

MICROAGLOMERADOS EN LA VIALIDAD INVERNAL

Julio del Pozo

Sorigué SA, España

juliodelpozo@telefonica.net

Nuria Querol, Xavier Agulló

Sorigué SA, España

nuria.querol@sorigue.com, xavier.agullo@sorigue.com

RESUMEN

Los microaglomerados originalmente desarrollados a principios de los 80 en Francia, se extendieron rápidamente al resto del continente, utilizándose principalmente para:

- ✓ Aumentar la resistencia al deslizamiento bajo lluvia.
- ✓ Reducir el ruido del neumático roce en el pavimento.
- ✓ La rehabilitación de la superficie de los pavimentos viejos.
- ✓ Pavimentos urbanos.
- ✓ La reducción de los costes mediante dotaciones cada vez más bajas.
- ✓ Mejor percepción de las señales horizontales en condiciones climáticas adversas.

Entre los diferentes tipos de capas delgadas, las que ganaron más popularidad eran los microaglomerados discontinuos, formados por capas entre 1,5 y 3,5 cm de espesor.

En los últimos años Andorra ha llevado a cabo las pruebas de carretera a diferentes cotas (950 m, 1500 m), con resultados satisfactorios, con la textura macro con este tipo de superficies. Los resultados sugieren que los microaglomerados en caliente tienen una alta resistencia a la deformación permanente, una mejora significativa en seguridad y confort de los usuarios, y la sostenibilidad, que, en su conjunto, son superiores a los obtenidos con otras mezclas convencionales.

1.- INTRODUCCIÓN

Los microaglomerados, primeramente en frío y más tarde en caliente han sido profusamente utilizados en capas de rodadura con la intención de dar a ésta unas características especiales en comparación con las convencionales capas densas o semidensas utilizadas tradicionalmente.

Las características de cada una de ellas, frío y caliente, son entre otras las siguientes:

Microaglomerados en frío:

- ✓ Economía en la mezcla y espesor.
- ✓ Rozamiento a bajas velocidades debido a su textura positiva y megatextura.
- ✓ Cierta poder de impermeabilización en grietas top-down finas y dispersas.
- ✓ Menor coste energético en su fabricación.
- ✓ Menor durabilidad que las mezclas en caliente.

- ✓ Poco poder de impermeabilización en las grietas más desarrolladas debido a su excesiva rigidez.
- ✓ Excesivo ruido de circulación.
- ✓ Vulnerabilidad a la acción de las cuchillas quitanieves.
- ✓ Pérdida de árido en los primeros momentos de su puesta en servicio.

Microaglomerados en caliente:

- ✓ Economía por su pequeño espesor.
- ✓ Rozamiento a medias y altas velocidades debido a su textura negativa.
- ✓ Mayor poder de impermeabilización.
- ✓ Mayor durabilidad, equivalente a las mezclas en caliente.
- ✓ Amortiguación del ruido del tráfico.
- ✓ Comodidad y seguridad para el usuario.
- ✓ Apertura al tráfico inmediata.
- ✓ Mejor visibilidad de la señalización horizontal en climas adversos.
- ✓ Menor vulnerabilidad a la acción de las cuchillas quitanieves, debido a su textura.

Estas características de uno y otro, a veces opuestas, han originado el mayor uso de los microaglomerados en caliente en los últimos años, y es a ellos, en el escenario de la vialidad invernal, a los que se va a referir la presente comunicación.

2.- SÍNTESIS NORMATIVA

Los microaglomerados en caliente, o mezclas discontinuas, están codificadas como BBTM (Betón Bitumineux Tres Mince) con un tamaño máximo de árido de 11 mm y 8 mm, así como mayor o menor discontinuidad, tipo A, menos discontinua, o tipo B más discontinua. Los granulométricos de cada una de ellas son los de la Figura 1 Y 2.

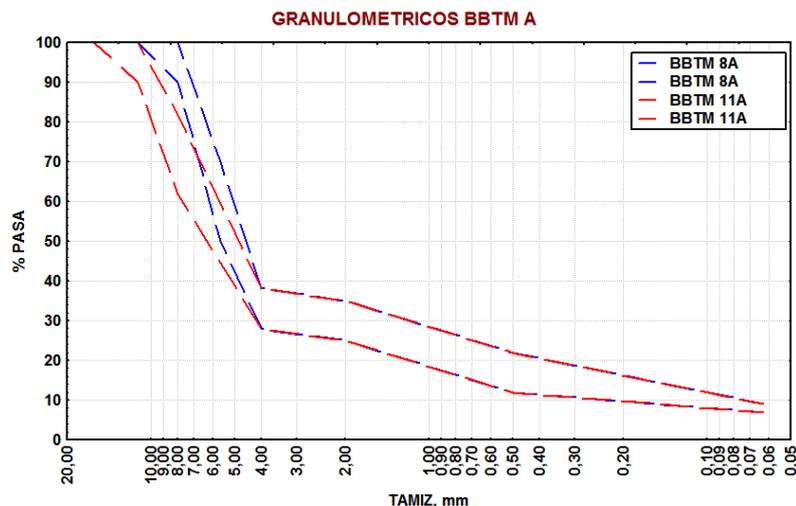


Figura 1

El árido grueso debe ser totalmente de machaqueo, con un desgaste de Los Angeles menor de 15, y un CPA de 44 a 56, según el tipo de tráfico.

El tipo de betún varía desde BM-3c hasta de penetración, también según el tipo de tráfico.

