

Mezclas bituminosas semicalientes producidas a temperaturas inferiores a 120 °C. Proyecto ASFALTMIN



Warm Mix Asphalt at production temperatures
below 120 °C. ASFALTMIN project

Jorge Ortiz Ripoll

*Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Benito Arnó e Hijos*

Xavier Crisén Grau

*Ingeniero Técnico de Obras Públicas
Benito Arnó e Hijos*

Julia Giralt Lladanosa

*Técnico especialista en obra pública
Benito Arnó e Hijos*

En 2021 ARNÓ finalizó su proyecto de investigación ASFALTMIN dirigido a estudiar las temperaturas mínimas de fabricación y puesta en obra al alcance de las actuales tecnologías de producción de mezclas bituminosas semicalientes. Definidas en el PG-3 como mezclas bituminosas producidas al menos 40 °C por debajo de las habituales de las mezclas bituminosas en caliente, en la práctica las mezclas semicalientes siguen fabricándose a temperaturas que apenas suponen reducciones de 20 a 30 °C. Con el proyecto ASFALTMIN se han puesto a punto tecnologías para reducir en más de 50 °C las temperaturas típicas de la producción en caliente, es decir, nuevas mezclas bituminosas semicalientes fabricadas a temperaturas comprendidas entre 105 y 120 °C y compactables a menos de 95 °C. De acuerdo con los estudios desarrollados, estos son los intervalos de temperatura de mayor interés pues permiten llevar a valores mínimos la demanda energética, las emisiones directas y, en general, los impactos ambientales de las mezclas bituminosas en caliente, semicalientes y templadas, tanto si se producen utilizando nuevas materias primas como cuando se reutiliza cualquier proporción de mezclas bituminosas envejecidas. En el presente texto se explica la metodología seguida para alcanzar los objetivos del proyecto, las dificultades que han surgido en sus distintas fases y las soluciones encontradas.

In 2021 ARNÓ has completed its ASFALTMIN research project aimed at studying the minimum production and laydown temperatures available for the warm mix asphalt technologies. Defined in PG-3 as bituminous mixes produced at temperatures at least 40 °C below the usual temperatures for hot mix asphalt, in practice, today the warm mix asphalt barely represents reductions of 20 to 30 °C of these temperatures. With the ASFALTMIN project, ARNÓ has developed technologies that can reduce the typical temperatures of hot mix asphalt by more than 50 °C, that is, new warm asphalt mixtures produced between 105 and 120 °C and compactable below 95 °C. According to the studies carried out, these are the temperature ranges of greatest interest as they allow to reduce to their minimum values, the energy demand, direct emissions and, in general, the environmental impacts of hot mix asphalt, warm mix asphalt and half-warm mix asphalt, whether they are produced using new raw materials or when any proportion of aged bituminous mixtures is reused. This text explains the methodology followed to achieve the objectives of the project, the difficulties that have arisen in its different phases and the solutions found.

1. Introducción

ASFALTMIN (mezclas ASFÁLTICAS de MÍNimas emisiones y demanda energética), es un proyecto de investigación desarrollado por ARNÓ entre 2018 y 2021, con un presupuesto de 612.890€, acogido al plan de ayudas CDTI 2017 y dirigido a mejorar la eficiencia energética de las mezclas bituminosas semicalientes. Uno de sus primeros frutos es la herramienta de cálculo ECCO2, que ha sido de gran utilidad para seleccionar las temperaturas de fabricación idóneas y descartar las tecnologías menos prometedoras (1, 2). Así, se estableció como temperaturas de fabricación objetivo las comprendidas en el intervalo 105-120 °C y se decidió excluir las tecnologías que requieren agua de proceso o el uso de emulsiones bituminosas (3).

El estudio del estado del arte confirmó el interés del rango de temperaturas indicado y las oportunidades ofrecidas por los procedimientos basados en la combinación de diferentes tecnologías: la espumación mecánica o inducida del betún, por ejemplo, produce efectos que pueden sumarse a los obtenidos con la incorporación de aditivos surfactantes, reductores de viscosidad, o mediante mezclas secuenciales, entre otras opciones. También se ha estudiado la reutilización de mezclas bituminosas recuperadas de pavimentos envejecidos (en adelante, RAP) a bajas temperaturas y se han desarrollado nuevos procedimientos de fabricación concebidos para no perjudicar la resistencia a la acción del agua de las mezclas bituminosas o la activación del betún contenido en el RAP.

