



Mezclas semicalientes: Caracterización y puesta en obra

Warm Asphalt Mixes: Properties and Construction

José Simón Grau
Coordinador de Firms de Chm
Julio López Ayerra
Jefe de Laboratorio de Chm
Francisco Lucas Ochoa
Jefe Asistencia Técnica y Desarrollo Repsol

Francisco José Barceló Martínez
Coordinador de Asfaltos del CTR Repsol
Juan Mendoza
Gestor de Asfaltos de Repsol
Verónica Contreras Ibáñez
Tecnólogo Asfaltos del CTR Repsol

Resumen

Podemos afirmar que las mezclas semicalientes (con aditivos surfactantes) reducen el consumo energético y las emisiones de CO_2 ; también se obtienen ventajas en la seguridad laboral (PRL) debido a que se tienen que soportar temperaturas más bajas en la puesta en obra y ventajas de seguridad vial al tener mejor macrotextura el pavimento.

PALABRAS CLAVE: baja temperatura, semicalientes, mezclas bituminosas, seguridad, emisiones, medio ambiente, tecnología, firms.

Abstract

We can affirm that warm asphalt mixes (based on bitumen with surfactant additives) reduce the laying temperature, use less energy and CO_2 emissions; we also obtain benefits in workmen's safety, because they have to withstand lower temperatures, and operations safety since the pavement has a better macrotexture.

This paper aims at making a comparison of normal bitumen (penetration 35/50), compared with low-temperature bitumens (BBT 35/50), to compare the temperatures of both mixes and energy saving, environmental and safety issues.

KEY WORDS: low temperature, warm mixes, half-warm mixes, safety, emissions, environment, technology, pavement.

1. Introducción

Como respuesta a la problemática mundial sobre el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero, el sector de la carretera ha puesto en marcha una serie de acciones para contribuir, en la medida de lo posible, a disminuir el impacto medioambiental de sus actividades. Entre estas iniciativas podemos destacar el incremento en la utilización de materiales reciclados, el auge de las técnicas en frío, el empleo de subproductos procedentes de otras actividades y una reducción de temperatura de las técnicas en caliente.

Concretamente las técnicas de reducción de la temperatura en la fabricación y puesta en obra de las mezclas asfálticas constituyen hoy en día una realidad en España, donde en los últimos años se han llevado a cabo diversas pruebas empleando las distintas alternativas disponibles en el mercado, con resultados muy satisfactorios en cuanto a las prestaciones finales alcanzadas en la mezcla, y a la reducción de consumo de combustible y emisiones a la atmósfera producidas en planta.

Este artículo trata sobre la técnica basada en aditivos químicos, con los que se pueden formular ligantes capaces de producir una disminución de temperatura de 30-40 °C en mezcla respecto de las mezclas en caliente convencionales. Se muestran los resultados obtenidos en la fabrica-

ción y puesta en obra de una mezcla en la que se han empleado este tipo de ligantes.

Este estudio pretende hacer una comparación de betunes normales (Betunes de penetración 35/50), frente a betunes de baja temperatura (BBT 35/50), donde se quiere comparar las temperaturas de ambas mezclas y su consiguiente ahorro energético, medioambiental y de seguridad.

2. Empleo de aditivos químicos en ligantes

Una de las técnicas para reducir la temperatura de trabajo de las mezclas asfálticas consiste en modificar la tensión superficial del ligante, para que moje más al árido en las condiciones de trabajo.

Para ello se pueden encontrar en el mercado ciertos aditivos, con función tensioactiva, que actúan en las interfases árido/betún y betún/aire, reduciendo los valores de la tensión superficial. La particularidad de los ligantes formulados con estos aditivos es que no presentan ninguna diferencia en las propiedades reológicas respecto de un ligante convencional.

Para estudiar el comportamiento en obra de estos ligantes se ha llevado a cabo una prueba, donde se ha trabajado con un ligante convencional (35/50) a las temperaturas habituales, y con el mismo ligante

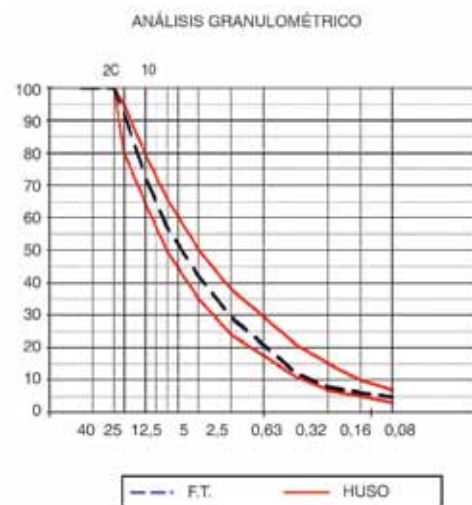


Figura 1. Curva granulométrica

aditivado (BBT 35/50), con el que se ha trabajado a temperaturas típicas de la zona semicaliente.

