

Ruta hacia una economía circular

# DESARROLLO DE EMULSIONES PARA MEZCLAS TEMPLADAS DE MEJORES PRESTACIONES

## AUTORES

Vicente Pérez Mena  
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Cepsa Comercial Petróleo

María del Mar Colás Victoria  
Licenciada en Ciencias Químicas, Cepsa Comercial Petróleo

Antonio García Siller  
Ingeniero Técnico Industrial, Cepsa Comercial Petróleo

## EN COLABORACIÓN CON

Jorge Ortiz Ripoll  
Ingeniero de Caminos. Responsable de I+D+i en BENITO ARNÓ

Xavier Crisen Grau  
Ingeniero Técnico de Obras Públicas, Benito ARNÓ

Autor de contacto: [marimar.colas@cepsa.com](mailto:marimar.colas@cepsa.com)



## RESUMEN

Las técnicas de fabricación de mezclas asfálticas a baja temperatura suponen un importante avance en su desarrollo por el menor consumo de combustibles en su fabricación y por su contribución a la disminución del impacto ambiental.

Especialmente interesante puede resultar la fabricación de mezclas templadas con emulsión bituminosa a temperaturas en torno a los 100 °C, ya que las emisiones generadas son bastante inferiores a las de las mezclas en caliente, permitiendo medias y altas tasas de fresado que contribuirían a una mayor ecoeficiencia.

No obstante, debido a diversos factores, las prestaciones de las mezclas templadas no llegan siempre a alcanzar las de las mezclas en caliente, especialmente cuando se utilizan betunes modificados.

Las mezclas templadas pueden presentar un comportamiento mecánico tan satisfactorio como el de las mezclas en caliente lo que las hace adecuadas para soportar las sollicitaciones del tráfico pesado y que puedan ser tenidas en cuenta como una solución innovadora y medioambiental muy interesante para la pavimentación de los firmes asfálticos.

Aunque no existen aún muchas experiencias de aplicación en obra de mezclas templadas discontinuas, se considera que estas serían adecuadas para ser aplicadas en capa de rodadura y que, fabricadas con emulsiones modificadas, podrían alcanzar prestaciones similares a las de las mezclas discontinuas en caliente.

En esta comunicación se presentan los avances realizados en el desarrollo de emulsiones modificadas especialmente diseñadas para la fabricación de mezclas templadas de alto desempeño, y su aplicación en mezclas continuas, tipo AC y discontinuas tipo BBTM. El trabajo se ha realizado en el marco del proyecto REUTRANS para el desarrollo de mezclas bituminosas fabricadas a baja temperatura, que contemplan además la reutilización de materiales recuperados de pavimentos envejecidos, y que demuestre que son aptas para su empleo en capas de rodadura en vías de cualquier categoría de tráfico.

**Summary:** *The techniques of manufacture of asphalt mixtures at low temperature represent an important advance in their development due to the lower fuel consumption in their manufacture and their contribution to the reduction of the environmental impact.*

*Especially interesting is the production of half-warm mixes with bituminous emulsion at temperatures around 100°C, since the emissions generated are much lower than those of hot mixes, allowing medium and high RAP rates that would contribute to a greater ecoefficiency .*

*However, due to various factors, the performance of half-warm mixes does not always reach those of hot mixes, especially when polymer modified bitumens are used.*

*The half-warm mixes can present a mechanical behavior as satisfactory as that of the hot mixes which makes them suitable to withstand heavy traffic stresses and which can be taken into account as an innovative and very interesting environmental solution for asphalt paving the pavements.*

*Although there are not still many experiences of application in discontinuous half-warm mixes, it is considered that these would be suitable to be applied as the wearing course and that, manufactured with polymer modified emulsions, they could reach similar performances to those of discontinuous hot mixes.*

*This communication presents the advances made in the development of polymer modified emulsions specially designed for the manufacture of high performance half-warm mixes, and their application in continuous, type AC, and discontinuous, type BBTM, mixes. The work has been carried out within the framework of the REUTRANS project for the development of asphalt mixes manufactured at low temperature, which also contemplate the reuse of materials recovered from aged pavements, and which prove that they are suitable for use in different road courses at any traffic intensity.*

**Palabras clave:** : Baja temperatura, mezclas bituminosas templadas, material recuperado de pavimentos envejecidos, emulsión bituminosa, mejora prestacional.

**Key words:** Low temperature, half-warm bituminous mixes, reclaimed asphalt pavements (RAP), Bituminous emulsion, performance improvement

## 1.INTRODUCCIÓN

Aunque el lanzamiento como tal de las técnicas templadas ha tenido lugar hace poco más de una década, las mezclas bituminosas fabricadas en plantas en caliente pero utilizando como ligante una emulsión bituminosa ya se emplearon hace muchos lustros para dar solución a problemas de envuelta de áridos muy sucios o meteorizados, para conseguir una cohesión inicial más alta, reducir el consumo de emulsión de las mezclas por un mejor aprovechamiento de la misma, etc. Sin embargo, en la actualidad esta técnica se presenta como una opción muy interesante en base a los buenos resultados de las obras realizadas en lo referente a las características mecánicas de estas mezclas templadas y al empuje que se está dando a todas las técnicas que contribuyan a la sostenibilidad de los pavimentos asfálticos. Este proceso de fabricación permite una apertura al tráfico inmediata, eliminándose el periodo de maduración necesario en los reciclados en frío, antes de extender la siguiente capa del firme.

Por todo ello, el empleo de emulsiones bituminosas para la pavimentación de carreteras mediante técnicas templadas puede considerarse como una de las innovaciones más destacadas en los países industrializados. Estas técnicas se basan en la fabricación de las mezclas asfálticas a temperaturas inferiores a 100°C, gracias al empleo de emulsiones bituminosas, lo que supone una ventaja medioambiental por las menores emisiones que se generan hasta su aplicación y por el menor consumo de combustibles en su fabricación. Las mezclas templadas son mezclas asfálticas constituidas por una combinación específica de áridos calentados generalmente entre 90-110°C y una emulsión asfáltica, que será la

adecuada a cada aplicación. En sus inicios, la mayor experiencia se centró en mezclas drenantes y mezclas recicladas, si bien, comienza a haber experiencias también con mezclas cerradas continuas y discontinuas.

Las mezclas templadas presentan un comportamiento mecánico tan satisfactorio como el de algunas mezclas en caliente lo que las hace adecuadas para soportar las sollicitaciones del tráfico pesado y que puedan ser tenidas en cuenta como una solución innovadora y medioambiental muy interesante para la pavimentación de los firmes asfálticos.