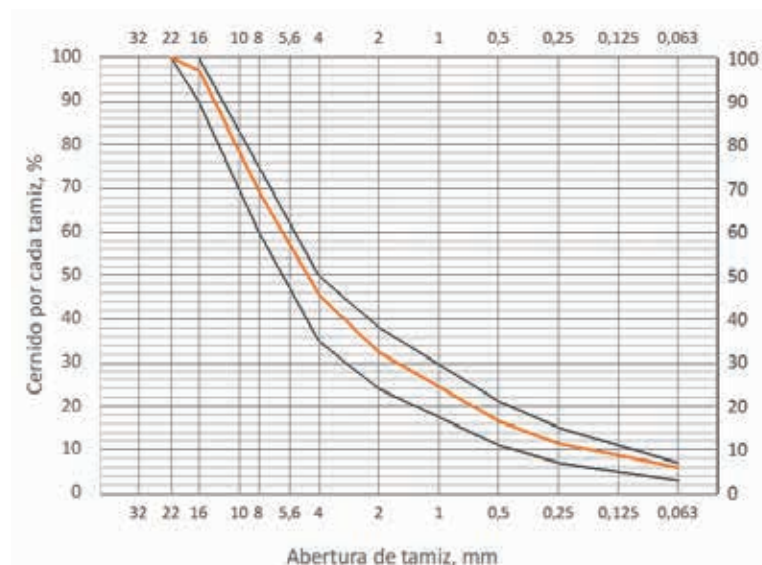
2. Materiales y métodos

2.1. Ensayos con mezcla de laboratorio

Los primeros trabajos experimentales se dirigieron a seleccionar, mediante ensayos de laboratorio, los aditivos y los procedimientos idóneos para alcanzar la reducción de temperaturas objetivo. Se utilizó como mezcla patrón o de referencia un hormigón bituminoso AC 16 S 50/70 SURF elaborado con áridos de Alguaire (Lleida), betún de CEPESA y polvo mineral de recuperación, de las propiedades descritas en la figura 1.

La eficacia de los distintos procedimientos ensayados se midió a partir del grado de compactación de probetas compactadas con compactador giratorio (a 100 giros) y por impactos (75 golpes por cara) a varias temperaturas, según se muestra en la figura 2. La densidad de referencia es la alcanzada con la mezcla patrón (sin adición alguna) amasada a 160 °C y compactada a 150 °C, mientras que el resto de los resultados corresponden a mezclas con distintas adiciones, amasadas a 130 °C y compactadas a las temperaturas indicadas.

En ambos gráficos la zona de interés es el rectángulo formado entre los límites de las temperaturas objetivo (75-95 °C) y los grados de compactación superiores al 99%, es decir, la correspondiente a las soluciones más efectivas. Con el compactador giratorio (a 100 giros) se obtuvieron resultados que apenas permitieron distinguir las alternativas ensayadas y por ello se prefirió basar su selección en la compactación por impactos, en lugar de usar el compactador giratorio modificando arbitrariamente el número de giros.



AC 16 S 50/70 SURF		
PROPIEDAD	UD	VALOR
Betún sobre mezcla	%	4,80
Relación f/b	-	1,2
Densidad aparente	g/dm ³	2,372
Densidad máxima	g/dm ³	2,470
Huecos en mezcla	%	4,0
Volumen de betún	%	11,0
Huecos en áridos	%	15,0
Huecos rellenos	%	73,5

Figura 1. Curva granulométrica (izquierda) y descripción volumétrica de la mezcla de referencia (derecha).