3. Fórmula de trabajo

La mezcla asfáltica consiste en una AC22 BIN 35/50 S (S-20). Las características de los áridos empleados, así como el huso granulométrico y resultados óptimos los podemos ver en las tablas 1 y 2, y en la figura 1.

4. Caracterización de ligantes

En la obra se han empleado dos ligantes, uno convencional 35/50, y el mismo betún aditivado con un producto comercial, capaz de reducir la tensión superficial del ligante, al que denominamos BBT 35/50. La incorporación del aditivo al betún se llevó a cabo en condiciones controladas de dosificación, temperatura y agitación.

Las características de los dos ligantes empleados son (véase tabla 3):

Como puede observarse en el gráfico

Tabla 1. Características de los áridos

Fracción	Procedencia	Índice de lajas UNE-EN 933-3	Desgaste L.A. UNE-EN 1097-2	Limpieza superf. UNE 146130- Anex C	Equivalente de arena UNE-EN 933-8	Daft NLT-176
0/4	Cavimart				72	
4/2	Cavimart	10,3	18	0,22		
12/32	Cavimart	9,7	18	0,18		
Filler C.	Recuperac.					0,65

Tabla 2. Fórmula de trabajo

Resultados óptimos	
% Betún/Áridos	4,50
% Betún/Mezcla	4,30
Densidad (kg/m³)	2450
Estabilidad (kN)	14
Deformación (mm)	2,2
% Huecos Mezcla	4,80
% Huecos Áridos	15,05

Tabla 3. Características de los ligantes empleados en obra

Ensayos	Norma ensayo	35/50	BBT 35/50
Penetración 0,1 mm	UNE EN 1426	50	51
Anillo-Bola, °C	UNE EN 1427	52,6	52,4
IP	UNE EN 12591	-0,23	-0,22
Viscosidad 120 °C, cp	UNE EN 13302	1455	1455
Viscosidad 140 °C, cp	UNE EN 13302	470	475
Viscosidad 160 °C, cp	UNE EN 13302	191	195
Fraas, °C	UNE EN 12593	-14	-15
Punto inflamación, °C	UNE EN 2592	340	329

Tabla 4. Temperaturas de trabajo

Temperaturas de trabajo		35/50	BBT 35/50
Condiciones de trabajo	Temperatura Ligante	160 °C	160 °C
	Temperatura Áridos	160 °C	120 °C
Temperatura de mezcla		150 °C	110 °C

Tabla 5. Resultado probetas compactadas con prensa giratoria

Ensayos probetas	Norma ensayo	35/50	BBT 35/50
Número de giros	-----	200	200
Densidad geométrica kg/m ³	UNE EN 12697-6	2307	2306
Densidad sss, kg/m ³	UNE EN 12697-6	2420	2430
Estabilidad kN	UNE EN 12697-34	9,95	9,22
Deformación, mm	UNE EN 12697-34	3,76	4,16
Huecos mezcla %	UNE EN 12697-8	5,2	4,8
Módulo resiliente 20 °C, MPa	UNE EN 12697-26	4061	5095

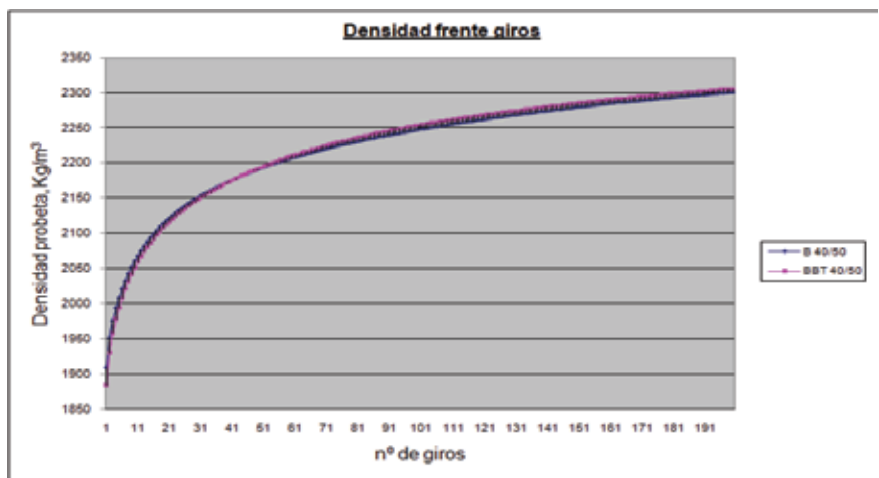


Figura 2. Curvas de compactación en giratoria para los ligantes 35/50 y BBT 35/50