No obstante, en algunos casos, no se consiguen las mismas prestaciones que con el caliente, principalmente porque el ligante residual de las emulsiones convencionales empleadas suele tener menor consistencia que los betunes empleados para fabricar mezclas en caliente.

Aunque no existen aún muchas experiencias de aplicación en obra de mezclas templadas discontinuas, se considera que estas serían adecuadas para ser aplicadas en capa de rodadura y que, 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.

Las empresas CEPSA y ARNÓ, han puesto en marcha un proyecto de investigación para desarrollar mezclas bituminosas fabricadas a baja temperatura (mezclas templadas o en frío) que contemplen además la reutilización de materiales recuperados por fresado de pavimentos envejecidos, para que pueda demostrar que son aptas para su empleo en capas de rodadura en vías de cualquier categoría de tráfico.

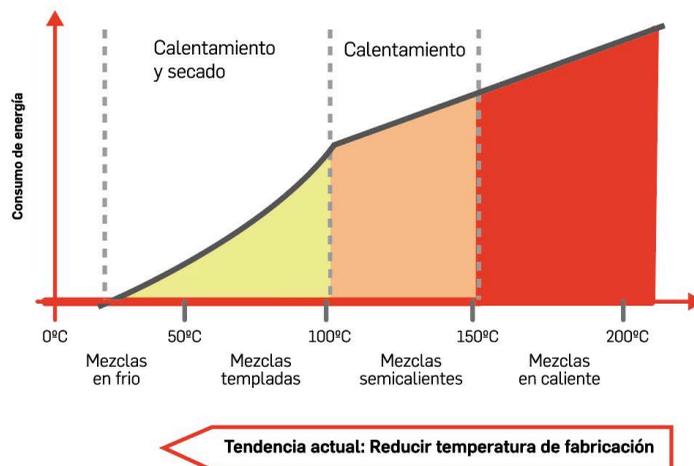
Con el nombre de REUTRANS, este proyecto ha sido calificado como mejor propuesta entre las más de 60 que fueron presentadas en la última convocatoria de la Agencia de Residuos de Cataluña, en el marco de su Programa de Fomento de la Economía Circular 2016. En 2017 se realizaron los ensayos de caracterización de materiales y de formulación de nuevos ligantes y mezclas bituminosas. Adicionalmente, durante el mes de Julio de 2017 se efectuaron las primeras pruebas de producción en central y extendido en el banco de pruebas de ARNÓ, donde se fabricaron y extendieron mezclas bituminosas templadas tipos AC y BBTM con diferentes tasas de reciclado. Los resultados se presentan en este trabajo. En 2018 se tiene previsto construir algún tramo experimental ya en carreteras abiertas al tráfico

## 2. OBJETIVO

El principal objetivo de las técnicas templadas es la reducción de las temperaturas de fabricación y puesta en obra de las mezclas bituminosas que tiene varios efectos beneficiosos. Por un lado, se pretende un ahorro económico considerable pues el consumo de combustible es uno de los factores de mayor peso en el coste de producción de las mezclas. Por otro, el menor consumo de combustibles supone una disminución lineal de las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>). Finalmente, la reducción de la temperatura supone unas condiciones de trabajo, especialmente para los operarios del extendido, mucho mejores que las habituales. Sin embargo, esta reducción de temperatura debe realizarse sin afectar de forma apreciable la calidad y las características mecánicas de las mezclas, lo que no es sencillo.

Para dar solución a este objetivo se lanzaron varias líneas de investigación entre las que podemos destacar, por su incidencia en nuestro país, la utilización de mezclas templadas, en las que se utiliza como ligante una emulsión bituminosa para fabricar mezclas en una planta en caliente, trabajándose a temperaturas en torno a 100 °C (véase en la Figura 1, donde se sitúan estas mezclas con respecto a otras en lo que se refiere a la temperatura de fabricación). El objetivo pretendido no es otro que fabricar mezclas asfálticas que aúnen las ventajas de las técnicas en caliente y de las técnicas en frío.

Figura 1: Clasificación de tipos de mezclas asfálticas por su temperatura de fabricación (Fuente: EAPA)



Con esta técnica, para la que en principio no está previsto hacer ninguna inversión importante, conseguiremos mezclas para las que se consuma menos energía durante su fabricación que para las técnicas en caliente, y que sus características mecánicas alcancen cotas similares a éstas, incluso en el caso de las mezclas habituales en las capas de rodadura.

## 3.MEZCLAS TEMPLADAS DE MEJORES PRESTACIONES

### 3.1 MEZCLAS TEMPLADAS DE ALTAS PRESTACIONES: GENERALIDADES

Son mezclas bituminosas, abiertas o cerradas, fabricadas en plantas de mezclas en caliente pero utilizando como ligantes una emulsión bituminosa modificada con polímeros elastoméricos. La emulsión podrá tener o no fluidificantes dependiendo del tipo de mezcla y capa del firme a la que se destine. En cualquier caso, el ligante residual tendrá, entre otras características, la de no escurrir a las temperaturas que se fabrique la mezcla y mejorar las prestaciones de las mezclas templadas con respecto a las 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.

Las mezclas bituminosas templadas continuas presentan granulometrías equivalentes a las del tipo Hormigón Bituminoso AC (Norma UNE-EN 13108-1), mientras que las mezclas bituminosas templadas discontinuas son aquellas cuyos áridos presentan una discontinuidad granulométrica muy acentuada en los tamaños inferiores del árido grueso. La granulometría correspondiente a este tipo de mezclas es la del tipo BBTM B (Norma UNE-EN 13108-2)

La temperatura de los áridos estará comprendida normalmente entre 85°C-95°C, realizándose la envuelta en el tambor de la planta continua o bien en el mezclador de las discontinuas. La emulsión se introducirá mediante una bomba convencional ya que la temperatura de ésta podrá estar comprendida entre 20°C-60°C dependiendo de la viscosidad de la emulsión a emplear.

Los áridos serán de machaqueo y cumplirán las mismas exigencias que se requieren para las mezclas bituminosas en caliente destinadas a capas de rodadura. También se podrá utilizar fresado de mezclas envejecidas acopiados en planta en proporciones inferiores al 20% de la mezcla.

La temperatura mínima de extendido y compactación de la mezcla podrá variar, según el tipo de mezcla rondaría los 60°C, pudiendo acopiarse en algunos casos durante 24 horas.