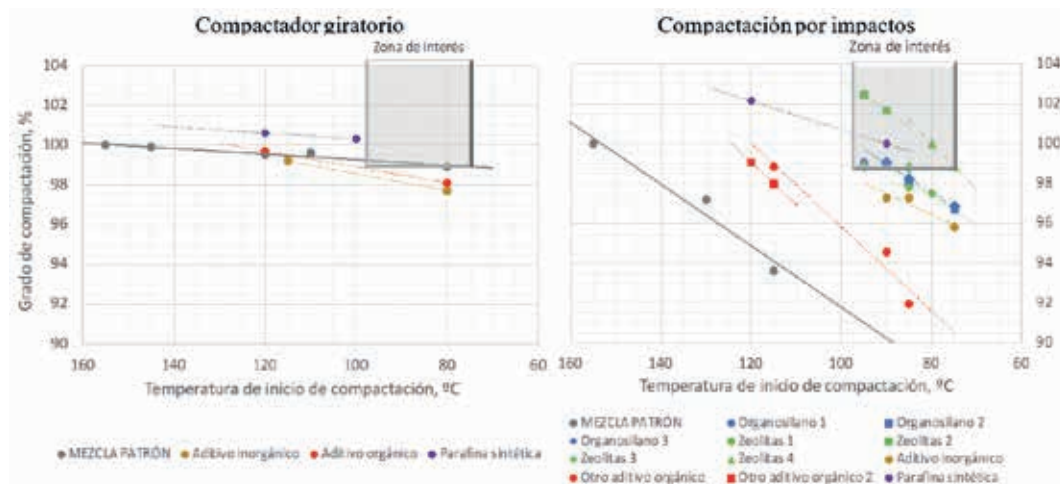


Figura 2. Temperatura y grado de compactación en mezclas de laboratorio

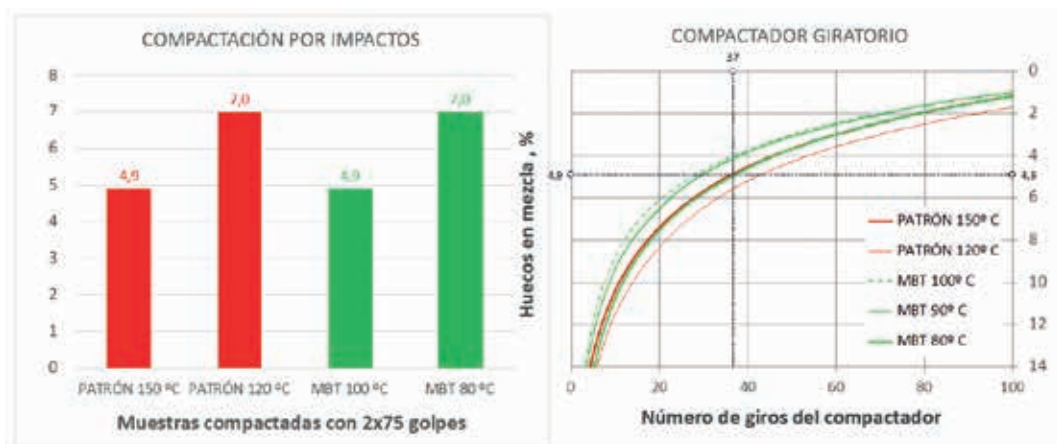


Figura 3. Resultados obtenidos con la compactación por impactos y giratoria en una de las combinaciones ensayadas

Finalmente, para las combinaciones seleccionadas se analizaron las curvas de compactabilidad proporcionadas por el compactador giratorio. En la figura 3 se pueden comparar con los resultados de la compactación por impactos. En este caso se trata de una alternativa que, como puede verse en el gráfico de la izquierda, permite alcanzar la densidad de referencia (mezcla patrón compactada por impactos a 150 °C) a 100 °C y el 97,9% de la densidad de referencia a 80 °C. En el gráfico de la derecha se observa que, con la mezcla patrón bastan 37 giros del compactador giratorio para igualar la densidad alcanzada con la compactación por impactos; a 120 °C y con la mezcla a baja temperatura, el número de giros necesario es incluso inferior. Se ensayaron así seis alternativas de producción, de las cuales tres fueron seleccionadas como prioritarias para la realización de ensayos con mezcla de central.

El gráfico derecho también explica la insensibilidad de la densidad a 100 giros para distinguir entre alternativas. Con un número de giros más apropiado (40 a 60 giros) las diferencias son más evidentes. En todo caso, la curva de

compactación de la mezcla compactada a 80 °C reproduce casi exactamente la correspondiente a la mezcla patrón, hecho que sirvió para dar por concluidos, satisfactoriamente, los ensayos con mezcla de laboratorio.

2.2. Adaptación de la central de fabricación

Al mismo tiempo que se desarrollaron los estudios de laboratorio, en la central de fabricación AMMANN-SIM SB-280 que ARNÓ tiene instalada en las proximidades del aeropuerto de Lleida, se introdujeron las adaptaciones necesarias para producir mezclas bituminosas a bajas temperaturas por distintos procedimientos: se instaló un grupo de dos tolvas para la introducción de árido frío y RAP directamente en la mezcladora, un sistema de extracción de vapor de agua y para su conducción desde la mezcladora hasta el filtro de mangas, un espumador de betún, un segundo circuito de ligantes y se sustituyó el programa de control para gobernar la central incluyendo las nuevas opciones de fabricación.



Fotografías 1 y 2. Tolvas para la introducción de áridos y RAP fríos (izquierda) y sistema de evacuación de vapor (derecha)



Fotografías 3 y 4. Introducción manual de aditivos sólidos en la mezcladora (izquierda) y líquidos en la báscula del betón (derecha)

La central contaba ya con un equipo de dos silos para la incorporación de aditivos secos en la amasadora y un sistema para introducir aditivos líquidos en el ligante bituminoso, aunque en las pruebas con mezcla de central estas operaciones se realizaron manualmente, a través de un acceso directo a la mezcladora en el caso de los aditivos sólidos, o de la báscula de betón para los aditivos líquidos.