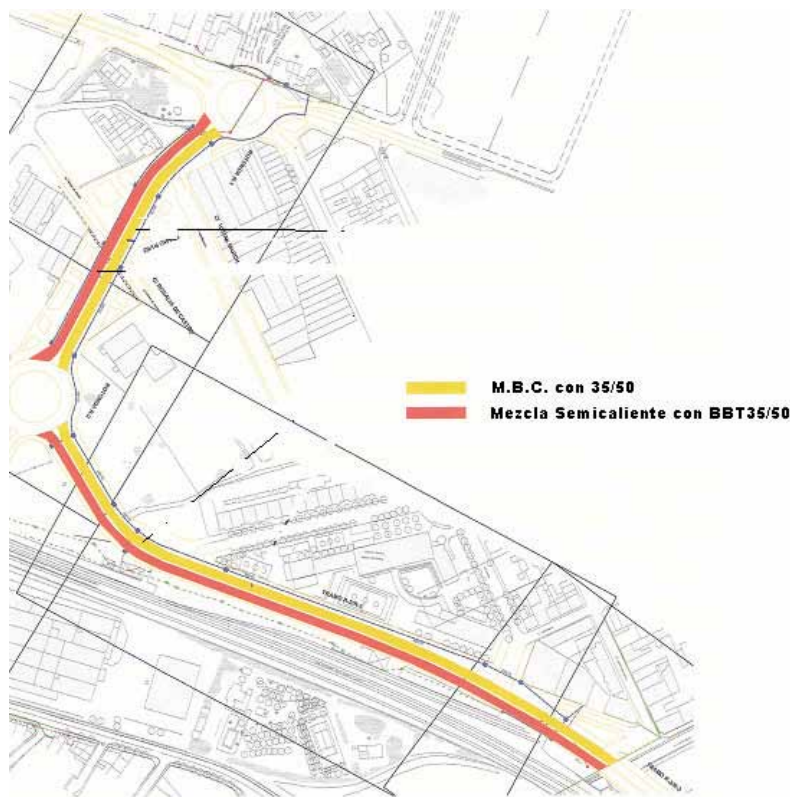


Figura 3. Croquis tramo de prueba

duccioningúncambioenlaspropiedades reológicasdelliganteBBT35/50formulado coneladitivo,respectodelliganteoriginal 35/50.

5. Ensayos previos

Previamentealarealizacióndelaprue- basellevóacabounestudiodecompacta- ciónenprensagiratoriadelosdosligantes, utilizando los áridos de obra y la formula detrabajocalculada.Lastemperaturasde mezclaycompactaciónempleadasfueron lasqueprevisiblementeseutilizaríanen obra,según estudiospreviosrealizadoscon estos aditivos (véase tabla 4).

Se ha procedido a compactar con el número de giros necesario para alcanzar la altura de probeta que proporcionela mis- madensidad(véasefigura2)obtenidaen lafórmuladetabajoutilizandoel método decompactaciónpor impacto(75golpes), lascondicionesdecompactaciónhansido: Presióndeconsolidación:600kPa,ángulo degiro:0,82°, velocidad de giro:30 rpm.

Los resultados de las probetas com- pactadasenprensagiratoriafueron(véase tabla 5).

6. Tramo de prueba

El ámbito de la obra es el tramo com- prendido entre la rotonda de la carretera de Agostylarotondadelosbomberos,enel términomunicipaldeSanVicentedelRas- peig (Alicante).

El tramo de prueba se hizo entre la R1- R3 (en concreto, entre la R1 y el puente), tramo de dos calzadas de 6.3 m de ancho cada una con una longitud de 480 m. La comparación se hizo en uno de los carriles de una calzada de dos carriles, con mezcla tipo S-20 entre el puente, pasando por la R2 y finalizando en R1, empleando el betún BBT 35/50; y se comparó con el otro carril contiguo realizado con la mezcla tipo AC22 BIN 35/50 S(S-20) con 35/50 entre el puen- te y la R1 (véase figura 3).

7. Control en planta asfáltica

La fabricación y puesta en obra de la mezclase realizó en mayo 2009. La planta asfáltica utilizada fue de tipo discontinuo,

marca MARINI, de una capacidad de 220 t/h. No fue necesario llevar a cabo ninguna modificación en la planta para realizar la prueba de baja temperatura.