### 3.2 VENTAJAS DE LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS A BAJAS TEMPERATURAS

La reducción de la temperatura de fabricación de las mezclas bituminosas reúne un importante número de ventajas técnicas, económicas y ambientales, entre las que pueden citarse las siguientes:

1. Menor consumo de combustible, como consecuencia de una disminución de la demanda energética en la central de fabricación.
2. Menores emisiones de CO2 en la central, en correspondencia con el menor consumo de combustible citado.

3. Menores emisiones de humos y olores durante la fabricación, transporte y puesta en obra de la mezcla bituminosa, es decir, mejores condiciones de trabajo para los operarios ocupados en esas labores.
4. Menor envejecimiento a corto plazo del betún (que supone, habitualmente, la mayor proporción del envejecimiento total sufrido por un betún a lo largo de su vida útil) y, por tanto, mayor durabilidad de la mezcla bituminosa puesta en obra.
5. Mayor trabajabilidad de la mezcla bituminosa durante más tiempo, es decir, posibilidad de alcanzar mayores distancias de transporte y/o de prolongar las operaciones de compactación sin perjudicar las propiedades del pavimento construido.
6. Menor tiempo de enfriamiento hasta alcanzar la temperatura ambiente y, como consecuencia, menores esperas para permitir la circulación del tráfico sobre el nuevo pavimento construido.
7. Mayor facilidad para la incorporación de fresado y en tasas más elevadas, puesto que se reducen las necesidades de sobrecalentamiento de los áridos de nueva aportación para alcanzar la temperatura precisa en la mezcla.
8. Mejores expectativas para su futura reutilización: cabe esperar que las mezclas bituminosas templadas sean reciclables en mayores tasas y con menores necesidades de recurrir a betunes rejuvenecedores que las actuales mezclas bituminosas en caliente, gracias al menor envejecimiento del betún recuperado con la mezcla al final de la vida en servicio del pavimento.

Este conjunto de ventajas hace que las tecnologías de producción de mezclas bituminosas a bajas temperaturas deban considerarse entre las mejores técnicas disponibles, es decir, tecnologías económica y técnicamente viables, a las que puede acceder, capaces de evitar o reducir las emisiones y el impacto en el conjunto del medio ambiente (Directiva 2010/75/UE). Por esta razón constituyen, sin ninguna duda, una tendencia tecnológica actual en la producción de mezclas bituminosas.

Todas estas ventajas, unidas a la mejora en la calidad de los ligantes utilizados, como la contemplada en este proyecto, permitirá avanzar en el desarrollo de las mezclas templadas logrando las mejores prestaciones posibles para estos materiales.

## 4. ESTUDIO DE LAS MEZCLAS

Se debe partir de los materiales granulares a emplear, cuyas características detallaremos después. En el estudio se calientan estos previamente a 90°C, para hacer la mezcla con la emulsión mediante ensayos de envuelta en el laboratorio y fabricando después series de probetas con diferentes dosificaciones que se someten a los ensayos habituales de las mezclas en calientes, para determinar el óptimo de ligante residual a emplear en la mezcla.

Se estudiarán dos tipos de mezcla diferente una AC16 S R20 y una BBTM 11B R20, ambas fabricadas con áridos ofíticos y un 20 % de material recuperado por fresado de pavimentos envejecidos.

### 4.1 MATERIALES

En estas mezclas bituminosas templadas de mejores prestaciones, los componentes principales son los áridos, el material fresado y el ligante bituminoso (emulsión asfáltica modificada), pudiendo admitirse aditivos reguladores de la rotura de la emulsión y/o de adhesividad, en caso necesario.

Para el estudio que se presenta se utilizaron los siguientes materiales:

Áridos:

- Gravilla 12/20 de naturaleza ofítica (Cantera Soriana)
- Gravilla 5/11 de naturaleza ofítica (Cantera Soriana)
- Arena 0/6 de naturaleza ofítica (Cantera Soriana)

Material fresado:

El material fresado corresponde a una mezcla de diferentes capas de firmes asfálticos que se ha cribado en planta por una malla de 12,5 mm.

Realizada la recuperación de ligante de dicho fresado, se obtuvieron los siguientes resultados:

El contenido del ligante del material fresado era de 4,7 % s/ árido y sus características:

- Penetración: 4x 0,1 mm
- Punto de Reblandecimiento: 80,3°C

La granulometría del fresado (tras extracción del ligante) y de los áridos vírgenes se recogen en la Figura 2.

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

PORCENTAJES ACUMULADOS QUE PASAN POR LOS TAMICES:

TAMIZ UNE	ARIDO1 <i>Fresado extracc.</i>	ARIDO 2 12/20	ARIDO 3 5/11	ARIDO 4 0/6	ARIDO 5 0/6 desfillerizac
60	100	100	100	100	100
45	100	100	100	100	100
32	100	100	100	100	100
22	100	100	100	100	100
16	100	90	100	100	100
8	88	3	60	100	100
4	58,3	1,1	2,5	88,2	87,4
2	42,8	1,1	0,7	60,8	58,1
0,5	24,3	1,0	0,6	29,9	25,0
0,25	18,5	1,0	0,6	23,9	18,5
0,063	10,3	0,9	0,4	13,0	7,0

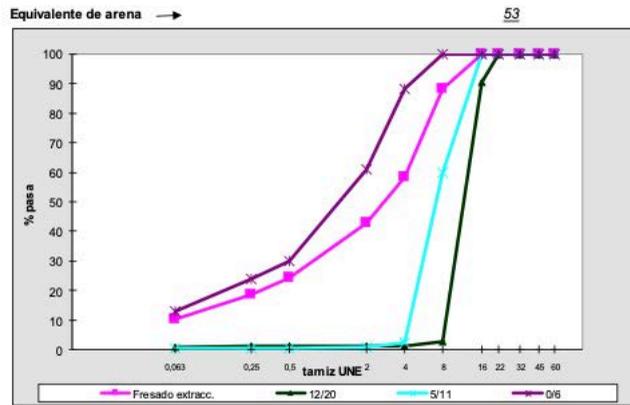


Figura 2. Granulometrías de áridos y fresado

Emulsión asfáltica:

En este caso ha sido necesario el desarrollo de una emulsión especial, capaz de envolver la mezcla de áridos vírgenes y fresado, de no deteriorarse por la elevada temperatura al choque térmico con los áridos y al mismo tiempo proporcionar a la mezcla una gran cohesión inicial, una adhesividad activa y pasiva elevada y una manejabilidad suficiente para su aplicación con los equipos convencionales.