2.3. Pruebas con mezcla de central

Primeras pruebas

Las pruebas en central se iniciaron con las alternativas que ofrecieron mejores resultados en los ensayos de laboratorio y, junto con diversas combinaciones, fueron ensayadas una vez ordenadas en función de sus respectivos costes y dificultades: empezando por las más

económicas, las de implantación más sencilla, y las que afectan en menor medida a la operación y al rendimiento de la central de fabricación.

Se tomaron muestras en amasadas independientes de 2.000 kg cuya producción resultó muy laboriosa por la dificultad de controlar la temperatura de la mezcla en producciones discontinuas y, especialmente, operando la central en condiciones tan diferentes de las habituales. Estos inconvenientes desaparecieron gracias al nuevo procedimiento de fabricación que se describe a continuación.

Nuevo procedimiento de mezclado

Para resolver los problemas de sensibilidad al agua de las mezclas bituminosas semicalientes encontrados durante las primeras pruebas, se diseñó un nuevo procedimiento de fabricación consistente en introducir los áridos en la mezcladora por dos vías distintas: una parte,



Fotografías 5 y 6. Controles de temperatura de la mezcla de áridos (izquierda) y de la mezcla bituminosa semicaliente (derecha).

comprendiendo las fracciones con mayor proporción de humedad, a través del tambor secador y calentados a las temperaturas habituales (160 a 170 °C); el resto, formado por la fracción más seca, desde las tolvas con acceso directo, es decir, a temperatura ambiente. Los problemas relacionados con la existencia de humedad residual en la mezcla bituminosa final se limitan así a la contenida, en su caso, en la fracción introducida en frío.

Las proporciones que han de ser introducidas por cada línea dependen de la temperatura de calentamiento de la fracción que pasa por el tambor secador, de la temperatura objetivo de la fabricación y de la humedad y temperatura de la fracción fría. Despreciando las pérdidas de calor que tiene lugar hasta que se alcanza el equilibrio térmico en la mezcladora de la central, debe verificarse que la variación de entalpía del conjunto de la mezcla de áridos (H) es cero:

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 0 \quad (1)$$

donde el subíndice 1 se refiere a la fracción que ha sido calentada en el tambor secador hasta la temperatura T_1 y el subíndice 2 a la fracción introducida fría a una temperatura T_2 , con una humedad w_2 . Si la temperatura de la mezcla final es T_{1+2} , su humedad residual w_r (expresada sobre la masa de la fracción fría), CE_a y CE_w los calores específicos de los áridos y del agua líquida, respectivamente, T_{ew} la temperatura promedio de evaporación del

agua y E_w la energía de cambio de estado líquido-vapor del agua, puede escribirse:

$$\Delta H_1 = p_1 (T_1 - T_{1+2}) CE_a$$

$$\Delta H_2 = p_2 [(T_2 - T_{1+2}) CE_a + w_2 (T_{ew} - T_2) CE_w + (w_2 - w_r) E_w]$$

y resolviendo la ecuación 1:

$$p_2 = \frac{(T_1 - T_{1+2}) CE_a}{(T_1 - T_{1+2}) CE_a + (T_{1+2} - T_2) + w_2 (T_{ew} - T_2) CE_w + (w_2 - w_r) E_w}$$

$$p_1 = 1 - p_2$$

La tabla 1 es un ejemplo de los resultados correspondientes a la combinación de dos fracciones de árido a las temperaturas y con los contenidos de humedad indicados, para $CE_a = 0,835 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ($CE_w = 4,184 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$; $E_w = 2250 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).

De acuerdo con resultados proporcionados por los cálculos, se fabricó mezcla de central con un 71% de áridos procedentes de los silos en caliente, a temperaturas comprendidas entre 160 y 170 °C, y un 29% de las tolvas con acceso directo a la mezcladora. Para la mezcla AC16 S patrón, estas proporciones supusieron introducir en frío casi la totalidad de la fracción 6/12. El nuevo procedimiento de mezclado se ensayó, además de con la mezcla bituminosa de referencia, en mezclas elaboradas con betún 35/50 y sustituyendo un 1% del fíller de recuperación por hidróxido cálcico.

Tabla 1. Fracciones de áridos introducidas en caliente (p_1) y en frío (p_2)								
HUMEDADES			TEMPERATURAS				PROPORCIONES	
w_1	w_2	w_{res}	T_1	T_2	T_{ew}	T_{1+2}	p_1	p_2
0%	0,1%	0%	165 °C	20 °C	90 °C	120 °C	69,6%	30,4%
0%	0,2%	0%	165 °C	20 °C	90 °C	120 °C	70,2%	29,8%
0%	0,4%	0%	165 °C	20 °C	90 °C	120 °C	71,4%	28,6%



Fotografías 7 y 8. Introducción de hidróxido cálcico y aditivo seco en la mezcladora (izquierda) y control termográfico de la temperatura (derecha).