7.1. Control temperatura de betunes

El control de la temperatura de los betunes en el tanque de almacenamiento se hace por display y sonda térmica. Se fija una temperatura de control de ambos betunes en tanque de 150 °C.

La media de las mediciones en los tanques de los distintos betunes es de 152 °C (véase figura 4).

7.2. Control temperatura de los áridos

El control de la temperatura de los áridos a la salida del trommel, se hace con sonda térmica. Se fija una temperatura para los áridos con el betún 35/50 de 160 °C y de 130 °C para el betún BBT 35/50.

Las temperaturas medias obtenidas a las mediciones nos dan una media de 133 °C para la mezcla con BBT 35/50 y 163 °C para la mezcla con 35/50 (véase figura 4).

7.3. Control temperatura de la mezcla en planta

El control de la temperatura de la mezcla se hace por muestreo de los camiones con sonda térmica y las medias obtenidas para la mezcla con BBT 35/50 es de 124 °C y para la mezcla con 35/50 es de 160 °C (una disminución de 36 °C). Véase figura 4.

7.4. Control consumo GN

El control del consumo de GN (gas natural) se hace por lectura del contador de gases en m³, el cual se pasa a consumo en kWh de GN.

El consumo de la mezcla con 35/50 para la fabricación de 455,4 t es de 33308 kWh, y para la mezcla BBT 35/50, con una producción de 426,8 t, es de 22397 kWh. El consumo por kWh/t lo podemos ver en la figura 5; así como el gasto por €/t (véase figura 6).



Foto 1. Mezcla normal con 35/50



Foto 2. Mezcla semicaliente BBT 35/50

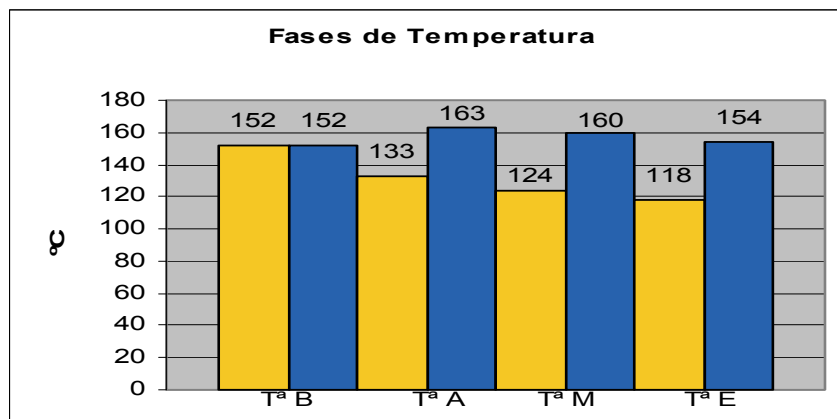


Figura 4. T^a B es la temperatura del betún; T^a es la temperatura de los áridos; T^a M es la temperatura de la mezcla y T^a E es la temperatura de extendido