Se trata de una emulsión bituminosa de naturaleza catiónica y modificada con polímeros, fabricada a partir de un betún modificado especial para su aplicación mediante la técnica templada, llamada Styemul CL2 90.

Las características de la emulsión diseñada específicamente para su empleo en la fabricación de estas mezclas templadas se recogen en la Tabla 1 y sus especificaciones en la Tabla 2.

**TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LA EMULSIÓN STYEMUL CL-2 90(C60BP4)**

Característica	Norma UNE-EN	Valor
Contenido de ligante por cont. en agua	1428	60.3%
Residuo de tamizado (0,5 mm)	1429	0.02%
pH	12850	2.05
Tiempo de fluencia (2 mm, 40 °C)	12846	35
Índice de rotura	13075-1	164
Adhesividad	13614	90
Contenido de ligante por destilación	1431	61%
Penetración residuo destilación	1426	52 dmm
Punto de reblandecimiento residuo destilación	1427	58 °C
Recuperación elástica	13398	60%

**TABLA 2. ESPECIFICACIONES DE LA EMULSIÓN STYEMUL CL-2 90(C60BP4)**

Características	Unidad	Norma UNE EN	Mín.	Máx.
Emulsión Original				
Polaridad de las partículas	-	1430	Positiva	
Índice de rotura	g	13075-1	110	195
Contenido de ligante por cont. en agua	%	1428	58	62
Tiempo de fluencia (2 mm, 40 °C)	s	12846	15	70
Tendencia a la sedimentación (7 días)	%	12847	-	10
Residuo de tamizado (0,5 mm)	%	1429	-	0.1
Adhesividad	%	13614	90	-
Residuo por destilación según UNE EN 1431				
Penetración (25°C)	0,1mm.	1426	-	100
Punto de reblandecimiento	°C	1427	50	-
Cohesión (péndulo Vialit)	J/cm2	13588	0,5	-
Cohesión ( Fuerza-ductilidad 5°C)	J/cm2	13589	0,5	-
Recuperación elástica a 25°C	%	13398	DV	
Residuo por evaporación según UNE EN 13074-1				
Penetración (25°C)	0,1mm.	1426	-	100
Punto de reblandecimiento	°C	1427	50	-
Cohesión (péndulo Vialit)	J/cm2	13588	0,5	-
Cohesión (Fuerza-ductilidad 5°C)	J/cm2	13589	0,5	-
Recuperación elástica a 25°C	%	13398	DV	

## 4.2 COMPOSICIÓN DE LAS MEZCLAS TEMPLADAS

A continuación se recogen en la Tabla 3 y en las Figuras 3 y 4 las composiciones y curvas granulométricas de las dos mezclas estudiadas (AC 16S R20 y BBTM 11B R20):

**TABLA 3. DOSIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS AC 16 S R20 Y BBTM 11B R20**

	AC 16 S R20	BBTM 11B R20
Arena 0/6 [%]	25 (*)	16
Gravilla 5/12 [%]	30	42
Grava 12/20 [%]	25	22
Fresado [% s/a]	20	20
Emulsión [% s/a]	6.5	7.0