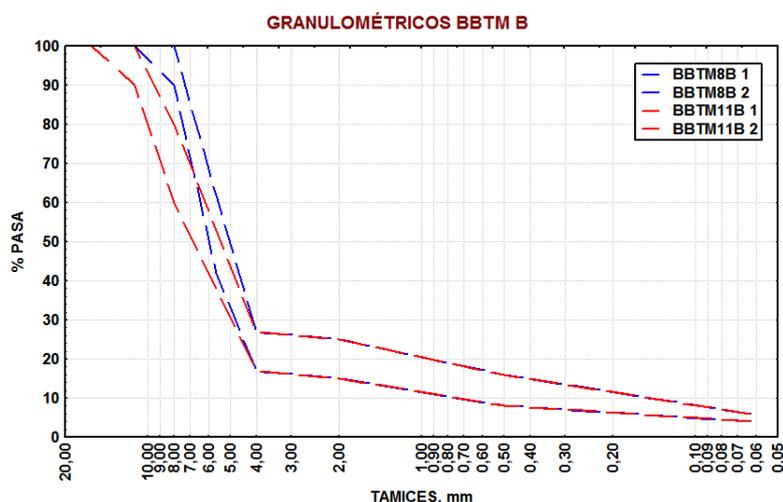


Figura 2

Los tamaños inferiores a 4 mm son iguales para los tipos A y B, y solamente la gravilla es más o menos gruesa en ambos casos. Los huecos mínimos en el A son del 4% y del B, 12%. La textura del B es mayor (mínimo 1.5 mm) en el B, y menor (1.1 mm) en el A, como corresponde a los tamaños máximos de sus gruesos. El coeficiente de rozamiento CRT mínimo es de 65 para el A, más continuo, y 60 para el B, con textura similar a las mezclas drenantes.

La deformación permanente medida según el procedimiento B, en aire, de la norma UNE-EN 12697-22, a 60°C, y compactada la muestra según la UNE-EN 12697-30, debe ser del 0,07 a 0,10, según el tipo de tráfico. La sensibilidad al agua según la norma UNE-EN 13697-12 debe ser mayor del 90%.

3.- CARACTERÍSTICAS INICIALES Y EVOLUCIÓN DE LOS MICROAGLOMERADOS

Los microaglomerados, compuestos básicamente por una proporción importante de gravilla y una minoritaria de arena que hace de mortero cohesionador del conjunto, tiene inicialmente unas propiedades que varían en función de la proporción de cada uno de los dos grupos granulométricos.

Así, por ejemplo el coeficiente de rozamiento, CRT, varía con la velocidad de los vehículos de forma diferente a las mezclas densas o semidensas. Los microaglomerados en caliente con más textura y menos superficie de contacto a bajas velocidades, amortiguan menos su caída de CRT debido a su drenabilidad superficial a altas velocidades, coeficiente de amortiguación 0.0076 frente a 0.0161 en la mezcla semidensa.

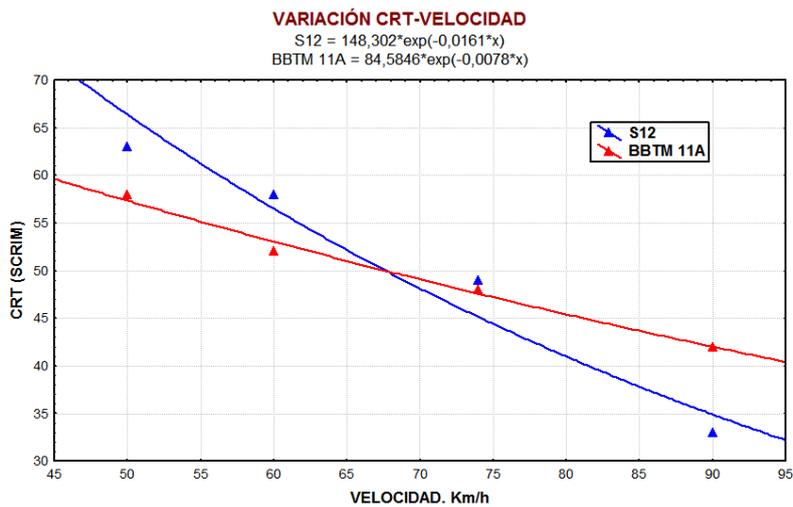


Figura 3

La textura, factor que va a influir en su drenabilidad superficial, amortiguación de ruido y visibilidad en condiciones climatológicas adversas, está relacionada con la proporción de gravilla, su tamaño máximo, su continuidad, forma más o menos cúbica, y velocidad de extendido. A título de ejemplo la variación de la textura con la proporción de arena se indica en la Figura 4.

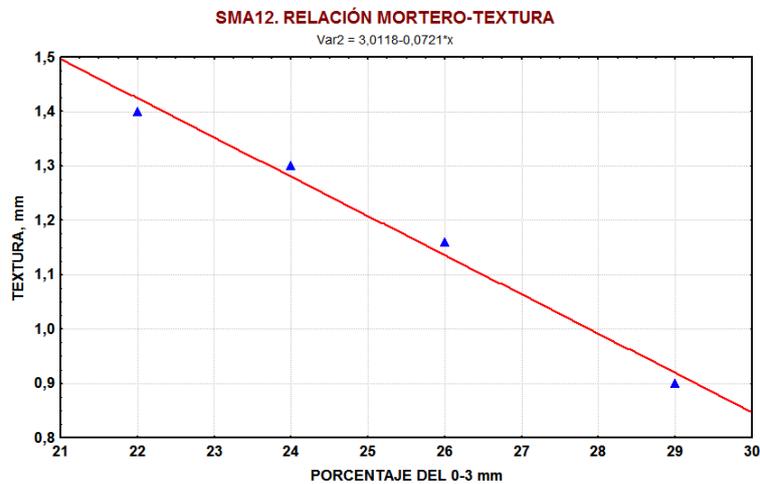


Figura 4

En cuanto a su comportamiento futuro en tramos de tráfico elevado, tipo T00, las Figuras 5, 6 y 7 ofrecen una visión de la amortiguación de sus características funcionales. Esta variación estará sujeta también a la naturaleza de los áridos, forma, y sobre todo del tráfico de la vía en cuestión, que en este caso representa las condiciones más duras de circulación, tanto en intensidad de vehículos como de porcentaje de pesados.