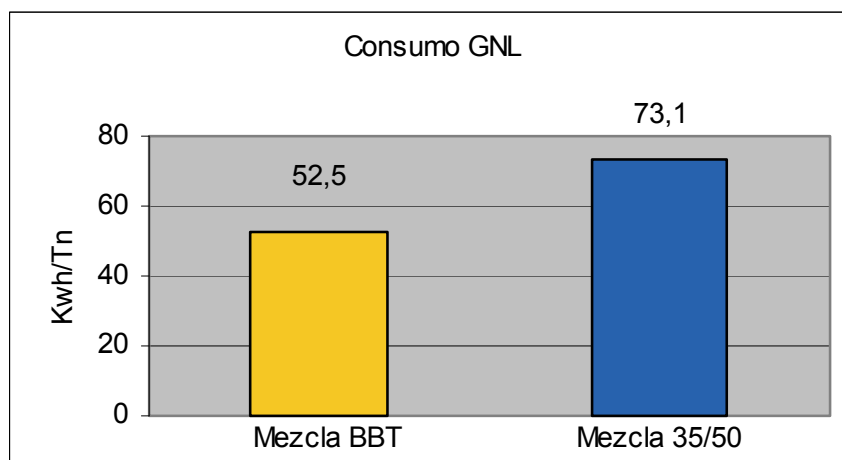


Figura 5

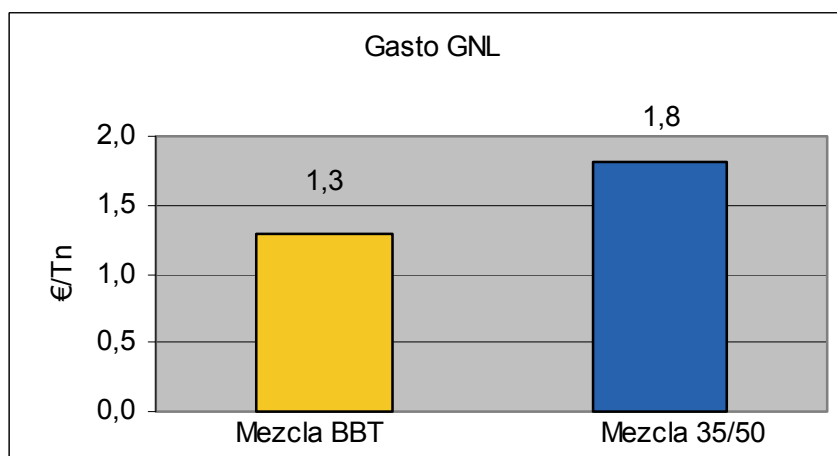


Figura 6



Foto 3. Extensión de mezcla caliente y diagrama termográfico



Foto 4. Extensión de mezcla semicaliente y diagrama termográfico

7.5. Emisiones de CO₂

Las emisiones de CO₂ las cuantificamos utilizando la fórmula de:

$$1 \text{ kWh GN} = 0,00023 \text{ t CO}_2 \text{ (230 g CO}_2\text{)}$$

Del consumo de GN para ambos tipos de betunes, deducimos que las emisiones son:

BBT 35/50 emite 0,0121 t (12,1 kg) de CO₂ por t fabricada de mezcla.

35/50 emite 0,0168 (16,8 kg) T de CO₂ por t fabricada de mezcla.

El ahorro estimado para la mezcla semicaliente es del 28%.

La Bolsa Europea de Derechos de Emisión de CO₂, valoraba en mayo de 2009 a 14,46 €/t la reducción de emisiones de CO₂.

8. Control en la extensión

Las máquinas utilizadas para la compactación son:

- Compactador neumático de 16 t
- Rodillo metálico de 10 t.
- Extendedora sobre orugas

8.1. Control temperatura de la extensión

El control de la temperatura en la extensión se hacía con termómetro y sonda a la salida de la mezcla por la regla. La temperatura media de inicio de la extensión para la mezcla BBT 35/50 fue de 118°C, y para la mezcla con el 35/50 fue de 154°C (véase figura 4).

Se estaba compactando hasta que la temperatura de las mezclas estaba sobre los 90 °C.

8.2. Temperatura ambiente de trabajo

Se tomaron temperaturas a 1,5 m de

las mezclas para comprobar la temperatura que soportan los trabajadores en la extensión y ver si había alguna diferencia entre los distintos tipos de mezclas.

Con una temperatura ambiente de 26 °C y una temperatura de mezcla de 120 °C (Mezcla BBT), la temperatura a 1,5 m era de 29 °C; para 154 °C (mezcla con 35/50), la temperatura a 1,5 m era de 32 °C (véase figura 7).

El trabajador estaba soportando el doble de temperatura con respecto a la temperatura ambiente si estaba trabajando con mezclas con betunes 35/50 que con mezclas semicalientes (con el BBT 35/50).

8.3. Muestreo de humos de asfalto

Se hicieron (por parte de Fremap), mediciones para el control de agentes nocivos en los humos de las mezclas en ambos



Fotos 5 y 6. Medición de la temperatura de la mezcla a la llegada a obra y de stress térmico en la extendedora