(\*) Arena parcialmente desfilicerizada

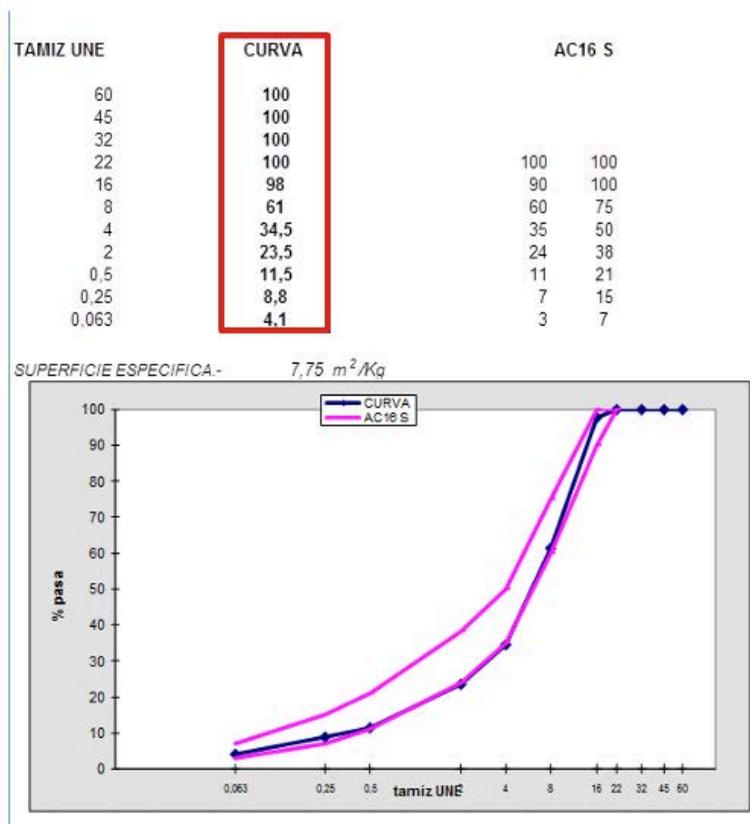


Figura 3. Composición y curva granulométrica de la mezcla AC 16S

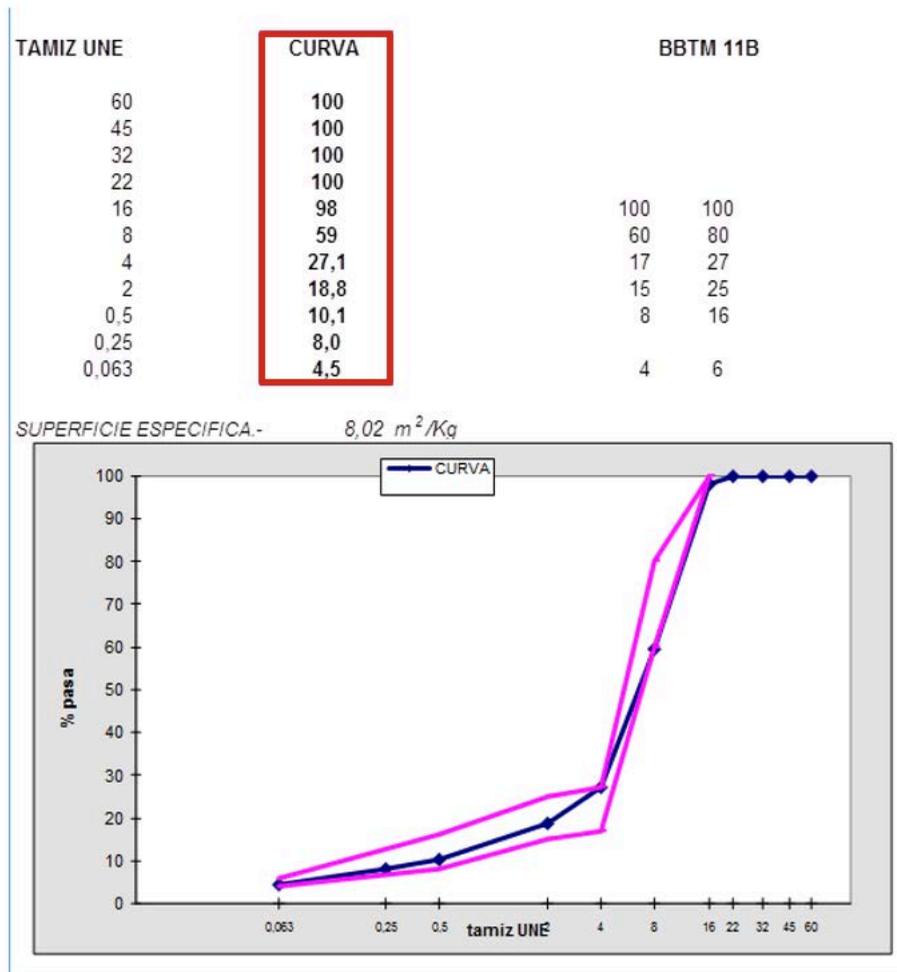


Figura 4. Composición y curva granulométrica de la mezcla BBTM 11B

### 4.3 ENSAYOS DE LAS MEZCLAS

Para la fabricación en laboratorio se compondrá la granulometría indicada en las Figuras 3 y 4. Intentando simular el proceso de planta, se calentaran los áridos a 125°C y se mezclarán con el fresado, a temperatura ambiente, para obtener una mezcla de áridos vírgenes más fresado a unos 90-100 °C. En este momento se añadirá la emulsión y se procederá a la envuelta y posterior fabricación de los distintos tipos de probetas según el ensayo a realizar.

La realización de las probetas y el procedimiento de ensayo posterior se realiza de forma similar al de una mezcla en caliente convencional, con la diferencia de la temperatura de compactación en laboratorio, que estará comprendida, entre 85-95°C. En la Tabla 4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos:

**TABLA 4. RESULTADOS OBTENIDOS PARA LAS MEZCLAS ESTUDIADAS**

<b>Característica</b>	<b>AC16 S R20</b>	<b>BBTM 11B R20</b>
% s/a Emulsión.-	6.5	7
% ligante total	4.8	5.1
Sensibilidad agua:		
- R. seco (MPa)	1.431	1.038
- R. tras inmersión (MPa)	1.238	0.886
- R. conservada (%)	86.5	85.3
Cántabro húmedo (%)	-	13
Densidad geom. g/cm3	2.364	2.223
Densidad s.s.s. g/cm3	2.494	-
Compactación giratoria:		
- Giros necesarios para conseguir una densidad similar a la geom. por impacto. Compactación a 90°C.	47	-
- Giros necesarios para conseguir una densidad similar a la geom. por impacto. Compactación a 65°C.	84	-
Huecos mezcla estimados (%)	5	14
Ensayo en pista de laboratorio		
- WTS	0.179	0.199
- PRD (%)	8.4	8.7
Módulo (MPa)	3540	1900

Se observa que en el ensayo de sensibilidad al agua la mezcla discontinua se queda algo justa de resistencia conservada, sin embargo en la comprobación con el Cántabro tras inmersión se obtienen unos valores muy buenos que nos aseguran un buen comportamiento. En el ensayo en pista aunque no se cumplen las especificaciones de las mezclas en calientes, se pueden considerar unos resultados aceptables y mejores de lo que se suelen obtener en mezclas similares.

Aunque el módulo de rigidez no es un ensayo determinante para las capas de rodadura si nos puede dar idea de su comportamiento en el firme. Como era de esperar el módulo de la mezcla AC es bastante más elevado que el de la BBTM, siendo el primero similar a una mezcla tipo AC 16G en caliente y el segundo correspondiente a una mezcla muy flexible como son las BBTM. Con la compactación giratoria hemos podido comparar la compactabilidad de la mezcla a diferentes temperaturas, esta característica también se comprobará en obra compactando a estas dos temperaturas. Como densidad de referencia se ha tomado la de las probetas Marshall con 75 golpes por cara realizadas a 90°C.

## 5. ADAPTACIONES DE UNA CENTRAL DE FABRICACIÓN DE MEZCLAS BITUMINOSAS EN CALIENTE PARA LA PRODUCCIÓN DE MEZCLAS TEMPLADAS

Aunque existen algunas centrales que se han concebido específicamente para la producción de mezclas templadas, todavía es más frecuente que esta tecnología se emplee en centrales de mezclas bituminosas en caliente que se han adaptado para la producción indistinta de ambos tipos de mezclas (calientes y templadas). Las adaptaciones necesarias deben estudiarse en cada caso concreto, pues dependen de la configuración de la central (continua o discontinua), del tipo de quemador y del combustible utilizado, y hasta de la configuración de los equipos de aspiración y depuración de los gases de la combustión. También dependen, naturalmente, del alcance de la reducción de temperatura pretendida. En general, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La planta debe disponer de un sistema de mezclado que pueda ser regulado de manera que resulte adecuado para trabajar con diferentes tiempos de mezclado tanto en seco (solo áridos combinados y, en su caso, material de fresado) 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, material de fresado, 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 material de fresado, en su caso) y su humedad, previo a la dosificación de la emulsión bituminosa.

2. La central debe calentar los áridos a temperaturas inferiores a las propias de una producción convencional. Este hecho puede requerir efectuar ajustes o modificaciones en el quemador del tambor secador y reducir la producción horaria típica de la producción en caliente. En la Figura 5 se muestra el conducto dispuesto para la extracción adicional de aire caliente del tambor secador en una central discontinua.

3. Cuando se utilizan emulsiones bituminosas debe preverse que su introducción, desde el tanque de almacenamiento hasta la mezcladora de la central de fabricación, no se realice por una línea calefactada por los circuitos de aceite térmico ya que ello produciría una rotura prematura de la emulsión. Para ello ha de cancelarse la circulación de aceite térmico por los serpentines o sectores necesarios, o dirigir y pesar la emulsión bituminosa mediante conductos y básculas independientes de los empleados cuando se emplean betunes asfálticos,

4. A pesar de la reducción de temperatura, los gases de la combustión deben alcanzar el filtro de mangas a temperaturas suficientemente elevadas ( $>100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) como para que no tengan lugar condensaciones que impidan su normal funcionamiento. Para ello puede ser preciso conducir directamente hacia el filtro de mangas una cierta proporción de aire más caliente que el que se obtiene después del intercambio térmico con los áridos, aspirándolo desde otros puntos más próximos al quemador de la central.