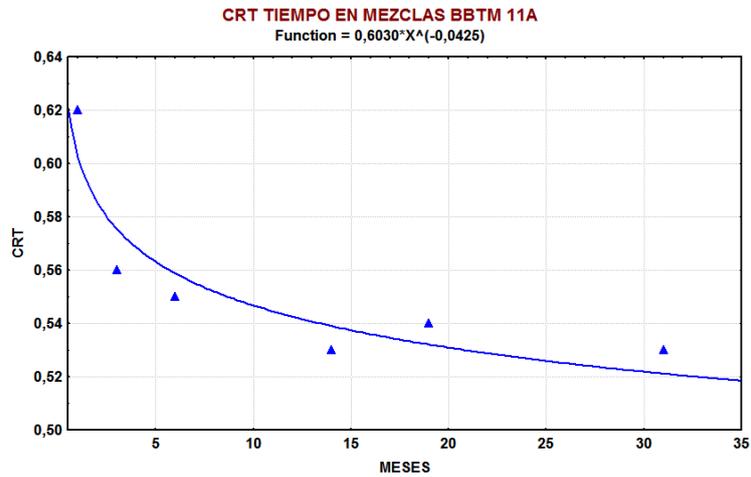


Figura 5

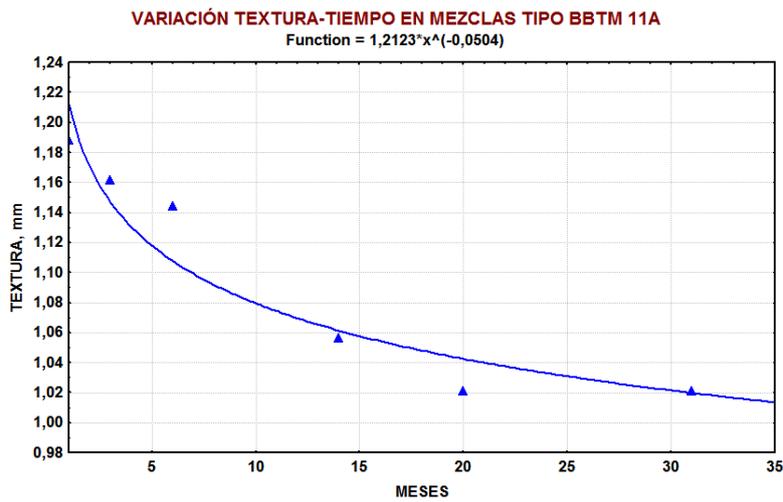


Figura 6

La Figura 7, muestra que desde el inicio la mezcla es impermeable y que posteriormente se va cerrando asintóticamente hasta valores muy altos. La alta proporción de filler y betún hace que también pueda impermeabilizar grietas singulares y más importantes como juntas de extendido, asentamiento de la base, retracciones de grava cemento, etc.

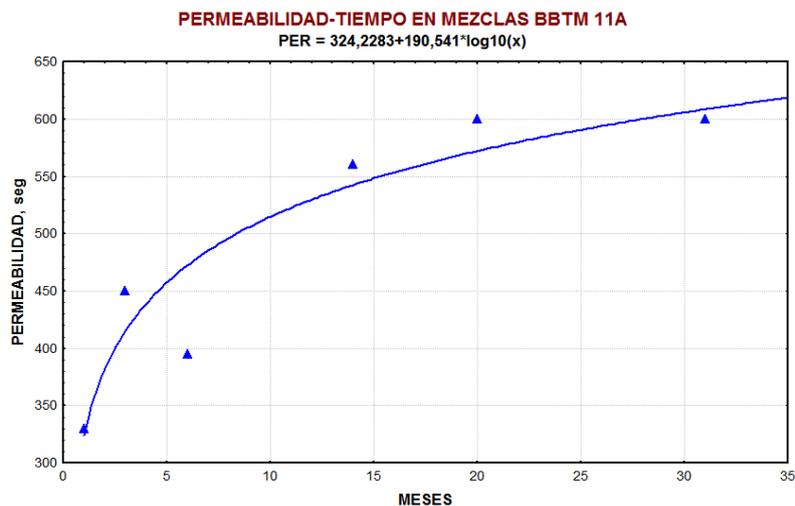


Figura 7

4.- LOS MICROAGLOMERADOS EN CLIMAS FRÍOS

Las mezclas discontinuas deben ser diseñadas especialmente si van a ser extendidas en zonas de climas fríos, pues tienen características que las pueden hacer más vulnerables en determinados aspectos que las mezclas convencionales. Así, su textura, que le confiere las buenas cualidades señaladas, también comporta mayor superficie específica en contacto con el aire lo que puede hacer que su enfriamiento sea más rápido, si bien entran en juego otros factores como la naturaleza de los áridos. Este efecto hace que sean preferidas las mezclas tipo BBTM A, que tienen menor textura y más mástico.

Por otro lado, el menor contenido en huecos del tipo A, hace que se pueda crear una estructura de mortero con huecos no comunicados que servirán para rebajar el coeficiente de conductividad térmica del conjunto. El tipo B a pesar de tener más huecos, éstos estarán proporcionalmente más comunicados, con lo que el efecto aislante del aire no se producirá, pasando la mezcla a tener mayor superficie específica en contacto con el aire frío.

Adicionalmente, las mezclas del tipo A, por tener más mástico, serán más impermeables, con la consiguiente mejora de la estructura del firme y condiciones de vialidad invernal sobre todo en heladas después de lluvia.

En cuanto al comportamiento de estas mezclas para resistir el paso de las cuchillas quitanieves, es de remarcar la importancia que tiene la inserción de elementos de caucho ó poliuretano para proteger el pavimento, pero en cualquier caso la textura negativa de este tipo de mezclas las hace más resistentes a la erosión potencial producida por este tipo de maquinaria.

En base a estas consideraciones, las mezclas del tipo BBTM 11A ó BBTM 8A son los microaglomerados más aptos para zonas de climas fríos donde la vialidad invernal es un factor importante a tener en cuenta.

5.- PRODUCTOS ANTIHIELO

Existen productos que agregados a la mezcla bituminosa rebajan el punto de congelación hasta -6°C . Estos productos pueden agregarse tanto en microaglomerados en caliente como en frío. Uno de ellos es un filler compuesto de sales tales como el CLNa , Cl_2Ca y siliconas, esta última actuando como elemento hidrófugo protector de la disolución eventual de las sales.