Fotografías 9 y 10. Mezcla bituminosa en la tolva de la extendedora (izquierda) y extendido en tres franjas (derecha).



Fotografías 11 y 12. Temperaturas de inicio de compactación.

Construcción de un tramo experimental

Con objeto de determinar la mínima temperatura de inicio de compactación compatible con las nuevas mezclas bituminosas semicalientes, se construyó un tramo experimental en la zona reservada para este tipo de pruebas con que cuenta ARNÓ en sus instalaciones de Alfarrás (Lleida), a 15 km de la central de fabricación. La mezcla bituminosa semicaliente se extendió en tres franjas cuya compactación se inició a las temperaturas de 105 °C, 90 °C y 75 °C, respectivamente. Las pérdidas de temperatura durante la

operación de transporte de la mezcla fueron mínimas (fotografías 9 y 10) y fue necesario retener el inicio de la compactación aún en la franja más caliente (fotografías 11 a 12). Se empleó un compactador tándem BOMAG BW-161 de 10,5 t y un compactador de neumáticos CORINSA 14-21 de 27 t (fotografías 13 y 14) siguiendo las pautas de compactación típicas de la puesta en obra de una capa de rodadura en una carretera convencional. A las 24 horas de la puesta en obra se extrajeron testigos para analizar el grado de compactación alcanzado en cada franja.



Fotografías 13 y 14. Compactador tándem (izquierda) y de neumáticos (derecha).



Fotografías 15 y 16. Tramo experimental después de la extracción de testigos (izquierda) y aspecto de uno de los testigos extraídos (derecha).

3. Resultados y análisis de los resultados

3.1. Primeros ensayos con mezcla de central

Volumétricos

En la tabla 2 se presentan los valores promedio de densidad (D.), huecos en mezcla (H.M.), volumen de betún (V.B.) y huecos en áridos (H.A.) de dos series de probetas de mezcla patrón y de la primera mezcla a baja temperatura que satisfizo los requisitos volumétricos. Se trata de una mezcla fabricada a 115 °C con betún espumado, un compuesto orgánico reductor de la viscosidad del betún y un agente surfactante, compactada por impactos a 90 °C.

Sensibilidad al agua

La resistencia a la acción del agua (UNE-EN 12.697-12) de la nueva mezcla resultó peor que la de la mezcla patrón, como puede comprobarse en la tabla 3, donde

RTI es la resistencia a compresión diametral en seco (s) y tras inmersión (h) y h/s el cociente RTI h/RTI s. Se considera que esta pérdida de resistencia se debe a la presencia de humedad residual (4, 5).

Envejecimiento del betún

El efecto de la temperatura de fabricación en el envejecimiento a corto plazo del betún se midió con ensayos de Penetración (UNE-EN 1426) y Temperatura del Punto de Reblandecimiento (UNE-EN 1427) sobre el betún recuperado después de su extracción de las mezclas bituminosas (Tabla 4). Como era de esperar, el betún de la mezcla semicaliente se encontró significativamente menos envejecido.

Ensayo Fénix y módulo resiliente

Se ha contado con la colaboración del departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) para ensayar series de probetas

Tabla 2. Volumetría de las probetas de las mezclas patrón y producida a 115 °C									
MUESTRAS		MEZCLA PATRÓN				MEZCLA A BAJA TEMPERATURA			
Probeta	Golpes	D.	H. M.	V. B.	H. A.	D.	H. M.	V. B.	H. A.
(grupo)	(núm.)	(g/dm³)	(%)	(%)	(%)	(g/dm³)	(%)	(%)	(%)
01 a 09	2x75	2370	4,0	11,0	15,0	2364	4,3	11,1	15,4
10 a 15	2x50	2337	5,4	10,8	16,0	2328	5,5	10,9	16,4

Tabla 3. Sensibilidad al agua de las mezclas patrón y producida a 115 °C

MUESTRAS		MEZCLA PATRÓN				MEZCLA A BAJA TEMPERATURA			
Probeta	Golpes	D	RTI s	RTI h	h/s	D	RTI s	RTI h	h/s
(grupo)	(núm.)	(g/dm ³)	(%)	(%)	(%)	(g/dm ³)	(%)	(%)	(%)
10 a 15	2x50	2337	2338	2091	87,7	2328	1455	948	65,2

