MRMB) como en húmedo (mezcla de los anteriores con la emulsión). De este modo es posible adecuar el proceso para una envuelta adecuada de los áridos y, en su caso, MRMB, en la mezcla.

Cuando se trata de una planta de fabricación de régimen discontinuo, es

necesario contar con un sistema de almacenamiento previo de áridos, tipo tolvas en caliente (al menos tres) a las que llegará el material previamente clasificado en las correspondientes fracciones y constarán de un sistema de dosificación ponderal independiente.

En el caso de procesos continuos, debe haber un control ponderal de la masa de áridos (y MRMB en su caso) y su humedad, previo a la dosificación de ligante.

Tanto en las plantas convencionales de fabricación de mezcla bituminosa en caliente como en las plantas específicas de fabricación de mezclas templadas, es recomendable contar con un sistema de ventilación en la zona superior del mezclador, de modo que el vapor de agua acumulado pueda ser eliminado. En caso contrario, este vapor de agua acumulado puede dar lugar a errores de pesada en la báscula de áridos en caliente.

En aquellas centrales de fabricación que dispongan de silos de almacenamiento de mezcla, ésta no se recomienda que permanezca en los mismos más de 24 horas tras su fabricación, si bien dependerá del tipo de emulsión y mezcla fabricada. En estos casos se deberá comprobar que la mezcla se encuentra homogénea y trabajable.



Foto 4. Acopio en planta

6.1.1. Fabricación de mezclas templadas:

Las fases de producción en planta son semejantes a las empleadas cuando fabricamos mezcla bituminosa en caliente.

Los áridos serán acopiados en la cantidad suficiente, separados por fracciones y evitando posibles contaminaciones y segregaciones de material. Si se acopiara sobre el terreno natural, se desecharán los 15 cm inferiores.

La carga de las tolvas de áridos en frío se realizará de modo que el contenido de material sea aproximadamente del 75% de su capacidad, evitando faltas de material y rebose del mismo, lo que podría acarrear contaminaciones entre tolvas. Si la producción de mezcla así lo aconsejara, cuando se trate de fabricar mezclas con contenidos altos de material fino ó arena, tales como mezclas densas e incluso semidensas, se dispondrán dos tolvas para estos tamaños.

En la secuencia de fabricación, el orden de entrada debe ser árido->emulsión>polvo mineral. A la salida del mezclador tras la amasada completa, la mezcla debe presentar un aspecto homogéneo y todas sus partículas deben estar cubiertas de ligante. Tanto la temperatura de calentamiento de los áridos como de la emulsión serán las que indique la fórmula de trabajo. La temperatura de la mezcla a la salida del mezclador debe ajustarse a la temperatura recogida en la fórmula de trabajo y será siempre inferior a los 100°C.

En el momento de la fabricación la emulsión empleada debe encontrarse a una temperatura que permita su

trasiego desde el tanque de almacenamiento hasta la báscula de ligante de la planta de fabricación.

6.1.2. Fabricación de Mezclas templadas recicladas.

Además de los principios expuestos en los apartados anteriores, para la fabricación de mezclas templadas recicladas, la central debe estar especialmente diseñada o ser una adaptación de una central de fabricación de mezclas recicladas en caliente. En todo caso, a continuación se describen los principios generales específicos que debe cumplir una instalación adecuada. Estas centrales deben ser capaces de manejar simultáneamente, en frío, el número de fracciones del árido y del MRMB que exija la fórmula de trabajo adoptada.



Foto 5. Planta continua flujo paralelo con anillo MRMB

Debe ser capaz de adicionar, durante el proceso de mezclado con la emulsión, la mezcla de áridos y MRMB a la temperatura prescrita (no superior a 100 °C), debiendo calentarse el MRMB de modo adecuado, como se indica a continuación, sin que se haya inducido deterioro en los materiales del mismo, en especial de su ligante envejecido

El calentamiento del MRMB, puede llevarse a cabo por:

- aportación directa de calor con empleo de sistemas de calentamiento en los que el MRMB no tenga contacto directo con la llama del quemador en el tambor secador, y no discorra por áreas de excesiva temperatura de gases, que degradan su ligante.
- transferencia de calor desde áridos vírgenes sobrecalentados, hasta que la mezcla de estos con el MRMB, llegue a una temperatura no superior a 100 °C.
- o combinación de los dos métodos anteriores.

En el caso de mezclas con tasa de reciclado muy elevada (o con tasa total), no es suficiente (o no puede aplicarse), la técnica de transferencia de calor al MRMB desde los áridos vírgenes sobrecalentados para llegar a la temperatura requerida en la mezcla. Por ello, el calentamiento del MRMB ha de llevarse a cabo por sistemas directos de aportación de calor a través de algún procedimiento válido como con tambores específicamente diseñados para ello, mediante el empleo de gases calientes, pero sin que la temperatura de éstos sea excesiva y llegue a afectar al ligante del MRMB (fotos 5 y 6). A modo de ejemplo, son adecuados y hay experiencia en el uso de los sistemas de tambor secador de flujo paralelo con un correcto control de temperaturas, en los que el flujo de áridos coincide con el de los gases calientes y con la cámara de combustión retrasada. Esto permite la incorporación del MRMB mediante un anillo de reciclado en una parte avanzada del tambor, en una zona alejada de las llamas, en la que el rango de temperatura de gases ya se ha reducido, preservándose así las características del ligante del MRMB.



Foto 6. Tambor calentador de flujo paralelo, específico para MRMB

Por el contrario, no son adecuados y por tanto deben evitarse, los sistemas para el calentamiento del MRMB con excesiva exposición de éste, como es el caso de los tambores secadores convencionales de contra-flujo, habituales en las plantas discontinuas, en los que el MRMB pasaría por delante de la llama del quemador, en la zona de máxima temperatura, lo que degradaría el ligante en forma excesiva.

En los casos, en los que existe riesgo de afección a las características del ligante presente en el MRMB, hay que tener cierta confianza en la tecnología y procedimiento a emplear en el calentamiento directo. Por ello, salvo experiencia conocida con el sistema a emplear, puede ser conveniente verificar la idoneidad del sistema. Para ello, con la instalación a régimen normal de producción, se tomaran muestras del MRMB a la entrada del proceso y tras su calentamiento a la temperatura de mezcla prescrita, para controlarlo mediante ensayos de determinación del contenido de ligante (UNE EN 12697-1) y de las características del ligante recuperado (según UNE EN 12697-1 seguido de UNE EN 12697-3), determinando la penetración (UNE-EN 1426) y punto de reblandecimiento (UNE EN-1427). Los resultados obtenidos permiten evaluar el grado de afección al ligante

producido por el proceso de calentamiento y su análisis nos puede dar indicación de la idoneidad o no del sistema.