Para comprobar su eficacia como filler y como producto antihielo, se han efectuado ensayos de laboratorio caracterizando el material y su acción sobre las mezclas. Para ello se han hecho los siguientes ensayos:

- ✓ Granulometría del filler antihielo y de recuperación de la planta.
- ✓ Ensayos reológicos sobre el mástico con diversas proporciones de filleres y su comparación con una mezcla convencional de referencia. Estos ensayos han sido: DSR a varias temperaturas, creep y ductilidad a 5°C .
- ✓ Sobre las mezclas se han hecho ensayos de compactación en máquina giratoria, huecos, sensibilidad al agua y ensayo de pista.
- ✓ Se han sometido distintas probetas a bajas temperaturas observando después su evolución.

La granulometría del producto antihielo se ha realizado mediante láser Mastersizer para conocer todo el espectro de tamaños comparado con el filler de planta.

Los resultados han sido los siguientes:

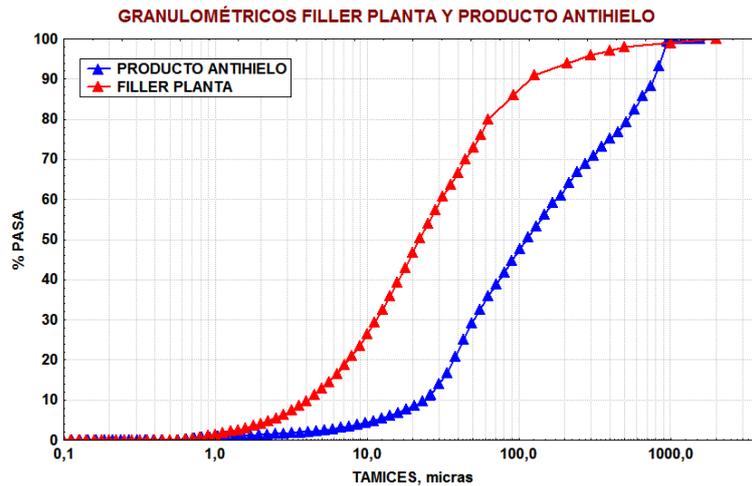


Figura 8

La superficie específica del filler de planta es de 307 m²/Kg, y la del producto antihielo, 105 m²/Kg. Por lo tanto, cuanto más proporción de filler de planta haya en la mezcla, a igualdad de proporción de betún, más rígida será, más resistente a las deformaciones plásticas a altas temperaturas, y menos a la fisuración a bajas temperaturas.

Los ensayos de reología del mástico, se han realizado con una composición filler/betún, de 1,5:1. El betún ha sido tipo B 50/70 y BM-3c, y el filler se ha tamizado por 0.063 mm, con tres composiciones: todo el polvo mineral filler de planta; 82% polvo mineral de planta y 18% producto antihielo; y 74% polvo mineral de planta, y 26% producto antihielo.

La denominación de las muestras es la siguiente: El primero constituye el mástico de referencia (**MR-B**) con betún B 50/70, y (**MR-BM**) con betún BM-3c; el segundo, con el 18% de producto antihielo pasando por el tamiz 0.063 mm (**M1-B**), con betún B 50/70, y (**M1-BM**) con betún BM-3c; y el tercero, con 26% producto antihielo pasando por el tamiz 0.063 mm, (**M2-B**) con betún B 50/70, y (**M2-BM**) con betún BM3c.

Se han ensayado todas las muestras con el reómetro de corte DSR, a 58°C y a 25°C. Los resultados se muestran en las Figuras 9 y 10.

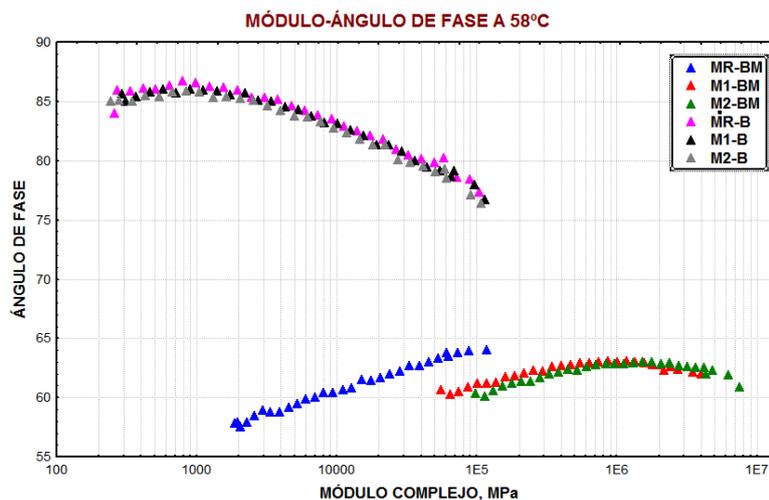


Figura 9

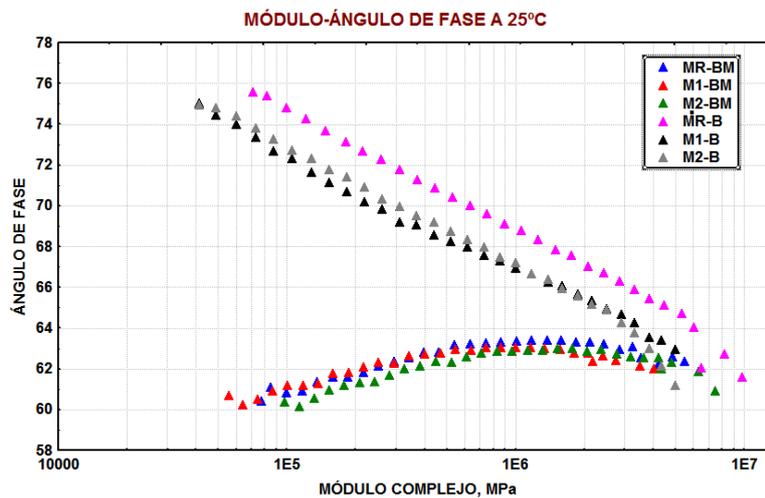


Figura 10

Las frecuencias han variado de 0.01 Hz a 10 Hz.