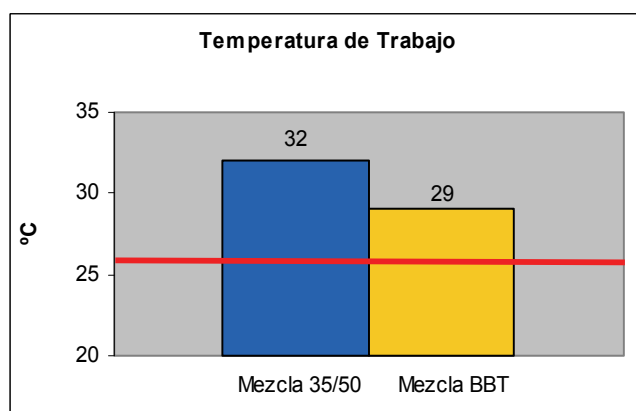


Figura 7

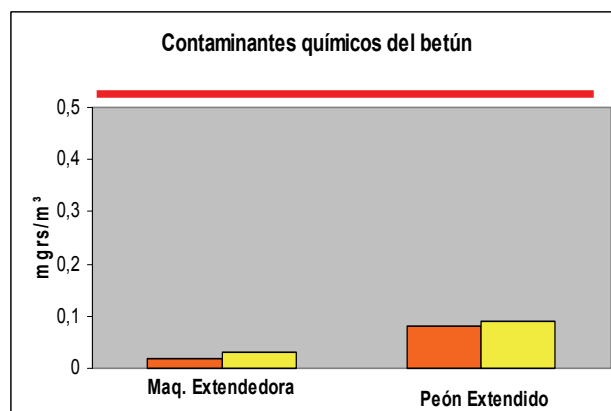


Figura 8

betunes, analizando el asfalto, humos (petróleo), aerosoles solubles en benceno (VL como partículas extraíbles con ciclohexano por gravimetría).

Las medicaciones se hicieron al maquina de la extendora y al peón de extendido por ser los puestos más expuestos a los humos de las mezclas bituminosas.

En ambos casos y con los distintos tipos de betunes, los valores medios ambientales se estaban por debajo del valor mínimo admisible, que es $0,5 \text{ mg/m}^3$ (ver resultados en figura 8).

9. Ensayos de mezclas en obra

De cada tipo de mezcla fabricada en planta se tomó una cantidad suficiente de muestra para realizar en laboratorio estudios de compactación por impacto y en giratoria, determinando en cada caso las propiedades de las probetas obtenidas (véanse tablas 6, 7, 8 y 9). Las temperaturas de compactación han sido las mismas que las de obra:

Mezcla en caliente con betún 35/50: 150-155 °C

Mezcla semicaliente con betún BBT 35/50: 115-120 °C

En la compactación giratoria se ha llegado a 200 giros (densidad de rechazo según UNE EN 12697-9 para compactador giratorio); se observa que con este método de compactación, los resultados obtenidos para la mezcla semicaliente son más parecidos a los de la mezcla caliente, con la diferencia que puedes suponer la diferencia en penetración de los ligantes que contiene la mezcla.

En cuanto al ensayo de sensibilidad al agua, han sido necesarios 150 giros en

Tabla 6. Datos ensayo aglomerado de obra con betún 35/50

Ensayos	Norma ensayo	200 giros	75 golpes
Densidad, ssd, kg/m^3	UNE EN 12697-6	2417	2436
Densidad geométrica, kg/m^3	UNE EN 12697-6	2255	2350
Estabilidad, kN	NLT-159	12,34	15,92
Deformación, mm	NLT-159	4,07	2,17
Huecos mezcla, %	UNE EN 12697-8	5,3	4,6
Módulo resiliente 20 °C, MPa	UNE EN 12697-26 - ANEXO C	6565	6035

Tabla 7. Datos ensayo aglomerado de obra con betún BBT 35/50

Ensayos	Norma ensayos	200 giros	75 golpes
Densidad, ssd, kg/m^3	UNE EN 12697-6	2402	2384
Densidad geométrica, kg/m^3	UNE EN 12697-6	2212	2274
Estabilidad, kN	UNE EN 12697-34	10,32	9,7
Deformación, mm	UNE EN 12697-34	4,04	2,45
Huecos mezcla, %	UNE EN 12697-8	5,9	6,6
Módulo resiliente 20 °C, MPa	UNE EN 12697-26 - ANEXO C	4347	3792

Tabla 8. Resultados de ensayo sensibilidad al agua del betún 35/50, compactado por impacto y giratoria

Ensayos	Norma ensayo	35/50 (50 golpes)	35/50 (150 golpes)
Resistencia a la tracción indirecta seco 15 °C, MPa	UNE EN 12697-23	2955	2628
Resistencia a la tracción indirecta húmedo 15 °C, MPa	UNE EN 12697-23	2641	2553
Resistencia conservada, %	UNE EN 12697-12 Método A	89	97

Tabla 9. Resultados de ensayo sensibilidad al agua del betún BBT 35/50, compactado por impacto y giratoria

Ensayos	Norma ensayo	35/50 (50 golpes)	35/50 (150 golpes)
Resistencia a la tracción indirecta seco 15 °C, MPa	UNE EN 12697-23	2533	2339
Resistencia a la tracción indirecta húmedo 15 °C, MPa	UNE EN 12697-23	1999	2169
Resistencia conservada, %	UNE EN 12697-12 Método A	79	92,7

Tabla 10. Resultados del ensayo de resistencia a la deformación permanente

Ensayos	Norma ensayo	35/50	BBT 35/50
Velocidad de deformación (mm/1000 ciclos). WTS	UNE EN 12697-22	0,046	0,03
Deformación final, mm	UNE EN 12697-22	1,93	1,49



Figuras 7 y 8. Detalle de testigo y de extracción.

el compactador giratorio para alcanzar la misma densidad geométrica que con el método de impacto a 50 golpes. Se observa que el método giratorio mejora el valor de resistencia conservada en general respecto al método de impacto, pero la mejora es mucho más acusada en la mezcla semicaliente, que sube 14 puntos, mientras que la caliente sólo 8.