Otro de los sistemas de calentamiento, anteriormente citado, es el de transferencia de calor al MRMB desde áridos vírgenes sobrecalentados, para llegar a la temperatura requerida de la mezcla. El MRMB puede adicionarse frío al mezclador, de modo que se alcancen en la mezcla de ambos, la temperatura establecida, antes de proceder a la adición de la emulsión.

Así, en plantas discontinuas, es habitual que la aportación del MRMB se lleve a cabo mediante un sistema de elevación desde la tolva de recepción del mismo hasta una tolva dosificadora, con control ponderal, desde donde se introduce al mezclador (fotos 7 y 8). En la secuencia de fabricación, el orden de entrada debe ser árido->MRMB->emulsión->polvo mineral.

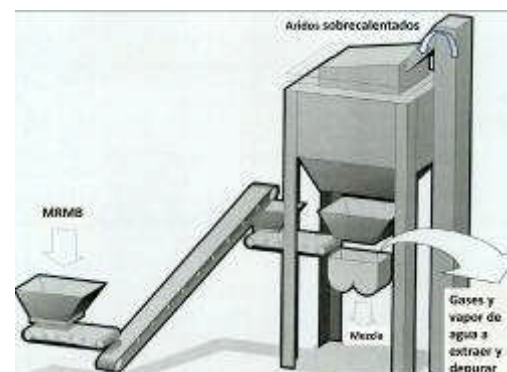


Fig 7 .Esquema planta discontinua con adición con control ponderal de MRMB frío al mezclador y sistema de extracción del vapor generado.



Fig 8.- Planta discontinua con el sistema de adición de MRMB

En las plantas específicas diseñadas para la fabricación de mezclas templadas con emulsión se dispone de un sistema independiente de dosificación del MRMB que permite su dosificación ponderal, después del calentamiento de los áridos vírgenes, previo a la entrada al mezclador sin que pase el MRMB por el tambor secador. En cualquier caso, se tomará como requisito de fabricación el ajuste de los tiempos de amasada “en seco” – árido y MRMB- en función de la transferencia de temperatura del árido caliente al material fresado.

En general, con tasas bajas y medias, son adecuadas las tecnologías que se utilizan para reciclados en caliente, de modo que el MRMB se caliente bien por transferencia de calor de los áridos sobrecalentados o bien por los gases calientes del tambor secador fuera de la zona de llama y de máximas temperaturas, de modo que se pueda asegurar que no hay afección a las propiedades del ligante del MRMB.

En todo caso, se llevará a cabo la verificación de la calidad de la envuelta tras la adición de la emulsión y polvo mineral. La planta debe poder regular las secuencias y tiempos de mezclado de los componentes

En las centrales de fabricación continua con tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación deberá ser ponderal, para el MRMB, y se deberá tener en cuenta la humedad de éste así como la del árido virgen, para corregir la dosificación. La central debe disponer de un dispositivo que permita la incorporación del MRMB tras la llama, de forma que no exista riesgo de contacto con ella.

En las centrales de fabricación discontinua, deberán estar provistas igualmente de un sistema de dosificación ponderal del MRMB y debe tenerse en cuenta la humedad de este material.

Asimismo, cuando hay un circuito de calentamiento específico para el MRMB (caso de plantas con dos secadores), la instalación debe estar concebida para solventar los problemas de pegajosidad del MRMB caliente, que pueden dificultar el funcionamiento normal de la instalación, e incluso llegar a bloquear la producción. Esta situación debe evitarse y se produce especialmente en el caso de las plantas discontinuas

6.2. Transporte de la mezcla templada.

Para el transporte de la mezcla a obra será preceptivo todo lo recogido en los artículos 542 y 543 del PG-3, recogidos en la Orden Circular 24/2008, según el tipo de mezcla.



Foto 10. Bañera con MBTE. Ausencia de humos

Para el transporte desde planta a la obra se emplean camiones con caja lisa, limpia y tratada con un agente jabonoso que evite que se adhiera la mezcla. Además, los camiones deberán ir provistos de una lona que cubra y proteja la mezcla en el recorrido hasta su descarga en la tolva de la máquina extendidora.

6.3. Puesta en obra de la mezcla templada.

Previo a los trabajos de puesta en obra de la mezcla templada es necesario comprobar que el estado de la superficie a tratar reúne una serie de requisitos mínimos de regularidad, ausencia de materiales sueltos, zonas reparadas sin resaltes y ausencia de zonas con exceso de ligante.

Previo a la extensión de la mezcla templada se llevará a cabo un riego de adherencia, según se recoge en el Artículo 531 del PG-3. Las emulsiones a emplear serán las indicadas para tal fin en el artículo 213 del PG-3, recogido en la OC. 29/2011. No obstante, dado que las temperaturas a las cuales se realiza el extendido de estas mezclas suelen ser próximas al punto de reblandecimiento del ligante residual de las emulsiones termoadherentes, no se recomienda el empleo de las mismas.

Cuando la superficie existente “corresponda a” un tratamiento con conglomerante hidráulico o material granular no tratado, será necesario llevar a cabo un riego de imprimación, según se recoge en el Artículo 530 del PG-3.

Foto 10. Operación de fresado y reposición con MBT cerrada



En lo relativo a la puesta en obra de las mezclas se tendrá en cuenta todo lo recogido en los artículos 542 y 543 del PG-3, recogidos en la Orden Circular 24/2008.

Para la puesta en obra de mezclas templadas se contará con un equipo de extendido compuesto por máquinas extendidora/s autopropulsada/s. Este equipo debe tener la capacidad necesaria para trabajar en la anchura de extensión requerida, y será capaz de extender la mezcla con la geometría fijada procurando conseguir una precompactación definida para la mezcla. La extensión se llevará a cabo de modo continuo, consiguiendo que la superficie resultante presente un aspecto liso y uniforme, sin segregaciones de material ni arrastres.