El diagrama de Black a 58°C, muestra el mejor comportamiento del betún modificado, con un rango de ángulos de fase claramente inferiores e independientes casi de la frecuencia. Los módulos también son superiores a las muestra con betún normal, lo que indica un comportamiento más elástico y bueno para las deformaciones plásticas, en particular el M2-BM.

Este extremo habrá que comprobarlo en el ensayo de pista con el espesor de diseño, que es de 3 cm. Este espesor puede compensar la susceptibilidad del mástico, ya que la mezcla discontinua trabaja básicamente por rozamiento de los gruesos.

A 25°C el comportamiento con y sin betún modificado converge a altas frecuencias, a medida que las cargas son más lentas el comportamiento diverge mostrando la superioridad del BM-3c, con un ángulo de desfase inferior, cuasi constante en el rango de frecuencias medido, y por tanto con un comportamiento elástico más acusado.

A fin de completar el conocimiento del mástico con y sin producto antihielo, se han efectuado también ensayos de creep con el DSR a 58°C y 25 °C, con una carga de 1.000 N, tiempo de carga 5 seg y una recuperación de 120 seg. Los resultados son los siguientes:

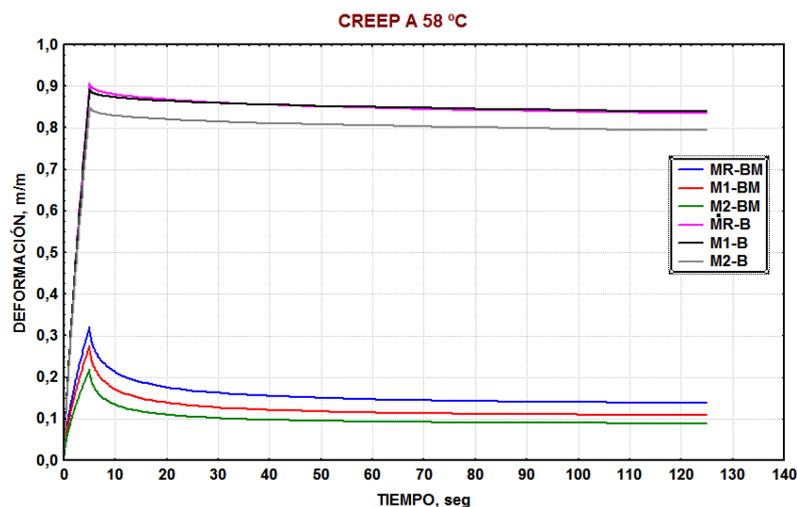


Figura 11

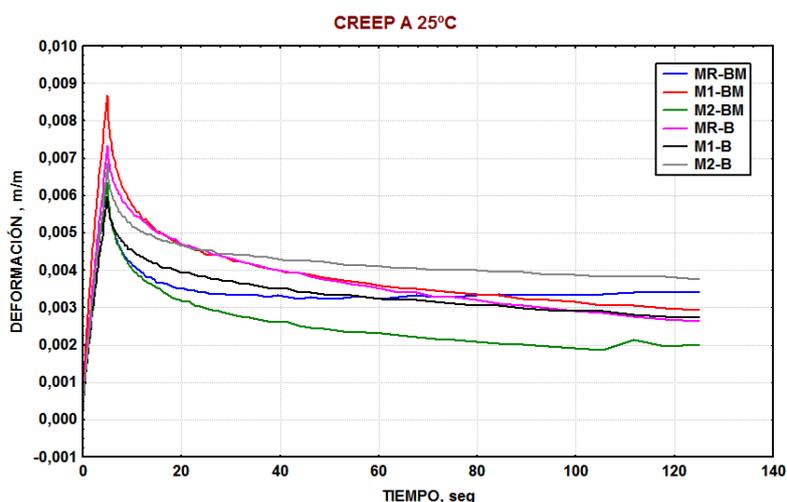


Figura 12

La tensión máxima y el porcentaje de recuperación del conjunto de los ensayos se resume en la Tabla 1 adjunta. Queda de manifiesto el comportamiento muy diferente del BM-3c a altas temperaturas, igualándose por el contrario a 25°C.

MÁSTICO	TEMPERATURA	PICO, N	% RECUPERACIÓN
MR-BM	58°C	0,322	0,57
M1-BM		0,276	0,61
M2-BM		0,219	0,59
MR-B		0,907	0,08
M1-B		0,894	0,06
M2-B		0,851	0,07
MR-BM	25°C	0,006	0,46
M1-BM		0,009	0,66
M2-BM		0,006	0,68
MR-B		0,007	0,64
M1-B		0,006	0,54
M2-B		0,007	0,45

Tabla1

En cuanto al comportamiento a fisuración a bajas temperaturas, se ha tomado la ductilidad a 5°C como parámetro cualitativo del comportamiento de los másticos (Figuras 13 y 14). El pico de las tres muestras con betún de penetración es similar, pero si se define un coeficiente igual al área encerrada dividida por la máxima deformación, es una característica del comportamiento a bajas temperaturas. A menor coeficiente mayor capacidad de deformación con menor absorción de energía. Por lo que el M2-B sería el mejor clasificado casi igualado por el MR-B y el M1-B.

	ÁREA, N*mm	ELONGACIÓN, mm	COEFICIENTE, N
MR-BM	5457	34,43	141
M1-BM	5054	38,69	134
M2-BM	6848	41,3	169
MR-B	4919	28,41	173
M1-B	3778	21,53	175
M2-B	5083	30,13	169

Tabla 2

En cuanto a las muestras de betún modificado el menor pico se produce con la muestra M1-BM, con energía-deformación menor y más favorable para el M1-BM, seguido del MR-BM y a más distancia el M2-BM.