Tabla 4. Endurecimiento del betún según la temperatura de fabricación

TEMPERATURA	PENETRACIÓN		Tª. PUNTO REBLAND.	
de fabricación	Valor	Retenida	Absoluta	Incremento
Original	53· 10 ⁻¹ mm	100 %	51,0 °C	0,0 °C
115 ° C	46· 10 ⁻¹ mm	87 %	52,4 °C	1,4 °C
160 ° C	37· 10 ⁻¹ mm	70 %	55,6 °C	4,6 °C
170 ° C	32· 10 ⁻¹ mm	60 %	56,6 °C	5,6 °C

Tabla 5. Módulos resilientes a 20 °C

MUESTRAS		MEZCLA PATRÓN		A BAJA TEMPERATURA.	
Probetas	Golpes	Densidad	Módulo	Densidad	Módulo
(nº de orden)	(número)	g/dm ³	MPa	g/dm ³	MPa
Promedio (1-9)	2x75	2370	5454	2364	4371

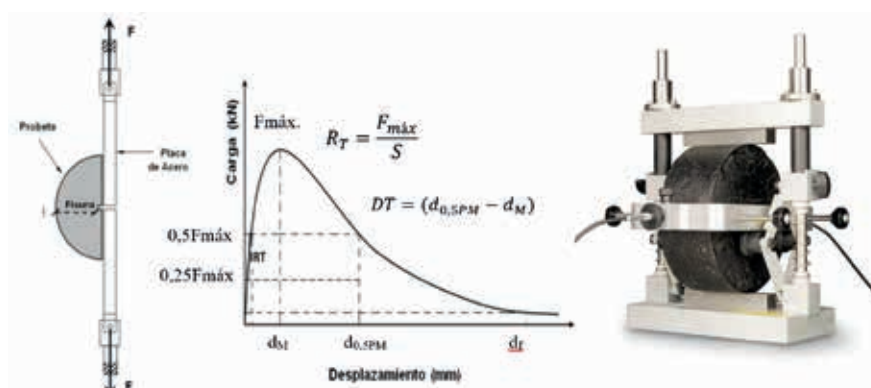


Figura 4. Ensayo Fénix (izquierda) y módulo resiliente (derecha).

de mezclas patrón y a baja temperatura con ensayos de carácter más fundamental. De acuerdo con su propuesta, las muestras fueron sometidas a ensayos Fénix (NLT-383) y de módulo resiliente (UNE EN 12.697-26, Anexo C) (figura 4). Los módulos reflejaron el distinto grado de envejecimiento a corto plazo del betún (tabla 5) mientras que

con el ensayo Fénix se observó que la mezcla a baja temperatura presenta mayor ductilidad, similares resistencia y tenacidad a 20°C, y una respuesta a -5 °C comparable a la de la mezcla patrón a 5 °C, lo que debe considerarse una ventaja de las nuevas mezclas bituminosas semicalientes desarrolladas.

Una explicación detallada del significado y método de cálculo de los parámetros analizados con el ensayo Fénix puede encontrarse en Pérez-Jiménez, et al. (2014) (6).

3.2. Nuevo procedimiento de fabricación

Para solucionar los problemas atribuidos a la presencia de humedad residual en la nueva mezcla bituminosa semicaliente, se analizaron las posibilidades ofrecidas por diversos tratamientos. Entre los más conocidos y prometedores se encuentra el uso de hidróxido cálcico sustituyendo una parte del polvo mineral de los áridos y, por tanto, es una opción que se adoptó junto el nuevo

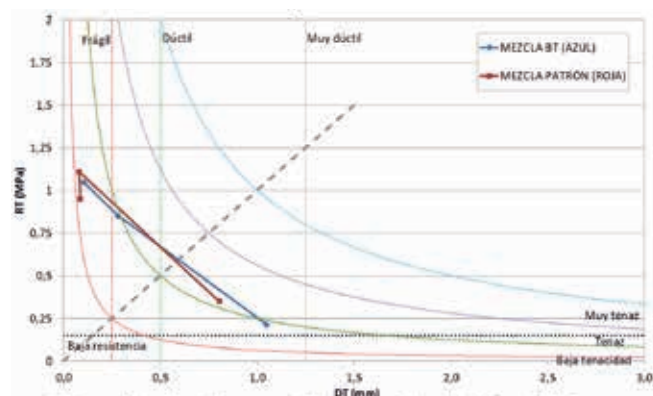


Figura 5. Diagrama Fénix © (© asociado a una metodología de ensayo. Laboratorio de Caminos UPC)