Foto 10. Extendido mezcla templada cerrada



Los sistemas de extendido son exactamente iguales que los que se utilizan para las mezclas convencionales fabricadas en caliente. Cabe recalcar que para este tipo de mezclas, al poder tener un porcentaje de agua residual en la mezcla y menor temperatura, es muy aconsejable el empleo de sistemas de alta compactación en la extendedora, que permitan aprovechar al máximo la temperatura de la mezcla en la precompactación de la regla. También es muy aconsejable que el equipo de compactación esté lo más próximo posible al equipo de extendido para aprovechar al máximo la temperatura de la mezcla para su correcta compactación.

La compactación de la mezcla se realizará por medio del equipo de compactación, compuesto generalmente por rodillos metálicos provistos de sistema de vibración y compactadores de neumáticos. Estos equipos deberán reunir las características adecuadas al tipo de mezcla y espesor de capa y se validarán en el tramo de prueba.



Foto 10. Compactado mezcla templada

Se llevará a cabo desde la extensión de la mezcla hasta alcanzar la densidad fijada en el tramo de prueba, teniendo en cuenta el esquema de compactación y rango de temperaturas definido.

7. CONTROL DE CALIDAD.

7.1. Antecedentes

En el desarrollo de este apartado sobre el Control de Calidad de las Mezclas Bituminosas Templadas con Emulsión (MBTE) se tienen en cuenta las siguientes premisas:

Al igual que con las mezclas bituminosas en caliente, los planes de control de calidad de las MBTE contemplan las fases de la fabricación y puesta en obra y se pueden programar en tres etapas:

- Controles previos
- Controles durante la ejecución.
- Control del producto o unidad terminada.

Dado que las MBT pueden admitir como constituyente material de recuperación de mezclas bituminosas (MRMB), con elevadas tasas de reciclado, procede dedicar a estas mezclas templadas recicladas, un

apartado específico dedicado a su control de calidad.

7.2. Normativa de aplicación.

A la redacción del presente documento, aun no existe normativa armonizada europea específica para estos tipos de mezclas bituminosas, si bien se está contemplando su inclusión en el CEN/TC 227 sobre Mezclas Asfálticas. Por tanto, estos productos aún no disponen de marcado CE y tampoco están contemplados en el PG-3.

No obstante, un avance importante en este sentido se ha alcanzado tras la publicación en abril de 2012, de un documento que recoge las “Recomendaciones para la redacción de Pliegos de Mezclas Bituminosas Templadas” elaborado por la Agencia de Obra Pública de la Junta de Andalucía (AOPJA).

Con estas premisas y por analogía con las mezclas en caliente, dadas las prestaciones finales alcanzadas con las MBT y, en base a la experiencia acumulada en su empleo, se adoptará la normativa existente para las MBC, adaptándola a las singularidades de las mezclas templadas. Asimismo, en las mezclas templadas recicladas se tomará como referencia la normativa existente para las mezclas recicladas en caliente.

Así, para el control de calidad de la fabricación y puesta en obra de las MBTE se emplearán adaptaciones de:

- La serie normativa UNE EN 12697 para los ensayos de diseño y control.
- La serie normativa UNE EN 13108 para los ensayos tipo y control de producción.

- Los artículos 542 y 543 del PG-3, recogidos en la Orden Circular 24/2008 para su puesta en obra.
- El artículo 22 del PG-4, para las mezclas recicladas

7.3. Control de fabricación de las Mezclas bituminosas templadas.

7.3.1. Controles previos:

Los controles previos a la fabricación tienen como objetivos validar la calidad y homogeneidad de los materiales constituyentes, la definición de las fórmulas de trabajo, y la validación de la planta, lo que se realiza con las siguientes tareas:

- Control documental del material constituyente.
- En su caso, visitas de inspección a las plantas de fabricación de las mezclas o de alguno de sus componentes
- En su caso, realización de ensayos de control de procedencia.
- Estudio de las fórmulas de trabajo.

7.3.1.1. Control documental:

Para este control hay que diferenciar los productos sujetos a la Directiva Europea para productos de la construcción de los que no lo están.

En el primer caso, para los productos que dispongan del marcado CE, como son los áridos o las emulsiones bituminosas catiónicas, esta Directiva especifica en qué consiste la documentación que facilitará el fabricante:

- Etiqueta CE
- Declaración de conformidad, y

el certificado de conformidad del control de producción de fábrica (FPC) expedido por el Organismo de Certificación, para aquellos productos que lo requieran.

Para los productos no sujetos al marcado CE, como es el caso de los áridos para autoconsumo o el de las emulsiones bituminosas aniónicas, los fabricantes deberán presentar una documentación similar a la anterior, que consistirá en:

- Etiqueta de características.
- Declaración de garantía de cumplimiento con los valores indicados en la etiqueta.
- Ensayos del producto que se envía a obra.

7.3.1.2. Visitas de inspección a las instalaciones:

Es recomendable efectuar una visita de inspección a las instalaciones donde se fabricará la MBTE o alguno de sus componentes. Estas visitas, deben ser realizadas antes del comienzo de los suministros y tienen como objeto comprobar la idoneidad de los procesos de fabricación y del control de producción. Entre ellos, se prestará especial atención a la calibración de las básculas, calibración de pesada de las cintas, etc.

7.3.1.3. Realización de ensayos de control de procedencia.

Los ensayos de control de procedencia no son obligatorios si el producto dispone de marcado CE.

No obstante, hay que valorar la realización de ensayos de control de procedencia, que pueden ser exigidos por el Pliego de Prescripciones Técnicas

Particulares o por la propia Dirección de la Obra.

Para los materiales que no dispongan de marcado CE, es obligatorio el control de procedencia. En todo caso, el plan de control de calidad de obra, deberá especificar si son suficientes los controles efectuados por el fabricante o se requieren ensayos adicionales.

7.3.1.4. Estudio y validación de las fórmulas de trabajo

Una vez conocidas y aceptadas las características de los materiales constituyentes, así como las necesidades de la unidad de obra, se elaborarán las fórmulas de trabajo en el laboratorio de acuerdo a los apartados específicos que para cada tipo de MBTE se indica en esta monografía.

Este estudio de laboratorio se validará en la planta de fabricación de la MBTE.