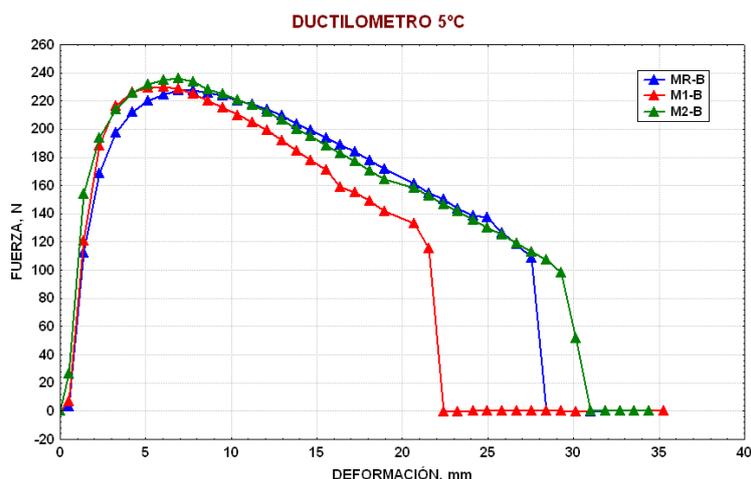


Figura 13

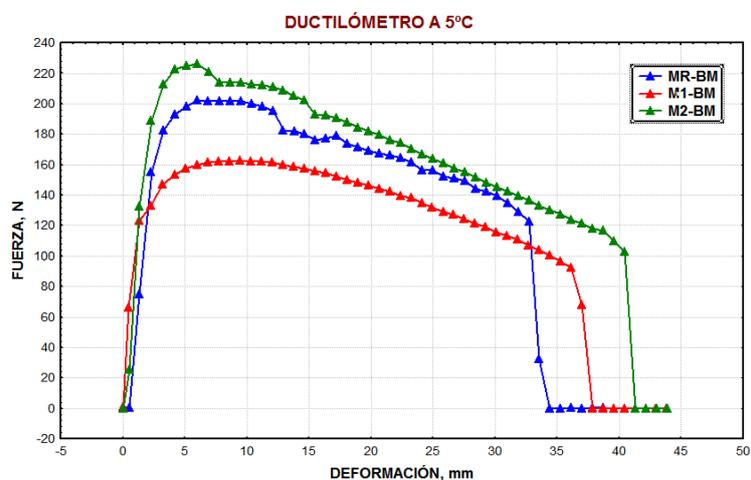


Figura 14

El estudio de las mezclas se ha efectuado con distintas opciones en base al producto antihielo, betunes de penetración, y betunes modificados. Dado que tamizado del filler antihielo en varias muestras, tiene porcentajes diferentes pasando por el tamiz 0.063 mm, se ha tomado la media del 36% como referencia para dosificar las muestras. La

dosificación adecuada del producto antihielo es del 4% sobre los áridos, Se hacen 3 hipótesis:

- ✓ **Mezcla BBTM 11A (MEZCLA R)** de referencia con el 100% de filler de planta y con betún B 50/70 y BM-3c.
- ✓ **Mezcla BBTM 11A (MEZCLA 1)** con el 4% filler antihielo pero considerando que solo parte es polvo mineral (36%), y completando el resto con polvo mineral de planta (7%). Betún B 50/70.
- ✓ **Mezcla BBTM 11A (MEZCLA 2)** con el 4% filler antihielo como si fuera polvo mineral el 80%, y completando con polvo mineral de planta (5%). Betún B 50/70.

Estas mezclas **MEZCLA R**, **MEZCLA 1** y **MEZCLA 2**, tienen una composición de polvo mineral similar a la de los másticos analizados **MR**, **M1**, y **M2**.

El polvo mineral de planta en el primer caso es el 8% sobre áridos. En el segundo y tercero, el porcentaje de producto antihielo ha sido del 4% sobre áridos, y el polvo mineral de planta en el segundo ha sido del 5,2% sobre áridos, y en el tercero el 4% sobre áridos.

El granulométrico de cada una de las mezclas es el siguiente:

BBTM 11A	16	11,2	8	4	2	0,5	0,063
MEZCLA R	100	100	70	34	31	18	8,1
MEZCLA 1	100	100	70	34	31	19	8,0
MEZCLA 2	100	100	70	34	31	17	6,8

Tabla 3

Para tener conocimiento del efecto de usar betún B 50/70 o BM-3c, se usan ambos betunes en la mezcla de referencia (Mezcla 1). Las curvas de compactación en máquina giratoria son las indicadas en la Figura 9, y en ellas se pone de manifiesto que la Mezcla R, con B 50/70, es la más compactable, seguida de la 1 y 2, prácticamente iguales, finalizando con la Mezcla R con betún BM-3c, la menos compactable, como era de esperar.

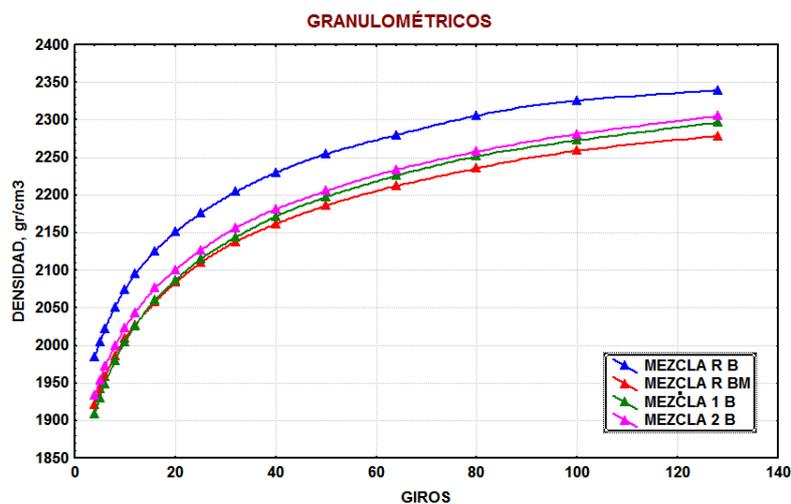


Figura 15

Los ensayos mecánicos efectuados están resumidos en la Tabla 4. Los huecos superficie seca saturada son superiores al 3% con un máximo de 3,6% y la geométrica superiores al 4%, con el máximo del 5.7% en la mezcla de referencia con betún BM-3c.