5. En el caso de mezclas que lleven una fracción de material fresado en su composición, especialmente en tasas media o alta ( $>50\%$ ), este material se debe clasificar en fracciones de modo que la fracción más fina se trate a temperatura ambiente y pueda ser alimentada directamente a la mezcladora de la planta (véase en Figura 6)



Figura 5: Conducto para extracción adicional de aire caliente del tambor secador en una central discontinua



Figura 6: En primer término, tolva para la incorporación de una fracción de material fresado, a temperatura ambiente, directamente a la mezcladora.

## 6. RESULTADOS PRUEBAS DE FABRICACIÓN Y EXTENDIDO EN EL BANCO DE PRUEBAS DE ARNÓ

En Julio de 2017 se realizaron pruebas de fabricación en la planta de Estopiñan (Construcciones. Arnó) de diferentes mezclas templadas con una emulsión catiónica modificada con polímeros tipo C60BP4, denominada comercialmente Styemul Cl-2 90 especialmente diseñada para mezclas templadas sin fresado o con un porcentaje bajo-medio. Dicha emulsión cumplía las especificaciones recogidas en la tabla 2.

Las pruebas de fabricación realizadas, en orden cronológico, fueron las siguientes:

- Una bañera de AC16 R20 con un 6,6% de emulsión s/a
- Una bañera de AC16, sin fresado
- Una bañera de BBTM 11B R20.
- Una bañera de BBTM 11B

Observaciones:

Las mezclas se fabricaron a unos 95°C y fueron extendidas en torno a los 75°C

Se produjo atasco del filler en la salida hacia la báscula por la humedad del mezclador en la segunda bañera.

La emulsión bituminosa de altas prestaciones Styemul CL-2 90 se alimentó al mezclador a una temperatura de 60-70°C.

La mezcla AC16 R20 se fabricó con un 6,6% de emulsión s/a mientras que la mezcla BBTM 11B R20 se fabricó con un 7,0% de emulsión s/a.

En general, se detecta un buen aspecto de las mezclas fabricadas.

El fresado se introduce frío (pasado por el tambor sin encender) en el silo en caliente de la planta y aquí toma una temperatura de 58°C.

Los áridos fueron calentados inicialmente hasta 140°C, de modo que la mezcla de estos con el 20% de material fresado quedó a 117°C. En las siguientes pruebas se intentó reducir esta temperatura hasta el entorno de los 100°C.

A continuación en las figuras 7 y 8 se muestran las curvas granulométricas de los materiales y de las mezclas fabricadas con el 20% de fresado. En las tablas 5 y 6 se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de control de calidad realizados sobre las mezclas templadas AC16 R20 y BBTM 11B R20 producidas.

Productos	% Ligante s/mezcla	% Ligante s/áridos	Referencia del componente (origen de las vacuadas)
FILLER RECUPERACION alfintrame	3.0 %	3.2 %	CEMOSA 3983
0/6 alfintrame	22.6 %	23.1 %	alfarras B5092912
6/14 alfintrame	29.2 %	31.6 %	alfarras B5092910
14/22 alfintrame	20.3 %	22.1 %	alfarras B5092911
Fresado 0/12.5 alfintrame	18.8 %	20.0 %	
STYEMUL CI-2 90 (C60 BP4) PROAS	6.1 %	6.5 % s/a	

Obligación	0.063	0.25	0.5	2	4	8	16	22.4
Media	4.00	8.62	12.39	25.08	37.16	63.14	95.06	100.00
Máximo	7	15	21	38	50	75	100	100
Visado	4.1	8.8	11.5	23.5	34.5	61	98	100
Mínimo	3	7	11	24	35	60	90	100
Desviación	0.10	0.18	0.89	1.58	2.66	2.14	2.94	0.00
Coef.	1	1	1	1	1	1	1	1

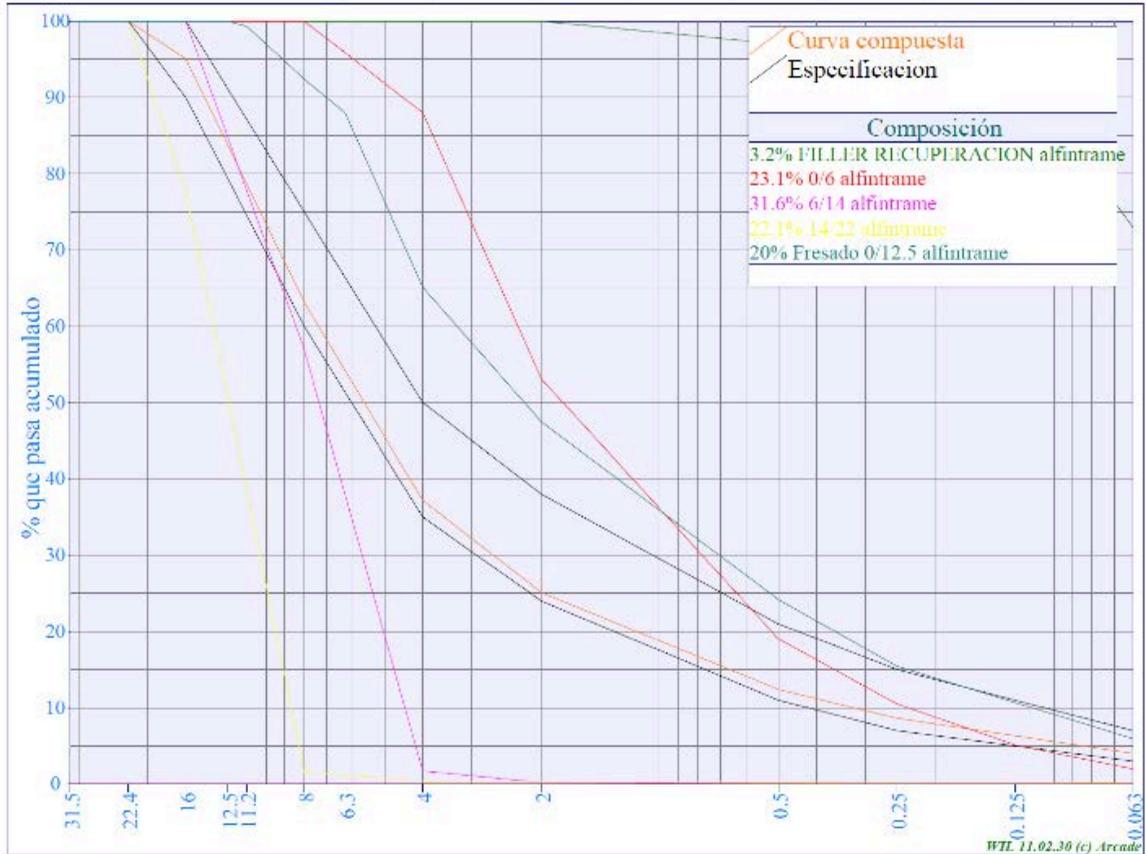


Figura 7: Análisis granulométrico de los áridos, material fersado y de la AC16 R20