7.3.2. Controles durante la fabricación.

Para definir los controles que hay que realizar durante la fabricación de una MBTE se puede emplear la norma UNE EN 13108-21, y se centrarán en el control del funcionamiento de la planta de fabricación de las MBTE.

Los trabajos de este control, consistirán básicamente en el control de las temperaturas de fabricación, el control de las dosificaciones y el control de tiempos de mezclado.

Cada uno de los parámetros deben estar planificados para conseguir que la fabricación de las mezclas concluya con el producto diseñado en la fórmula de trabajo, y, en el caso de producirse no conformidades, se

pueda actuar rápidamente y con efectividad.

7.3.3. Control de la mezcla fabricada

Teniendo en cuenta la singularidad de estas mezclas, el control del producto terminado se podrá asimilar a lo solicitado tanto por la norma UNE EN 13108-21 como por los apartados 542.9 o 543.9 de los artículos 542 y 543 del PG-3, recogidos en la Orden Circular 24/2008.

Entre otras, algunas particularidades en el control de calidad de las mezclas templadas son:

- Se debe especificar el procedimiento de toma de muestras y su traslado al laboratorio, para garantizar su representatividad así como para evitar pérdidas de humedad (Ver Anexo III Protocolo de toma de muestras de mezclas bituminosas templadas con emulsión).
- Las probetas se prepararán, en función del tipo de mezcla, según lo especificado en el punto 5 de esta monografía.



Foto 11. Envases toma de muestras

El control de producto fabricado consistirá en una evaluación visual de la mezcla y en los ensayos pertinentes para determinar sus características.

Como referencia inicial, la intensidad del plan de control se podrá tomar en base a la frecuencia recogida en la norma UNE EN 13108-21 y con arreglo a ella, establecer los niveles de control más adecuados para asegurar la calidad de estas mezclas.

La humedad y la temperatura son dos parámetros fundamentales en la fabricación y puesta en obra de las MBT. Por ello, sería necesario llevar a cabo un control adecuado de los mismos en la mezcla fabricada.



Foto 12. Compactadora giratoria

7.4. Control de la puesta en obra.

El control de la puesta en obra de las MBT es muy similar al de las mezclas bituminosas en caliente, y por ello se toma como referencia lo legislado en los artículos 542 y 543 del PG-3, recogidos en la Orden Circular 24/2008.

7.4.1. Controles previos:

Los controles previos de la puesta en obra de una mezcla bituminosa templada se basan en la comprobación de la superficie existente y en la ejecución del tramo de prueba.

7.4.1.1. Comprobación de la superficie existente:

Al igual que para el resto de mezclas, no se iniciarán los trabajos de puesta en obra de las MBT hasta que no se haya verificado que la superficie donde se colocarán cumple los requisitos especificados en su Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares o en su defecto en el PG-3 y que se refieren a:

- Compactación y capacidad de soporte.
- Regularidad superficial.
- Homogeneidad de la superficie.
- Dotación y tipo de riego de adherencia a emplear, si procede
- Etc

7.4.1.2. Tramo de prueba:

En este tipo de mezclas, el tramo de prueba es fundamental para asegurar una ejecución correcta de la unidad de obra, ya que permite verificar el procedimiento adecuado de puesta en obra y algunas características superficiales finales de la capa, en su caso.



Foto 11. Amasadas de prueba

En el tramo de prueba debe quedar definido:

- el esquema a adoptar para la compactación de la MBTE (disposición de los compactadores, número de pasadas de cada uno, rango de temperaturas,...) y grado de compactación alcanzado. Para ello, es adecuado el empleo de aparatos de lectura inmediata de densidad como son los gamma-densímetros. Cuando sea posible, se extraerán probetas testigo, para verificar las densidades anteriores.
- las características superficiales de la capa extendida, tales como regularidad superficial y macrotextura en su caso.

7.4.2. Controles durante la ejecución:

Los controles de calidad de la puesta en obra de cualquier tipo de mezcla bituminosa tienen como objetivos garantizar una correcta extensión y compactación. La puesta en obra de las MBTE presenta alguna particularidad, como el control de la humedad residual.

7.4.2.1. Extensión.

Los controles que se realizarán serán:

- Control del aspecto y temperatura de las mezclas antes de su descarga a la tolva de recepción de la extendedora.
- Que la extensión se realice de acuerdo a lo aprobado en el tramo de prueba.
- Control de los espesores.
- Control de la humedad residual de la mezcla.

Se tomarán, en su caso, muestras de las mezclas para la confección de probetas, que se prepararán tal y como se haya definido en la fórmula de trabajo y que servirán para control de sus características, en base al plan de calidad establecido.

7.4.2.2. Compactación:

Al igual que para la extensión, los controles, verificarán que se cumple lo especificado en el tramo de prueba:

- El número y tipo de compactadores.
- El funcionamiento de los dispositivos de humectación, limpieza y protección.
- El lastre, peso total y, en su caso, presión de inflado de los compactadores.
- La frecuencia y amplitud de los compactadores vibratorios.
- El número de pasadas de cada compactador.



Fotos 14 y 15 Control de la compactación del tramo de prueba con gamma densímetros y probetas testigo



Se medirán las temperaturas de la mezcla antes y después de la compactación, procurando respetar siempre el rango de temperatura fijado en el tramo de prueba, especialmente en lo que se refiere a la temperatura mínima de compactación

En caso de que las condiciones climatológicas varíen durante la ejecución de la obra respecto a las existentes durante la realización del tramo de prueba, se deberá adaptar el esquema de compactación a esas nuevas condiciones.

Foto 13. Compactación de MBTE



7.4.3. Control de recepción de la unidad terminada.

El control de la unidad terminada tiene por objeto verificar que la unidad de obra se ha ejecutado de acuerdo con lo solicitado en el proyecto.

El control de la unidad terminada se realiza según un criterio de lotes que se aprueban o rechazan en bloque.

Los tamaños de lotes y ensayos por lote para las mezclas bituminosas templadas pueden ser los mismos que los establecidos en los artículos 542.9.4 y 543.9.4 del PG-3, recogidos en la Orden Circular 24/2008

Se determinarán:

- Espesores y compactación, en base a densidad o huecos, sobre probetas testigo
- Se determinará la regularidad superficial, (IRI).
- En las capas de rodadura específicamente, la macrotextura y resistencia al deslizamiento



Foto 16 Control de la macrotextura de una MBTE

7.5. Control de calidad de las mezclas templadas recicladas

El control de calidad de los reciclados templados con emulsión sigue los mismos criterios que los indicados para las mezclas templadas, así como algunos de los establecidos en el art. 22 del PG-4, por incluir en su composición material recuperado de mezclas bituminosas (MRMB) o procedente del fresado.