Los resultados de los ensayos de pista (UNE EN 12697-22) son los que recogen la tabla 10, de la página anterior.

De los datos de la tabla 10 anterior deducimos que para ambos tipos de mezcla, los resultados de la velocidad de deformación (WTS) están por debajo del límite permitido, si bien a pesar de que observamos que tenemos un mejor comportamiento para la mezcla semicaliente.

9.1. Testigos de las mezclas bituminosas

En los tramos de prueba del AC22BIN

35/50 S (S-20) con los dos tipos de betunes, se extrajeron testigos en obra para comprobar el grado de compactación; con un rodillo y un compactador (de las características antes expuestas), con los testigos de la mezcla con betún 35/50 obtenemos una media del 98,1% de compactación; de la mezcla con betún BBT 35/50 obtenemos una compactación media del 96% (ver figura 9).

Ante estos resultados y no llegando al 97% (mínimo de compactación exigida para espesores < 6 cm) puesto en obra, se hace un tramo con un compactador neumático más, de 13 t.

Los resultados medios de la compactación de la mezcla con betún BBT 35/50 es del 97,7% y de la mezcla con betún 35/50 del 99,5% (ver figura 10).

Adichos testigos se les realizó una extracción de ligante para comprobar el grado de envejecimiento que había sufrido en el proceso de mezcla y compactación. Los

Tabla 11. Extracción de ligante de los testigos

Ensayos	Norma ensayo	35/50	BB7 35/50
Penetración original, 0,1 mm	UNE EN 1426	50	51
Penetración extraído, 0,1 mm	UNE EN 1426	23	29
Diferencia, 0,1 mm	-----	27	23
Porcentaje penetración original, %	-----	46	57
Anillo-Bola original, °C	UNE EN 1427	52,6	52,4
Anillo-Bola extraído, °C	UNE EN 1427	59,7	60,1
Diferencia, °C	-----	7,1	7,7

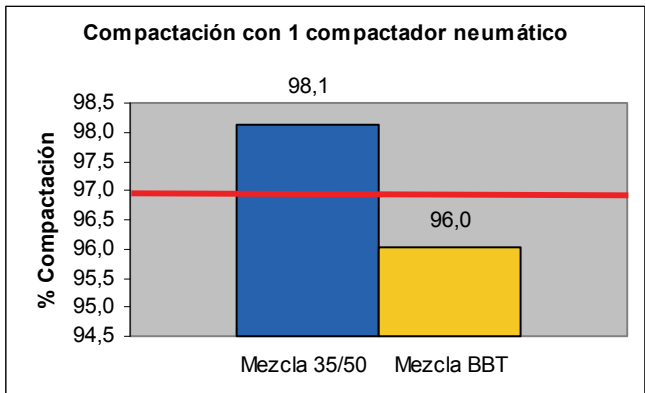


Figura 9

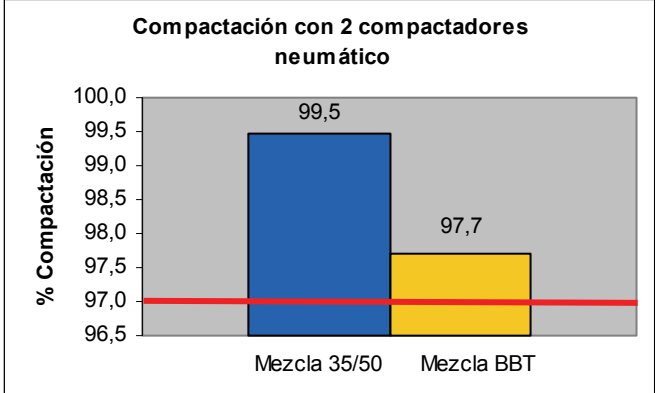


Figura 10

resultados fueron reflejados en la tabla 11.

Evidentemente el ligante 35/50, trabajado a mayor temperatura, ha sufrido una mayor evolución (envejecimiento) en planta que el ligante BBT 35/50. Esa diferencia observada en el valor de penetración de ambos ligantes puestos en obra, se debe hacer notar en las prestaciones finales de la mezcla.