<b>Ensayos realizados</b>	<b>Resultados <del>Arro</del></b>	<b>Resultados Cepsa</b>
Contenido de ligante extraído UNE-EN 12697-1	4,63% s/m	4,8% s/a
Huecos mezcla	5,1%	
Densidad s.s.s.	2507 kg/m <sup>3</sup>	2494(*)
Relación <del>filler</del> /betún	1,2	
Granulometría extracción	Tamiz %pasa 22,4--100 16--90,3 8--63,6 4--42,2 2--29,7 0,5--15,3 0,25--11,4 0,063--6	Tamiz %pasa 22,4--100 16--98 8--61 4--34,5 2--23,5 0,5--11,5 0,25--8,8 0,063--4,1
Caracterización ligante extraído UNE-EN 12697-3		
Penetración a 25 °C UNE-EN 1426		<u>23</u> , 0,1 mm
P. reblandecimiento UNE-EN 1427		65,3 °C
Módulo dinámico. UNE-EN 12697-26 (anexo C)		3540 MPa
Densidad geométrica	2507 kg/m <sup>3</sup>	2369 kg/m <sup>3</sup>
Ensayo en <u>pista</u> -		
WTS	0,132	0,179
RD	3,5 mm	3,2 mm

Tabla 5. Resultados obtenidos para las mezclas AC16 R20

Productos	% Ligante s/mezcla	% Ligante s/aridos	Referencia del componente (origen de los resultados)
Filler aportación alfintrame	3.7 %	3.0 %	alfarras B36060301
0/4 Inframe Soriana alfintrame	7.9 %	9.0 %	alfarras B5100801
6/14 alfintrame	63.2 %	68.0 %	alfarras B5092908
Fresado 0/12.5 alfintrame	18.7 %	20.0 %	
STYEMUL CL-2 90 (C60 BP4) PROAS	6.5 %	7 % s/a	

Obligación	0.063	0.5	2	4	8	11.2	16
Media	4.77	10.48	18.57	25.68	71.04	99.09	100.00
Máximo	6	16	25	27	80	100	100
Visado	4.5	8	18.8	27.1	59	98	100
Mínimo	4	8	15	17	60	90	100
Desviación	0.27	2.48	0.23	1.42	12.04	1.09	0.00
Cocf.	1	1	1	1	1	1	1

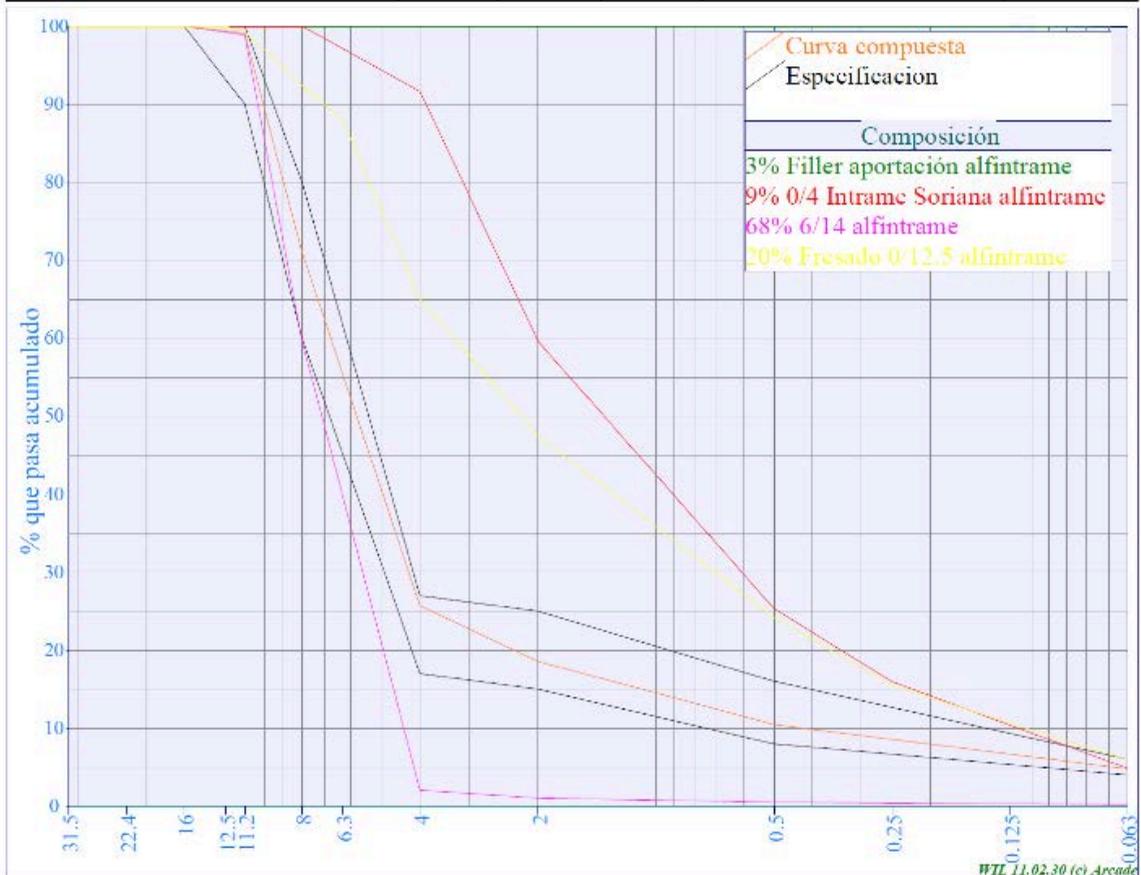


Figura 8: Análisis granulométrico de los áridos, material fersado y de la BBTM 11B R20