7.5.1. Control del MRMB en bruto

Definido como el material transportado a las instalaciones de fabricación después de fresado o demolición.

Se tomarán muestras del material bituminoso a reciclar con objeto de analizar su homogeneidad y caracterizar los acopios. En dicho sentido sería muy recomendable, que la frecuencia de muestreo en caso de diferentes procedencias del MRMB, fuera mayor que en el caso de que la procedencia del mismo, fuera fija y conocida.

Se tomará como referencia para este control lo indicado en el Art. 22.2.3 del PG-4.

Sobre las muestras tomadas, se realizarán los siguientes ensayos: granulometría del material, contenido de ligante y granulometría de los áridos recuperados. Además se determinará también la consistencia del ligante recuperado mediante ensayos de penetración y punto de reblandecimiento.

Se desechará el material que no cumpla con los límites de tolerancias de granulometría y de contenido de ligante establecidos en el plan de calidad o normativa aplicable.

7.5.2. Control del MRMB tratado y, en su caso, clasificado

Sobre cada acopio que se utilice se realizarán los siguientes ensayos: granulometría del material disgregado, contenido de ligante, granulometría de los áridos recuperados y consistencia del ligante recuperado.

7.5.3. Control de fabricación de la mezcla templada reciclada:

Al comenzar la fabricación, y especialmente, cuando se produzcan precipitaciones atmosféricas, se determinará la humedad de los materiales a tratar, especialmente el MRMB, tanto en la tolva o cinta de carga desde el acopio, como en la descarga de la tolva de dosificación y alimentación al mezclador (dependiendo del tipo de central de fabricación), y en cualquier caso, siempre antes de la entrada del material a los elementos de pesaje y calentamiento de la planta.

En su caso, se tomará muestra del material reciclado sin árido de aporte después de su paso por los elementos de calentamiento de la planta, y se determinará su granulometría, con el fin de compararla con la granulometría original del material.

Se tomará muestra de la mezcla de áridos nuevos (si procede) en frío antes de su entrada en los elementos de pesaje y calentamiento de la planta, y se efectuarán los siguientes ensayos: análisis granulométrico del árido combinado, equivalente de arena (y en su caso el índice de azul de metileno) del árido combinado y contenido de humedad de los áridos.



Figura 17 Mezcla templada reciclada a tasa total. Toma de testigos (24 horas después de extendido)

8. CAMPOS DE APLICACIÓN.

Los posibles campos de aplicación de las mezclas templadas, quedarán condicionados por la tipología de mezcla que se trate, atendiendo fundamentalmente a la granulometría elegida, así como a la emulsión considerada en la composición de la misma, buscando las prestaciones requeridas en cada una de las aplicaciones.

8.1. Mezclas templadas abiertas, porosas y discontinuas tipo BBTM-B:

Como se ha referido a lo largo del documento, las mezclas con granulometrías abiertas templadas, tienen como objeto, mejorar las prestaciones de las mezclas abiertas en frío tradicionales, especialmente en lo relativo al tiempo de apertura al tráfico y a la cohesión de la misma. En este grupo de mezclas, podríamos incluir aquellas que presentan un importante número de huecos en su composición, y por lo tanto cierta criticidad en la cohesión

8.1.1. Mezclas templadas abiertas

Se podría considerar como campo de aplicación de las mezclas templadas abiertas, las mismas aplicaciones consideradas para las mezclas abiertas en frío, en el entendido caso de que mantendrán las mismas bondades de éstas en cuanto a flexibilidad y adaptación al soporte de aplicación, mejorando los tiempos de apertura al tráfico, sin riesgo de deformaciones ni falta de cohesión inicial.

Adicionalmente, por sus prestaciones podría plantearse su empleo en las mismas aplicaciones que tienen las mezclas abiertas en caliente.

Las mezclas templadas abiertas pueden ser una de las técnicas más versátiles a ser utilizadas en nuestras carreteras. Son mezclas que trabajan por rozamiento interno siendo sus principales aplicaciones las siguientes:

- Capas de rodadura:

Estas mezclas pueden cubrir gran parte de nuestras carreteras con diferentes categorías de tráfico. Una correcta selección de áridos limpios que cumplan con las especificaciones de calidad (CPA, Desgaste Los Angeles, lajas, etc.) y la utilización de emulsiones bituminosas modificadas permitiría contemplar su uso en las vías con tráficos elevados, con total garantía y con apertura al tráfico prácticamente inmediata. De hecho, ya ha habido experiencias satisfactorias en este sentido. Su gran flexibilidad para adaptarse a las deformaciones de la capa subyacente hace que sean muy recomendables en pavimentos con bases deformables.

- Capa intermedia:

En firmes de nueva construcción podrían utilizarse mezclas templadas abiertas para cubrir bien con otra mezcla abierta más fina en rodadura, o bien con un microaglomerado en frío, obteniéndose una buena cohesión inicial y las prestaciones adecuadas para este tipo de capas.

- Antifisuras:

Por su elevado contenido en huecos y la posibilidad de emplear mayores contenidos de ligante residual, la extensión de una capa de mezcla templada abierta retrasará la aparición de fisuras en la superficie. Sobre ella, y como rodadura, podría colocar-

se una mezcla templada cerrada o una mezcla en caliente.

- Bacheos y reposiciones en fresados localizados:



Foto 9. Extendido mezcla templada abierta en bacheo

Es una de las operaciones de conservación ordinaria con la que se pretende subsanar pequeños deterioros en el inicio de su aparición, para evitar una mayor degradación del firme. Con las mezclas bituminosas templadas abiertas se puede reparar cualquier bache de pavimentos flexibles. También es muy adecuado su empleo en la reparación de deterioros de mezclas porosas en caliente.

8.1.2. Mezclas templadas porosas

La principal aplicación, por la funcionalidad de este tipo de mezclas, es en capas de rodadura drenantes (o en rodadura + intermedia cuando se consideren sistemas dobles drenantes o "twin-layer").