9.2. Macrotextura superficial

Se hacen mediciones de la profundidad de la macrotextura superficial del pavimento mediante el ensayo del círculo de arena UNE-EN 13036-1 1ª Parte; obteniéndose una profundidad media para el betún 35/50 de 0,74 mm; y para el betún BBT 35/50 de 1,06 mm (véase figura 11).

En la fotografía 9 podemos ver un detalle de la macrotextura superficial de la mezcla semicaliente.

10. Conclusiones

- La utilización de ligantes de tensión superficial reducida, en mezclas semicalientes, ha resultado exitosa desde el punto de vista de los resultados obtenidos en laboratorio y en la obra. Los parámetros evaluados tanto en mezcla convencional como en semicaliente arrojan diferencias significativas.
- Los criterios de dosificación de estas mezclas deben estar basados en métodos realizados con compactación giratoria preferentemente.
- La fabricación se hace en las mismas condiciones que con un betún normal;



Foto 9. Macrotextura mezcla BBT

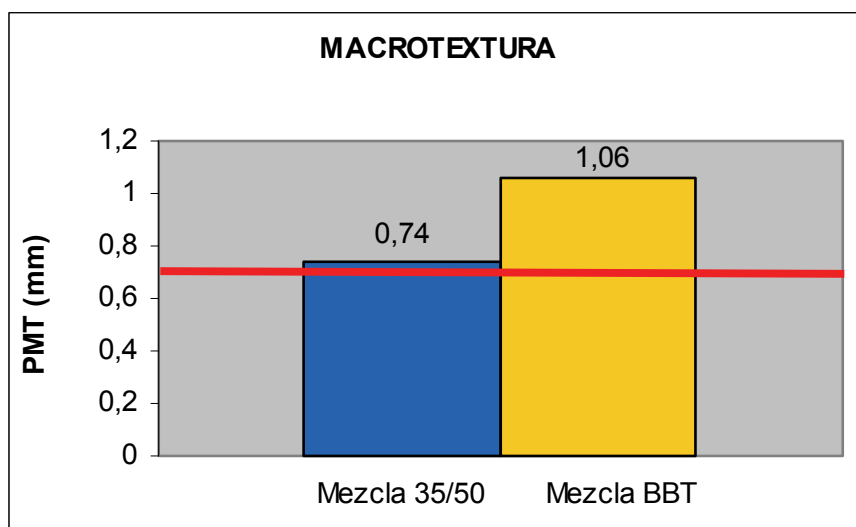


Figura 10

- hay que tener en cuenta que tenemos que subirla el tiempo de envuelta para la mezcla semicaliente para ayudar a la cobertura (entre 2 y 4 segundos más).
- En el extendido se observa que la mezcla semicaliente es un material más difícil de manejar con la pala de mano (agri); el compactador neumático puede entrar antes, debido a que no se pega la mezcla a las ruedas del compactador, ya que la temperatura de trabajo es menor que con la mezcla convencional.
- El envejecimiento del betún BBT 35/50 es menor que el betún 35/50 por lo que tendremos una mayor durabilidad en la mezcla semicaliente.
- El ahorro energético en Gas Natural es del 28,25% por tonelada fabricada (para la mezcla semicaliente), con una disminución de CO₂ de 4,75 kg por tonelada fabricada. Este ahorro energético se traduce en una disminución del precio por tonelada fabricada de 0,51 € (en GN).
- Hay que tener en cuenta que para poder llegar a las compactaciones en obra hay que aumentar previsiblemente el número de máquinas de compactación o el peso del compactador.
- Tenemos una disminución de la exposición de los trabajadores a las tempe-

raturas de puesta en obra en unos 3°C con la mezcla semicaliente.

- Existe una mejora en la macrotextura superficial para la mezcla semicaliente; lo que supone un aumento de la seguridad vial debido a la mejor adherencia de los vehículos al pavimento.
- En ambos tipos de mezclas, los trabajadores están expuestos a agentes químicos procedentes de los humos del asfalto muy por debajo de los valores límite admisibles (VLA).
- El ahorro energético todavía no es el suficiente (en €), para contrarrestar el aumento del precio del betún BBT 35/50 (con respecto al betún 35/50) y al aumento del número de máquinas (si fuesen necesarias). No hay que ver estas mezclas como un ahorro monetario, sino medio ambiental. Esperamos que con el tiempo (si la demanda es suficiente), llegara a un equilibrio en costo con los betunes convencionales (aditivos más baratos).

11. Bibliografía

- (1) PG-3 y Orden Circular 24/2008.
- (2) Bolsa Europea de Derechos de Emisión de CO₂. www.sendeco2.com.
- (3) Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Valores Límite Ambientales (VLA). ❖