Tabla 6. Resultados de sensibilidad al agua y ensayo en pista

ENSAYO	SENSIBILIDAD AL AGUA				ENSAYO EN PISTA		
Propiedad	Densidad	RTI seca	RTI húm.	RTI h/s	WTS aire	PRD aire	RD
MEZCLA	(g/dm ³)	(%)	(%)	(%)	(mm/103)	(%)	(mm)
AC 16 SURF S 50/70	2340	1946	1642	84,4	0,127	8,6	5,2
AC 16 SURF S 35/50*	2347	1937	1661	85,7	0,067	5,4	3,3

Tabla 7. Densidades y grados de compactación alcanzados en cada franja del tramo experimental

Propiedad	TEMPERATURAS		DENSIDAD	H. M.	G. C.
MUESTRA	Fabricación	Inicio compact.	promedio	promedio	promedio
Probetas	115 °C	90 °C	2362 g/dm ³	4,4 %	100,0 %
Testigos franja 1	115 °C	105 °C	2316 g/dm ³	6,2 %	98,2 %
Testigos franja 2	115 °C	90 °C	2312 g/dm ³	6,8 %	97,6 %
Testigos franja 3	115 °C	75 °C	2262 g/dm ³	8,4 %	96,0 %

procedimiento de mezclado descrito en el apartado 2.3 anterior.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6 donde puede observarse que con las dos formulaciones ensayadas mejoró apreciablemente la resistencia a la acción del agua. El nuevo procedimiento de mezclado bastó para solucionar los problemas causados por la humedad residual, aunque se requirió la adición de hidróxido cálcico (o utilizar betún 35/50) para satisfacer los requisitos de resistencia a las deformaciones permanentes.

3.3. Tramo experimental

En la tabla 7 se muestran los resultados los ensayos realizados sobre los testigos extraídos del tramo experimental de densidad, huecos en mezcla (H. M.) y grado de compactación (G.C.).

La figura 6 es una representación gráfica donde puede observarse que a temperaturas de inicio de compactación tan bajas como 85 °C es posible obtener grados de compactación satisfactorios.

Actualmente, ARNÓ dispone ya del marcado CE de tres de sus mezclas a baja temperatura (figura 7) y está tramitando nuevos certificados para ampliar su catálogo de mezclas semicalientes susceptibles de ser producidas a temperaturas inferiores a 120 °C.

3.4. Aplicaciones en obra

Las primeras aplicaciones en obra se han llevado a cabo en el Valle de Arán, en la carretera de Es Bórdes a Artiga de Lin y en la LP-3322 en la Variante de Linyola, ambas en la provincia de Lleida, con resultados exitosos.

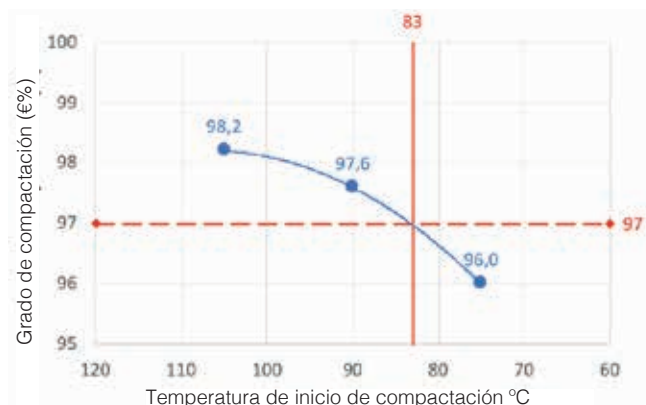


Figura 6. Temperatura de inicio de compactación y grado de compactación

AC 16 SURF 50/70 S (Ca(OH)₂) Semicaliente (85-120°C)	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso. EN 13108-1:2006 y EN 13108-1:2006/AC:2008
AC 16 SURF 35/50 S (Ca(OH)₂) Semicaliente (85-120°C)	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso. EN 13108-1:2006 y EN 13108-1:2006/AC:2008
AC 16 SURF PMB 45/80-65 S Semicaliente (95-130°C)	Mezclas bituminosas. Especificaciones de materiales. Parte 1: Hormigón bituminoso. EN 13108-1:2006 y EN 13108-1:2006/AC:2008

Figura 7. Marcado CE de mezclas bituminosas a T<120 °C

3.5. Reutilización de RAP

Para alcanzar los objetivos del proyecto ASFALMIN sin perjudicar la regeneración del betún presente en el RAP se ha concebido un mezclado secuencial mediante el cual la las temperaturas de los áridos y del RAP se reducen en varias fases: en primer lugar, se utilizan áridos sobrecalentados para elevar la temperatura del RAP hasta valores próximos a 150 °C; a continuación, la introducción de una segunda fracción de árido virgen, a temperatura ambiente y en la proporción adecuada, sirve para llevar la temperatura de la mezcla final hasta la temperatura objetivo de la mezcla semicaliente. Una descripción detallada de las ventajas de este procedimiento excede el alcance de esta comunicación y, por tanto, su divulgación se emprenderá en próximas ocasiones.