Estas mezclas presentan una serie de ventajas muy interesantes. Mejoran claramente la seguridad de la rodadura al evitar o al menos disminuir sensiblemente, la presencia de agua en el pavimento. También son mezclas que tienen un nivel sonoro de la rodadura menor que el correspondiente a las mezclas cerradas, lo que las hace muy interesantes para su empleo en firmes urbanos. Esta característica, unida a una buena

regularidad superficial, produce un elevado grado de confort al usuario.

Para definir aquellos casos donde puede ser mas interesante colocar una capa con mezcla templada porosa, hay que tener en cuenta dos de las características fundamentales de estas mezclas, su flexibilidad y resistencia a la fatiga, como consecuencia del menor grado de envejecimiento del ligante, durante el proceso de fabricación de las mezclas. En aquellos pavimentos en los que la capa de rodadura drenante a construir en un firme flexible, vaya a estar sometida a esfuerzos de fatiga importantes, estas mezclas presentarán un comportamiento muy adecuado.

8.1.3. Mezclas templadas discontinuas tipo B.

Aunque no existen experiencias de aplicación en obra de este tipo de mezclas templadas, se considera que serían adecuadas para ser aplicadas en capa de rodadura y, fabricadas con emulsiones modificadas, podrían llegar a alcanzar prestaciones similares a las de las mezclas discontinuas en caliente. Su principal aplicación sería la construcción de capas de rodadura, con unas buenas características de macrotextura, que permitan la circulación de los vehículos de una forma cómoda y segura. Adicionalmente a granulometrías del tipo BBTM-B, para ser extendida en capa fina, también se está experimentando con granulometrías del tipo SMA.

8.2. Mezclas templadas cerradas o del tipo hormigón bituminoso.

El campo de aplicación de estas mezclas, podría ser el mismo que el de las mezclas bituminosas en caliente del tipo AC (Asphalt Concrete) correspondientes a la

norma UNE-EN 13108-1, recogidas en el artículo 542 “Mezclas Bituminosas en caliente tipo hormigón bituminoso”. del PG-3, recogidos en la Orden Circular 24/2008. Hasta la fecha de redacción de este documento, no se dispone de experiencias en tráfico T00 y T1, si bien no se descarta su empleo para vías con dicho tráfico, una vez evaluada su idoneidad. Para ello, será necesario caracterizar el módulo, deformabilidad y resistencia a la fatiga de las mismas.

Podría ser evaluada cualquier granulometría de las recogidas en la UNE-EN 13108-1, a saber AC D, AC S y AC G.



Foto 9. Extendido mezcla templada cerrada en intermedia

Los resultados de módulo, deformabilidad y resistencia a la fatiga de las mezclas condicionarán su empleo en capa de rodadura, capa intermedia o capa de base, según tráfico y espesores de capa considerados.

8.3. Mezcla templada reciclada.

Las mezclas fabricadas mediante el empleo de material fresado obtenido de demolición de capas bituminosas del firme (MRMB), son mezclas muy amigables con el medioambiente. Si adicionalmente se considera su empleo con técnicas templadas, la menor temperatura de fabricación y aplicación, posiciona a esta técnica muy favorablemente en la evaluación de su impacto ambiental



Foto 19. Mezcla Templada Reciclada R80

La diferente proporción de material fresado en la mezcla, condicionará las características de ésta, su fabricación, su aplicación, y el tipo de emulsión a emplear. Así, se distingue entre reciclados templados de baja tasa, de media tasa, de alta tasa y de tasa total.

Las granulometrías de referencia para este tipo de mezclas recicladas, son las correspondientes a las del tipo hormigón bituminoso, y tal y como se ha mencionado en las mezclas templadas cerradas. Su aplicación vendrá condicionada necesariamente por los valores de módulo, deformabilidad y resistencia a fatiga. Tras su evaluación, podrá considerarse su empleo en las diferentes capas del firme y adicionalmente, en función de tráfico y espesores.



Foto 20. Mezcla Templada Reciclada R100

9. CONCLUSIONES.

Las mezclas templadas con emulsión bituminosa permiten reducir sensiblemente las temperaturas de fabricación y puesta en obra, ya que se fabrican, extienden y compactan a temperaturas inferiores a 100 °C. La tecnología de las mezclas templadas es aplicable a todos los tipos de mezclas existentes: hormigones bituminosos, mezclas discontinuas en capa delgada, mezclas drenantes, mezclas tipo SMA, etc., así como al reciclado, lo que posibilita su aplicación generalizada en la construcción y rehabilitación de firmes.

Las mezclas templadas constituyen en la actualidad el mejor compromiso entre las mezclas en caliente y en frío, tanto a nivel prestacional como medioambiental, posicionándolas como una alternativa eficaz en la pavimentación de firmes de carreteras.

Esta monografía sobre las mezclas templadas ha pretendido recoger el estado del arte en cuanto a los conocimientos y experiencias que se han realizado en nuestro país. Tiene como objetivo apoyar técnicamente a todos los profesionales involucrados en obras de carreteras, ya sea en el proyecto, la construcción, la conserva-

ción, la asistencia técnica y el control de calidad, para facilitar la aplicación de estas nuevas técnicas.

La monografía, define cada uno de los tipos de mezclas templadas, las características de los materiales básicos constituyentes, los procedimientos de dosificación, las plantas de fabricación y equipos de puesta en obra, los procedimientos de control de calidad, así como los campos de aplicación.

En definitiva, se pretende que este documento sirva para transmitir los conocimientos existentes, definir los procedimientos más adecuados en cada caso y unificar criterios. Por tanto, se trata de un documento inicial que puede servir como punto de partida para impulsar el empleo de estas técnicas. Esto, sin duda, ayudará a mejorar los conocimientos existentes y aumentar nuestra experiencia, de forma que pueda ser la base de una futura propuesta de especificaciones españolas para las mezclas templadas. A su vez, puede ser empleado para una futura normativa europea, que considere la abundante experiencia que sobre estas mezclas, se dispone en España. Igualmente, pretende ser un documento que sirva de referencia, a aquellos legisladores, que deseen normalizar este tipo de mezclas para emplearlas en sus carreteras.

Además de la reducción de la temperatura de puesta en obra como objetivo, el empleo de estas técnicas permite obtener mezclas que aúnan los aspectos positivos de las mezclas en caliente y en frío, pudiéndose fabricar prácticamente todos los tipos de mezclas que se emplean en España.