La sensibilidad al agua cumple en todos los casos con valores mayores del 90%, si bien los valores de tracción en seco y húmedo de la MEZCLA 2 son algo inferiores al resto. El ensayo de pista también da valores menores de 0,07 mm/1000 ciclos, con el mínimo en la Mezcla 1 con betún modificado BM-3c. Puede verse, como se había indicado en el ensayo de los másticos, que el espesor de capa, 3 cm, hace que el mortero sujete a la gravilla, pero que la mezcla trabaje por rozamiento amortiguando la sensibilidad del mástico.

MEZCLAR		Según superficie seca saturada				Según sistema geométrico				Marshall		Sensibilidad al agua			Ensayo de pista			
		Densidad	H. Mezcla	H. Arido	H. Rellenos	Densidad	H. Mezcla	H. Arido	H. Rellenos	Estabilidad	Def	TI seco	TI húmedo	RSTI	WTS	RD	PRD	
B 50/70	Promedio	2437	3,1	15,5	80,2	2408	4,2	16,5	74,4	9,1	3,35	2,121	2,164	102,0	0,065	2,26	7,88	
	Desviación estandar	3,9	0,2	0,1	0,8	10,3	0,4	0,4	1,9	0,6	0,09	0,067	0,087					
	Maximo	2443	3,3	15,7	81,5	2423	5,0	17,1	77,4	10,0	3,44	2,199	2,304					
	Mínimo	2430	2,8	15,3	78,7	2389	3,6	16,0	71,0	8,5	3,24	2,016	2,099					
MEZCLAR BM-3c	Promedio	2434	3,2	15,6	79,7	2371	5,7	17,8	68,1	10,8	3,29	2,122	2,089	98,4	0,056	2,19	7,20	
	Desviación estandar	14,5	0,6	0,5	3,1	21,7	0,9	0,8	3,6	1,5	0,11	0,082	0,119					
	Maximo	2457	4,0	16,3	84,7	2413	6,9	18,8	75,4	12,9	3,43	2,256	2,270					
	Mínimo	2414	2,3	14,8	75,6	2342	4,0	16,3	63,5	9,4	3,17	2,050	1,988					
MEZCLA 1	Promedio	2437	3,1	15,5	80,2	2408	4,2	16,5	74,4	9,1	3,35	2,121	2,164	102,0	0,065	2,26	7,88	
	Desviación estandar	3,9	0,2	0,1	0,8	10,3	0,4	0,4	1,9	0,6	0,09	0,067	0,087					
	Maximo	2443	3,3	15,7	81,5	2423	5,0	17,1	77,4	10,0	3,44	2,199	2,304					
	Mínimo	2430	2,8	15,3	78,7	2389	3,6	16,0	71,0	8,5	3,24	2,016	2,099					
MEZCLA 2	Promedio	2423	3,6	16,0	77,3	2377	5,4	17,5	69,1	9,0	3,22	2,036	1,878	98,3	0,061	2,20	7,43	
	Desviación estandar	8,8	0,4	0,3	1,8	12,5	0,5	0,4	2,1	0,7	0,27	0,128	0,089					
	Maximo	2436	4,3	16,6	79,9	2395	6,2	18,2	72,0	9,6	3,50	2,236	2,005					
	Mínimo	2406	3,1	15,5	74,0	2358	4,7	17,0	65,9	7,9	2,78	1,902	1,750					

Tabla 4

Para comprobar el efecto del producto antihielo se enfriaron diversas pastillas de mezcla AC16S a -15°C , observando después su evolución a temperatura ambiente. Se puede observar que en la pastilla de la derecha, de mezcla convencional, se ha recubierto de una pequeña lámina de agua condensada y congelada de la humedad propia del aire, mientras que la de la izquierda tiene un aspecto normal (Foto 1).

Sobre probetas cilíndricas con y sin producto antihielo se ha vertido agua con una altura de 5 mm, enfriando a -15°C . Posteriormente se ha observado su evolución en la que las dos placas inmediatamente de salidas del congelador eran transparentes, y al cabo de varios minutos se muestra que la placa de la probeta de la derecha, con producto antihielo, se ha despegado de la mezcla antes que en la de referencia, circulando el agua por la interfase y tomando el color blanquecino que se muestra en la Foto 2.

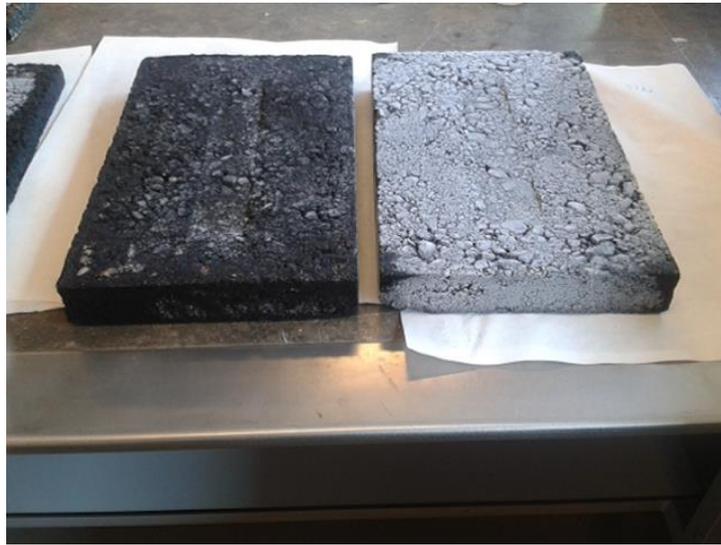


Foto 1. Probetas con producto antihielo (izquierda) y de referencia (derecha)



Foto 2. Producto antihielo (derecha) mezcla de referencia (izquierda)

6.- TRAMO DE PRUEBA

En base a los resultados obtenidos en laboratorio y dado que el tráfico de la carretera tiene un tráfico T 4.2, se elige la MEZCLA 1 para hacer el tramo de ensayo, es decir una BBTM 11A con betún B 50/70, un 4% de producto antihielo, y añadir filler de planta hasta el 8%.

Se trata de la CS-240, a una cota de 1.750 m, cuyo estado es de agrietamiento de superficie debido a la junta de extendido y envejecimiento del betún, con poca afectación a la función estructural. El tratamiento consiste en un fresado a todo lo ancho de 6 cm de profundidad, relleno posterior de 3 cm de espesor con mezcla tipo AC16S, y otros 3 cm de rodadura tipo BBTM11A.