4. Conclusiones

De acuerdo con los resultados del proyecto ASFALTMIN, reduciendo significativamente la temperatura de fabricación de las mezclas bituminosas en caliente, es posible producir mezclas semicalientes con menores impactos ambientales que algunas mezclas templadas producidas a temperaturas inferiores. La herramienta de cálculo ECCO2 permite cuantificar el alcance de estas mejoras, que guardan una relación directa con evitar la introducción de agua por cualquier vía, ya sea como agua de proceso o en forma de emulsión bituminosa.

Ha podido comprobarse que no basta con reproducir la volumetría de la mezcla compactada para justificar la equivalencia entre mezclas en caliente y semicalientes, especialmente si la temperatura de fabricación es inferior a 120 °C. La sensibilidad al agua de estas últimas puede resultar crítica, probablemente debido a la presencia de humedad residual, así como su resistencia a las deformaciones permanentes, a causa de un menor envejecimiento a corto plazo del betún. Las soluciones aportadas por el proyecto ASFALTMIN comprenden un nuevo procedimiento de mezclado que asegura un secado completo de las fracciones de los áridos con mayores contenidos de humedad y que facilita la operación de la central de fabricación.

Los ensayos de carácter más fundamental (ensayo Fénix y módulo resiliente), han mostrado también algunas diferencias entre la mezcla patrón y las nuevas mezclas semicalientes, en general, favorables a estas últimas y atribuibles al distinto envejecimiento a corto plazo padecido por sus respectivos ligantes. A este respecto, parece una buena recomendación optar por diseñar estas nuevas mezclas semicalientes con un betún un grado más duro que el de la mezcla bituminosa en caliente de referencia.

En definitiva, se ha concluido que son varias las tecnologías (o más bien, las combinaciones de tecnologías), aptas para alcanzar los objetivos perseguidos con el presente proyecto de investigación. Las mayores dificultades que deben superarse tienen que ver con la sensibilidad al agua de las mezclas a bajas temperaturas, con la adaptación de la central de fabricación, con su operación eficiente y con un correcto funcionamiento del filtro de mangas. Una vez más, permitir que los fabricantes pongan a punto procedimientos productivos propios y limitar las prescripciones técnicas al control de las propiedades del producto terminado parece el mejor modo de impulsar la innovación, también en relación con la producción de mezclas bituminosas a bajas temperaturas.

Agradecimientos

El proyecto de investigación ASFALTMIN (Mezclas Asfálticas de mínimas emisiones y demanda energética, IDI-20171092), dirigido a desarrollar mezclas bituminosas semicalientes energéticamente más eficientes y de menores impactos ambientales fue incluido en el programa de ayudas de CDTI 2017. Los autores, en su propio nombre, y en el de ARNÓ, desean manifestar su agradecimiento por el importante apoyo recibido.

Referencias

- [1] Ortiz Ripoll, J. y Crisén, X.: Temperaturas, consumos energéticos y emisiones de mezclas bituminosas en caliente, semicalientes y templadas. XV Jornadas de Conservación y Explotación de Carreteras. Valencia, 22 a 24 de mayo de 2018
- [2] Ortiz Ripoll, J.; Crisén, X. y Sorribas, E.: Impactos ambientales de las mezclas bituminosas según el modelo ECCO2. XIV Jornada ASEFMA, Madrid, mayo de 2019.
- [3] Ortiz Ripoll, J.; Crisén, X.; Miró, R. y Martínez, A.: Environmental impacts of hot, warm and half warm recycled bituminous mixtures. Proceedings of 7th Euraspphalt & Eurobitumen Congress. Madrid, 12-15 de mayo de 2020.
- [4] Parker, F.: Residual moisture in hot mix asphalt mixtures. Auburn University Highway Research Center 238 Harbert Engineering Center. Auburn, AL 36849-5337, 1998.
- [5] Kennedy, T. y Huber, G.: The effect of mixing temperature and stockpile moisture on asphalt mixtures. Center for Transportation Research. The University of Texas at Austin. Research report 358-1, 1984.
- [6] Pérez-Jiménez, F.; Valdés G.; Muñoz, M.; Miró, R.; Martínez, A.; Botella, R. y Amorós, J.: Criterios y especificaciones para el uso del ensayo fénix en el diseño de mezclas bituminosas tipo AC. IX Jornada Nacional de ASEFMA, Madrid, España, 2014. ❖