Con carácter general, destaca en este tipo de mezclas, la reducción de

emisiones durante su fabricación, una mayor eficiencia energética y la mejora en las condiciones de trabajo de los operarios.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

- Recomendaciones para la redacción de: Pliegos de especificaciones técnicas para el uso de mezclas bituminosas a bajas temperaturas. AOPJA. Año 2012.
- Influencia de la temperatura en las propiedades mecánicas del reciclado en frío con emulsión bituminosa. F. Guisado, J.L. Santiago, A. Páez, M. Ayala. CILA 2011, Revista Asfalto y Pavimentación nº1 y VI Jornada Nacional Asefma. Año 2011.
- Innovaciones en tecnología en frío. J. A. Soto. Ateb.
- Mezclas Templadas Abiertas, Porosas y Discontinuas. J.L. Pradas, F.J.Lucas, J. Fraga, A. Pérez, Vyodeal XXI Vyodeal, Año 2011
- Mezclas bituminosas a baja temperatura: mezclas en frío, templadas y semicalientes. A. Bardesi, J.A. Soto. Revista Carreteras Número 169. Año 2010
- Monografías ATEB: Las emulsiones de betún. Su química y su física, Mezclas abiertas en frío y Reciclados en frío.
- Panorámica general de mezclas a baja temperatura. Reciclado templado con emulsión bituminosa J.A. Soto, M.M Colas, Jornada Técnica Mezclas Bituminosas Adaptadas al Cambio Climático, Valladolid 2010
- Mezclas bituminosas templadas F.J. Lucas, S. Torres, Jornada

Técnica Mezclas Bituminosas
Adaptadas al Cambio Climático,
Valladolid 2010

- Normativa sobre emulsiones bituminosas (UNE-EN 13808 y anexo nacional UNE-EN 13808/1M)
- Pliego Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG3): Art. 542, 543. Pliego Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes (PG4).
- Reciclados con ligantes bituminosos. Comparación entre reciclar en frío, in situ, semicaliente y caliente. J. A. Soto. VII Congreso Nacional de Firmes. Año 2006.
- Reciclado Total de Mezclas Bituminosas a Bajas Temperaturas. Una propuesta para su diseño, caracterización y producción. J.L. Santiago, F. Guisado, E. Moreno y A. Paéz. VI Jornada Nacional Asefma 2011
- Rehabilitación sostenible de pavimentos: innovaciones en tecnología y desarrollos d mezclas para aprovechamiento total de materiales con bajo consumo de energía. J.L. Santiago. F. Guisado. VI Congreso Nacional de la Ingeniería Civil. Valencia. Año 2011.
- XV CILA. Fabricación y puesta en obra de un reciclado templado con emulsión bituminosa. A. García, J.A. Soto. Año 2010.
- IV Jornada Nacional ASEFMA. Sistemas de fabricación de mezclas Semicalientes y Templadas. R. Tomás. Año 2009.

ANEXO I. TABLA I. RELACIÓN DE EJEMPLOS DE OBRAS DE MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN DE GRANULOMETRÍA ABIERTA REALIZADAS EN ESPAÑA.

Obra	Administración	Zona	Tipo de mezcla	Tn	Tipo de emulsión	Dotación emulsión	Tipo de áridos
Autopista A-9.	Audasa	La Coruña, Santiago	PA-10		ECM-M	7% s/a	
AV-922	Junta CyL	Ávila	PA-12	6500	ECM-m	7% s/a	Pórfido
Morata de Jalón Porroy	Diputación	Zaragoza	AF-12	3.300	ECM Especial	-	Silíceos
GI-3481 Asteasu a Larraul	Diputación	Guipúz.	GF-12	700	ECM-m	7% s/a	Escoria Negra
GI-3652 Al barrio de San Andrés y Urkiazelai	Diputación	Placencia de las Armas (Guipúz.)	GF-12R80	380	ECL 2m	3,5% s/a	Ofíticos
Conserv de carreteras	Diputación	Girona	MBT Abierta	10.000	C67BF4	6,0 % s/a	Caliza
Carretera LU-150	Xunta Galicia	Lugo	MBT Abierta 25	15.000	C67BF4	4,0 % s/a	Granito
Carretera LU-25	Xunta Galicia	Lugo	MBT Abierta 12	10.000	C67BF4	6 % s/a	Granito
Muñico	Diputación	Ávila	MBT BBTM 16	5.000	C67BF4	7,0 % s/a	Pórfido
CL-600	Junta CyL	Valladolid	BBTM 16 B	600	C67BF4	7,2 % s/a	Pórfido
CO 4303 y CO 4304	Diputación	T.M. La Carlota; Córdoba	PA16 Surf	6.500	C67BF4	6,5% s/a	Silíceas
A 3200, El Guijo-Santa Eufemia	Junta de Andalucía	El Guijo; Córdoba	PA16 Surf	15.000	C67BF4	6,5% s/a	Silíceas
A-3100 Villanueva de Córdoba	Junta de Andalucía	Villanueva de Córdoba;	PA16 Surf	15.000	C67BF4	6,5% s/a	Silíceas

ANEXO II. TABLA II. RELACIÓN DE EJEMPLOS DE OBRAS DE MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN DE GRANULOMETRÍA CERRADA REALIZADAS EN ESPAÑA Y PORTUGAL.