ENSAYOS	Minimo	Valor	Máximo	Norma
Huecos mezcla	12.0	19.9 %	18.0	UNE-EN 12697-8:2003
Huecos rellenos		27.9 %		UNE-EN 12697-8:2003
Densidad máxima. Procedimiento volu		2744 Kg/m3		EN 12697-5:2002+A1:2007
Densidad aparente por el metodo hidro		2197.00 Kg/m3		UNE-EN 12697-6:2003+A1
Relación F/B	1.0	1.5	1.2	
Contenido en ligantes	4.60	3.76 %	5.20	
Extracción de aglomerado		No conforme		
<b>Análisis granulométrico</b>				
<b>Masa</b>				
<b>Tamiz (mm)</b>	<b>Mínimo</b>	<b>% que pasa</b>	<b>Máximo</b>	
16.000	100.00	100.00	100.00	
11.200	90.00	99.40	100.00	
8.000	60.00	63.30	80.00	
4.000	17.00	24.10	27.00	
2.000	15.00	17.20	25.00	
0.500	8.00	10.30	16.00	
0.063	4.00	5.70	6.00	

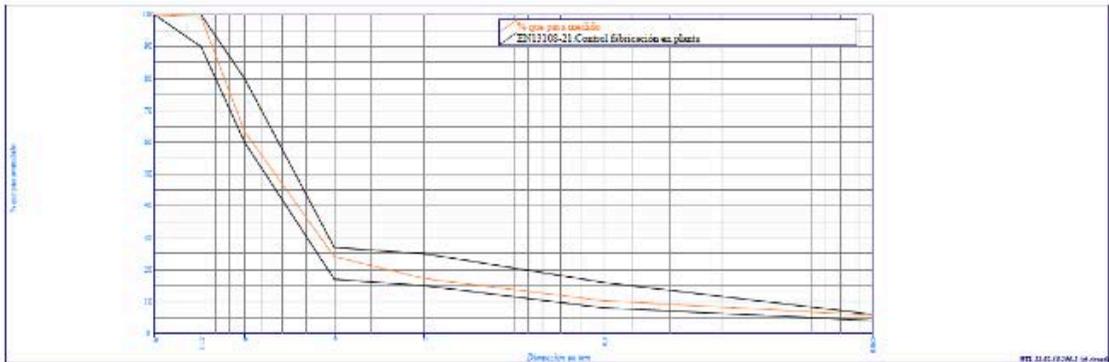


Tabla 6. Resultados obtenidos para las mezclas BBTM 11B R20

Transcurridos dos meses de la realización de las pruebas en la planta de Arnó se planificó una extracción de testigos y medida de la textura de las mezclas templadas fabricadas. La medida de la profundidad de la macrotextura superficial del pavimento se realizó mediante el ensayo del círculo de arena según la norma EN 13036-1. En la tabla 7 adjunta se pueden ver los resultados de las medidas obtenidas para cada tipo de mezcla templada y en las figuras 9 y 10 algunas fotografías tomadas en este control de la unidad terminada.

Característica	Norma UNE-	Tipo de mezcla templada	
		AC16 R20	BBTM 11B R20
Macrotextura superficial* (mm)	EN 13036-1	0,8-1,1	1,3-1,5
(*) Medidas realizadas sobre testigos tomados en la Planta de Arnó dos meses después de la prueba.			

Tabla 7. Resultados de textura de las mezclas



Figura 9: Extracción de testigos para la medida de la textura de las mezclas



Figura 10: Detalle de la medida del círculo de arena

## 7. CONCLUSIONES

La tecnología de producción de mezclas asfálticas en templado permite trabajar a temperaturas en torno a los 100 °C, obteniéndose una Mezcla Templada con características similares a las Mezclas Bituminosas en Caliente, gracias al empleo de emulsiones modificadas con polímeros y betunes de consistencia algo más elevada de lo habitual.

Esta reducción de las temperaturas de fabricación y extensión, permiten reducir las emisiones de gases de efecto invernadero así como un ahorro considerable de energía, además de permitir mejores condiciones de trabajo para el personal de obra, especialmente si se emplean en una zona cálida y en época estival.

Aunque los resultados obtenidos en laboratorio son buenos, se considera que muchos de ellos mejorarán considerablemente en el tramo de obra previsto, debido principalmente a la mayor energía de mezclado en planta y de compactación en la puesta en obra posterior.

Así, los resultados que se obtuvieron en la fabricación industrial de mezclas templadas con el 20% de fresado para el tipo AC han dado por ejemplo una mejor resistencia a la formación de roderas y todos los parámetros ensayados son adecuados para este tipo de mezclas, incluida la textura evaluada mediante el círculo de arena. En el caso de las mezclas tipo BBTM sería necesario hacer unos ajustes en futuras fabricaciones para conseguir el contenido de ligante y huecos requerido para estas mezclas.

En el tramo de ensayo previsto realizar en este año en el marco del proyecto Reutrans se podrán testar nuevas mezclas templadas para rodaduras y observar principalmente la resistencia a las deformaciones plásticas y la cohesión inicial de estas mezclas para probar su empleo en carreteras con circulación de vehículos pesados. También se podrán observar estas características en mezclas templadas compactadas a diferentes temperaturas para determinar las temperaturas mínimas de compactación real en obra.

## 8. REFERENCIAS

- [1] Lesueur, T., Marín, M.A. (2008). "Disminuir la temperatura de fabricación de las mezclas bituminosas en caliente: Las mezclas templadas", II Congreso Nacional de Medio Ambiente en Carreteras.
- [2] Manuales de Consulta de Tecnología en Frío – CEPESA PROAS.
- [3] Monografía de Mezclas Templadas con emulsión – ATEB. (2014)
- [4] Colás, M.M. "Técnicas templadas con emulsión bituminosa", IV Congreso Andaluz de Carreteras.
- [5] Monographies d'études et de recherches (1998), LCPC. Revue Général de les Routes.
- [6] Ministerio de Fomento, "Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de Carreteras y Puentes PG-3"
- [7] Norma UNE-EN 13108-1:2007 "Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso"
- [8] Norma UNE-EN 13108-2:2007 "Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales: Parte 2: Mezclas bituminosas para capas delgadas".



**Cepsa Comercial Petróleo S.A.U.**  
Paseo de la Castellana 259A · 28046 Madrid (España)  
Teléfono Atención al Cliente: +34 91 337 75 55  
[www.cepsa.com](http://www.cepsa.com)