

**IAG314-06-2013**  
**MONOGRAFÍA ATEB SOBRE MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN**  
**ATEB MONOGRAFIA SOBRE MISTURA TEMPERADO COM A**  
**EMULSÃO**

M<sup>a</sup> del Mar Colás Victoria  
Jacinto García Santiago  
Francisco Lucas  
Daniel Andaluz  
Lucía Miranda  
Manuel Salas  
Nuria Uguet  
Asociación Técnica de Emulsiones (ATEB),  
Madrid, España

## **Resumen**

Esta monografía, pretende recoger el estado del arte en cuanto a los conocimientos, experiencias e investigaciones que se han realizado en España sobre las Mezclas Templadas con Emulsión. Su objetivo es ayudar a todos los técnicos involucrados en obras de carreteras, ya sea en el proyecto, la construcción, la conservación, la asistencia técnica, el control de calidad, para conseguir el máximo provecho de estas nuevas técnicas. La monografía elaborada dentro de la Asociación Técnica de Emulsiones describe la tecnología de mezclas templadas con emulsión, basándose en las experiencias realizadas hasta la fecha, recogiendo todos 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.

## **Resumo**

Esta monografía tem como objetivo capturar o estado da arte em termos de conhecimento, experiência e pesquisa que tem sido realizado na Espanha em Temperado Misturado com emulsão. Seu objetivo é ajudar a todos os técnicos envolvidos em obras rodoviárias, seja na concepção, construção, manutenção, suporte técnico, controle de qualidade, para tirar o máximo proveito dessas novas técnicas. A monografia desenvolvida no âmbito da Associação Técnica da tecnologia descrita Emulsões misturas quentes, com emulsão, com base na experiência até à data, pegando todos os tipos de quente mistura as características dos componentes de materiais básicos, os procedimentos, a dosagem fábricas e equipamentos de postura, os procedimentos de controle de qualidade, e os campos de aplicação.

## **1. INTRODUCCION**

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 frío no requieren el calentamiento de los áridos ni del ligante bituminoso, por lo que presentan una óptima huella ambiental. 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.

Son los siguientes:

- Las mezclas semicalientes permiten reducir las temperaturas de mezclado, extensión y compactación entre 20° C y 40° C respecto a sus homólogos en caliente.

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

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 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.

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.

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.

## **2. DEFINICIÓN Y TIPOS DE MEZCLAS TEMPLADAS CON EMULSIÓN**

### **2.1. 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

## **2.2. Tipos**

### **2.2.1. 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 10% 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.

### **2.2.2. Mezclas templadas abiertas**

Se define como mezclas templadas abiertas a la combinación homogénea de áridos (que incluyen una baja proporción de finos o 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 10%.

#### **2.2.2.1. 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).

#### **2.2.2.2. 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)

### **2.2.3. Mezcla templada reciclada**

Se define como mezcla templada reciclada la combinación homogénea de material resultante del fresado o demolición de una o 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.

#### 2.2.3.1. 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 granulo-métrica 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

#### 2.2.3.2. 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.

#### 2.2.3.3. Mezcla templada reciclada de tasa media

Es la mezcla compuesta generalmente por una cantidad superior al 20% 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.

### **3. 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.

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 granulo-métrica 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/cm<sup>3</sup>), los contenidos mínimos de ligante se deben corregir multiplicando por el factor

$$\alpha = 2.65/Pd$$

donde Pd 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 empleará la cantidad de emulsión que proporcione un porcentaje de ligante residual igual al contenido mínimo exigido en la tablas 1 y 3. La emulsión elegida debe presentar una envuelta “buena”, es decir, una cubrición completa de la superficie de los áridos.

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

### **3.1. 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 homólogos 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.

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 (o 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 1: Dotación mínima de ligante hidrocarbonado (betún residual).**

<b>Tipo de mezcla</b>	<b>% en masa sobre el total de mezcla</b>
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 1. 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 curarán 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 2.

**Tabla 2: Huecos volumétricos de probetas compactadas.**

<b>Tipo de mezcla</b>	<b>% de huecos</b>
-----------------------	--------------------

BBTM B	$\geq 12$
Drenante (PA) y tipo A	$\geq 20$

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

### 3.2. 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:
- 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 3. 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.

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.

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 4. 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 3. 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*	$\geq 4.7$	$\geq 4.50$
Intermedia	$\geq 4.2$	$\geq 4.00$
Base	$\geq 3.8$	$\geq 3.65$

\* 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 especificada 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 4. % 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 median-te 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 (equiva-lente 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 compacta-dora giratoria, para la determinación del contenido de huecos.

### **3.3. Diseño de mezclas templadas recicladas**

Las mezclas templadas recicladas se diseñan siguiendo unas pautas y criterios similares a los empleados para las mezclas recicladas en caliente, 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

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

Se recomienda aplicar la misma metodología indicada 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.

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. 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.

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.

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.

#### **4. FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA**

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.

En la fabricación de las mezclas templadas existen condicionantes particulares que introducen diferencias en el proceso y requieren instalaciones con ciertas especificidades o adaptaciones. Todo ello queda descrito en la Monografía con detalle

#### **5. CONTROL DE CALIDAD**

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, la Monografía dedica a estas mezclas templadas recicladas, un apartado específico dedicado a su control de calidad.

#### **6. 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.

La monografía, define para cada tipo de mezcla templada, los campos de aplicación en capas de rodadura, intermedias, bacheos, mezclas antifisuras, reciclado,...

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

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.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabajo ha sido realizado por el Grupo de Trabajo sobre Mezclas Templadas de ATEB y revisado por el Comité Técnico.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- 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.
- Warm-Mix Asphalt: European Practice American Association of State Highway and Transportation Officials. National Cooperative Highway. Research Program. FEBRUARY 2008
- 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 bitu-minosas (UNE-EN 13808 y anexo nacional UNE-EN 13808/1M)
- 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
- Recomendaciones para la redac-ción de: Pliegos de especificacio-nes técnicas para el uso de mez-clas bituminosas a bajas tempera-turas. AOPJA. Año 2012
- Rehabilitación sostenible de pavimentos: innovaciones en tecnología y desarrollos d mezclas para aprovechamiento total de materia-les con bajo consumo de energía. J.L. Santiago. F. Guisado. VI Con-greso 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.