Obra	Administración	Zona	Tipo de mezcla	Tn	Tipo de emulsión	Dotación de emulsión	Tipo de áridos
A-435; de N-502 a T.M. Pozoblanco	Junta de Andalucía	Córdoba	AC22 Base G	15.000	C69B3	5,7% s/a	Caliza
A-435; de N-502 a T.M. Pozoblanco	Junta de Andalucía	Córdoba	AC16 BIN S	14.000	C69B3	6% s/a	Caliza
A-435; de N-502 a T.M. Pozoblanco	Junta de Andalucía	Córdoba	AC16 Surf S	14.000	C69B3	7% s/a	Caliza / Silíceas
CR500	Junta CLM	Ciudad Real	AC16 Surf S	15.000	C69B3	7,25 % s/a	Basalto
CL-600	Junta CyL	Valladolid	AC22 Surf S	600	C69B3	6,6 % s/a	Pórfido
A1 –Pombal a Condeixa	-	Portugal	Reciclado Templado RE2	500	C60B6 REC	-	100% Fresado
EN 205 Pk 3+500 a Pk 6+130	-	Portugal	Reciclado Templado RE2	2.600	C60B6 REC	-	100% Fresado
EN 205 y EN 206 (Famalicão)	-	Portugal	Reciclado Templado RE2		C60B6 REC	-	100% Fresado
EN 244- Ponte de Sôr (Km 58+380) e EN 118 (82+544)	-	Portugal	Reciclado Templado RE2	33.000	C60B6 REC	3% s/a	100% Fresado
CL-600	Junta CyL	Valladolid	Rec Templado RE2	1.600	C60B6 REC	3% s/a	100% Fresado
A-1	Ministerio de Fomento	Burgos	AC16 D	770	C65B3	2,5%-3%	100% Fresado
A-231	Junta CyL	Palencia	AC16 D	415	C65B3	2,50%	100% Fresado
A-231	Junta CyL	Palencia	AC 22 G	9.400	C67B3	3,2%	50% Fresado

ANEXO III.

PROTOCOLO DE TOMA DE MUESTRAS DE MEZCLAS BITUMINOSAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN (MBTE)

Uno de los aspectos más importantes en el control de fabricación y ejecución de mezclas bituminosas es la calidad en la toma de muestras, ya que deben ser fiel reflejo de la misma, para poder realizar una caracterización fidedigna con respecto al material original.

La toma de muestras de una mezcla puede tener varios aspectos críticos, que dependerán de la morfología de la mezcla, campo de aplicación, modo de fabricación y extensión, etc. Es decir debe ser adaptable a cada tipo de mezcla. En el caso concreto de las mezclas templadas con emulsión bituminosa, la presencia de agua y la temperatura del material establece una diferencia significativa respecto de mezclas en caliente.

Es necesario distinguir entre la toma de muestras en sí, y el tratamiento de las mismas previo a la realización de ensayos. En las normas UNE EN 12697-27 y NLT-348 se describe perfectamente la toma de muestras en diferentes circunstancias; acopios, camiones, sinfines, etc, aunque no se describe ningún procedimiento concreto para la conservación de las mismas. Del mismo modo la norma UNE EN 12697-28 menciona cómo debe ser el tratamiento de las muestras recibidas en laboratorio, para los ensayos de contenido de ligante, contenido de agua y granulometría.

Partiendo de estas normas de ensayo mencionadas, se darán a continuación unas recomendaciones del mantenimiento de las muestras tomadas de las MBTE.

1- Durante la toma de muestras

Es importante no alterar la temperatura ni el posible contenido de agua durante la toma de muestra, por lo que se prestará especial atención a que los elementos de toma de muestra no tengan trazas de humedad o elementos extraños, y que además tengan una temperatura inferior a la de la muestra. Si se produce escurrimiento de emulsión o mojado de los elementos durante la toma de muestra, se debe tratar de incluir estos en la muestra, anotando tal efecto en la información aportada junto con la muestra.

Las muestras tomadas, con los tamaños y proporciones recogidas en las normas descritas anteriormente se deben conservar de la siguiente manera:

- El elemento en el que vayan a ser transportadas debe estar dotado de un cierre hermético para impedir la evaporación de agua.
- Al mismo tiempo debe tener una forma y consistencia adecuadas para contener en su totalidad a la muestra y no producir compactaciones indeseadas.
- La muestra recogida debe introducirse en el contenedor y proceder a su sellado con la máxima rapidez posible con el fin de evitar pérdidas de agua.
- El transporte de la mezcla se realizará en el menor tiempo posible y se evitarán apilamientos excesivos que puedan deformar los envases.

2- Preparación del material en el laboratorio

Durante la manipulación del material previa a la realización del ensayo, y debido a que normalmente se toman muestras de tamaño superior a las muestras de ensayo, durante la división de la misma se debe tener en cuenta:

- La muestra destinada a realizar ensayos de contenido en agua, y siempre dentro de lo posible, debe ser dividida con el menor calentamiento posible, y nunca debe ser recalentada por encima de 40°C. Se puede utilizar para la determinación del contenido de agua la norma UNE EN 12697-14, si bien para un control rápido en obra, se puede determinar por secado en estufa a 110°C hasta masa constante. (En el caso de mezclas en las que su composición comprenda algún tipo de disolvente, este último método no será válido).
- La muestra destinada a realizar ensayos de contenido de ligante, y después de la división, será sometida a un proceso de eliminación de agua siguiendo la norma de ensayo UNE EN 12697-1, apartado 6. Para los cálculos de determinación de ligante, se tendrán en cuenta los resultados obtenidos de contenido de agua sobre la muestra, del párrafo anterior. Los ensayos que se pueden aplicar para el contenido de ligante son UNE EN 12697-1, 12697-2 para la granulometría del árido extraído, UNE EN 12697-39, preferentemente, aunque también

se puede utilizar la norma NLT-164.

- La muestra destinada a realizar ensayos de compactación, fabricación de probetas, etc nunca será recalentada en su manipulación, por encima de la temperatura de compactación prescrita en la fórmula de trabajo, y en cualquier caso durante el tiempo mínimo necesario para que alcance esa temperatura de modo uniforme en el seno de la muestra y dentro de contenedores sellados para evitar en lo posible la pérdida de agua.

3- Toma de testigos

Los testigos se obtendrán por los métodos y útiles convencionales. Los tiempos para poder tomar testigos de obra, después de la ejecución de la mezcla dependerán en gran medida de los posibles procesos de curado de las MBTE. Para ello hay que distinguir claramente entre dos situaciones: MBTE con fluidificantes o sin ellos en su composición.

En las mezclas sin fluidificante, la toma de testigos se podrá hacer normalmente a las 24-48 h de su ejecución.

Para el caso de mezclas con fluidificantes, la toma de testigos se realizará cuando el curado de la mezcla permita que los testigos sean íntegros. Este tiempo dependerá en gran medida de las características del fluidificante, textura, rugosidad y espesor de la mezcla y condiciones climáticas, por lo que no se puede dar una orientación exacta del mismo.



Asociación Técnica de Emulsiones Bituminosas

C/ San Severo, 18
28042 – Madrid (España)
Teléfono : 91/329.17.37
Fax : 91/329.28.66

E-mail: gerencia@ateb.es
www.ateb.es