El tramo de prueba ha consistido en la extensión en 100 m de MEZCLA 1; 200 metros de MEZCLA R; y 100 metros de mezcla tipo Alta Altitud, utilizada por los Serveis de Conservació del Govern Andorrà para su uso en cotas mayores de 1.800 m.

Las mezclas tipo BBTM 11A y Alta Altitud tienen la siguiente granulometría:

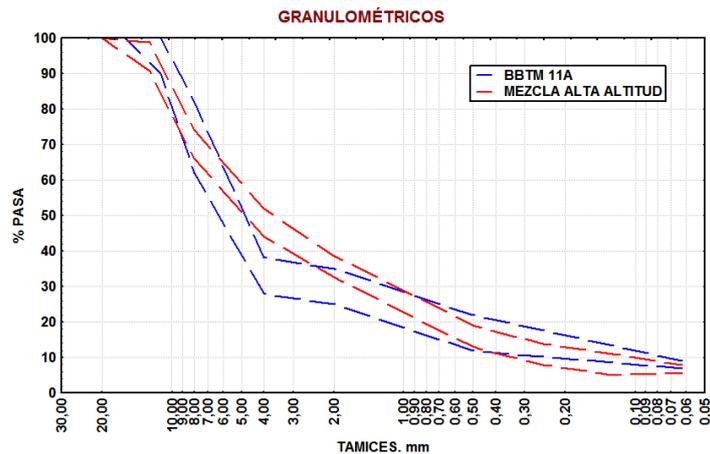


Figura 16

Ambas mezclas tienen un 5,3% de betún sobre mezcla. La mezcla tipo Alta Altitud es más continua, con una buena durabilidad y buen valor estructural, mayor que la BBTM 11A, pero con peores cualidades como rodadura, como son menor macrotextura, con el consiguiente menor amortiguamiento de ruido, menor drenabilidad superficial, menor rozamiento a altas velocidades, etc.

En las fotos adjuntas puede verse la textura de la mezcla BBTM 11A con producto antihielo, y el aspecto general de la calzada inmediatamente después del extendido de una y otra mezcla. La dotación de la mezcla BBTM 11A ha sido de 65 Kg/m², y la emulsión del tipo termoadherente con 500 gr/m².

El plan de seguimiento de la evolución de la rodadura será el siguiente:

- ✓ Medida de la textura cada 3 meses durante 1 año.
- ✓ Medida del coeficiente de rozamiento cada 3 meses durante 1 año.
- ✓ Medida del estado de agrietamiento cada 2 meses.

En un plazo de un año se extraerán las conclusiones oportunas.

7.- OTROS USOS

La familia de los microaglomerados en caliente tiene distintas posibilidades, así el tipo BBTM 8A adecuado también para vías de principales puede extenderse con dotaciones menores de hasta 40 Kg/m², con una textura algo menor y una buena absorción de ruido.

Dependiendo de la clasificación de los áridos disponibles se puede ir también a dotaciones de hasta 15 Kg/m² con una arena 0-6 mm silicocalcárea, clasificándola en un tamaño 0-2 mm y 4-6 mm, o bien cortándola en 2 mm cambiando las proporciones 0-2 (30%) y 4-6 mm (70%). Esta es una buena opción para vías urbanas, calles, etc, donde no haya tráfico pesado importante.

8.- CONCLUSIONES

En principio y a falta de las conclusiones definitivas pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- ✓ Los microaglomerados en caliente con la adecuada proporción de mortero y mástico constituyen una rodadura de calidad, permitiendo distintas combinaciones de áridos para obtener las dotaciones mínimas adecuadas a la vía.
- ✓ Las dos opciones de mástico M1 y M2, no difieren demasiado de la de referencia MR, y solamente se pone de manifiesto el mejor comportamiento de las muestras con betún modificado.
- ✓ El uso de betunes modificados mejora la calidad del mástico pero no las características mecánicas de la mezcla, debido a su estructura discontinua y su pequeño espesor. Parece más adecuado el uso de betunes de penetración, al menos en tráfico medios y bajos, que además facilita conseguir espesores mínimos debido su menor viscosidad.
- ✓ Las mezclas en los cuatro casos analizados son aceptables en cuanto a sus parámetros normativos, si bien la MEZCLA 2 en el ensayo de sensibilidad al agua ha dado valores de tracción inferiores al resto de las muestras, lo que llevaría a una vigilancia especial de este parámetro, incorporando activantes en caso necesario.
- ✓ El producto antihielo, si rebaja la temperatura de congelación de la superficie, será útil en zonas especiales, como tableros de puente, donde la congelación se produce antes que en las zonas adyacentes con el consiguiente cambio brusco de condiciones de circulación y riesgo de accidentes. También puede ser útil en zonas de umbría en desmontes, rampas o zonas de especial accidentabilidad debido a otras causas.
- ✓ El producto antihielo tiene proporciones de polvo mineral variables, lo que obliga a tamizar el producto antes de su utilización al objeto de añadir el correspondiente filler.

REFERENCES

1. Experiencias de empleo de un aditivo antihielo en mezclas bituminosas en caliente, S Miranda, N. Molina y otros.
2. A. Valiente. Curso de comportamiento mecánico de materiales: Elasticidad y viscoelasticidad. E.T.S.I.C.C.P.-U.P.M. Madrid, 2000.
3. A.S. Wieman, K.R. Rajagopal. Mechanical response of polymers: an introduction. Cambridge University Press. Cambridge, 2000.
4. E. Riande, R. Díaz-Calleja, M.G. Prolongo, R.M. Masegosa, C. Salom. Polymer viscoelasticity: stress and strain in practice. Marcel Dekker. New York, 2000.
5. I.M. Ward, D.W. Hadley. An introduction to the mechanical properties of solid polymers. John Wiley & Sons. Chichester, 1993.



Foto 3. Aspecto de la calzada antes de la actuación



Foto 4. Aspecto de la textura de la mezcla BBTTM 11A con producto antihielo



Foto 5. Textura mezcla ALTA ALTITUD