



Centro Politécnico Superior
Edificio "Agustín de Betancourt" Campus Río Ebro
50018 Zaragoza (Spain) - **Tfno: (34) 976 761 000**



NUEVAS MEZCLAS PARA CAPAS DE RODADURA Y SU INFLUENCIA EN EL CONFORT (RUIDO) Y LA SEGURIDAD

Rodrigo Miró Recasens
Universidad Politécnica de Cataluña

ZARAGOZA, 14 DE DICIEMBRE DE 2006

1.- INTRODUCCIÓN

Un firme de carretera está constituido por un conjunto de capas horizontales cuya función es transmitir a la explanada las sollicitaciones del tráfico suficientemente amortiguadas para que puedan ser soportadas por ésta. Al mismo tiempo ha de proporcionar una superficie de rodadura cómoda y segura para la circulación de los vehículos.

Normalmente, al proyectar un firme, suele prestarse gran atención a su función estructural y no tanta a su aspecto funcional. Sin embargo, esta característica del firme es fundamental y cada vez va teniendo más peso a medida que los usuarios y vecinos contiguos a las carreteras y vías urbanas exigen unas mayores cotas de calidad y bienestar.

Las características o cualidades funcionales del firme residen fundamentalmente en su superficie. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios, como:

- la adherencia del neumático al pavimento,
- el ruido en el exterior y en el interior del vehículo,
- las proyecciones de agua en tiempo de lluvia,
- la resistencia a la rodadura (consumo de carburante),
- las propiedades ópticas,
- el desgaste de los neumáticos, y
- el envejecimiento de los vehículos.

Estos aspectos funcionales del firme están principalmente asociados con la textura y regularidad superficial del pavimento. En la Tabla 1 puede observarse la incidencia de cada uno de estos factores sobre las cualidades del firme. Dentro de la textura se suele distinguir entre la microtextura, irregularidades superficiales del pavimento menores de 0.5 mm, la macrotextura, irregularidades de 0.5 a 50 mm, y la megatextura, irregularidades de 50 a 500 mm. La primera sirve para definir la

aspereza del pavimento, la segunda su rugosidad y la tercera está más asociada con los baches o peladuras que puede haber en el firme. Por otra parte, la irregularidad superficial está asociada con ondulaciones de longitudes de onda mayores de 0.5 m.

Como puede observarse en dicha tabla, la microtextura, la aspereza del pavimento, es necesaria para conseguir una buena adherencia. La macrotextura es necesaria para mantener esa adherencia a altas velocidades o con el pavimento mojado. La macrotextura mejora también la visibilidad con pavimento mojado, elimina o reduce los fenómenos de reflexión de la luz, que tienen lugar en los pavimentos lisos mojados, y mejora la percepción de las marcas viales. Por contra, los pavimentos rugosos, con fuerte macrotextura, producen un mayor desgaste de los neumáticos y suelen resultar ruidosos.

La megatextura y la irregularidad superficial resultan indeseables desde cualquier punto de vista. Inciden negativamente sobre la comodidad y aumentan el ruido de rodadura, los gastos de mantenimiento de los vehículos y los gastos de conservación de la vía. Del análisis de esta tabla se deduce también que es difícil optimizar a la vez todas las cualidades funcionales de los pavimentos. Así, por ejemplo, al aumentar la macrotextura del pavimento para mejorar la seguridad se produce como contrapartida un aumento del ruido de rodadura. No obstante, desde hace tiempo, los técnicos de carreteras están luchando por mejorar en todos los sentidos las capas de rodadura. En la década de los 80, fueron los aglomerados drenantes. Hoy en día se han optimizado las características de los materiales empleados en capa fina, microaglomerados, habiéndose conseguido unos materiales idóneos para su uso en pavimentación de firmes, con mejores prestaciones que las mezclas convencionales utilizadas como capas de rodadura.

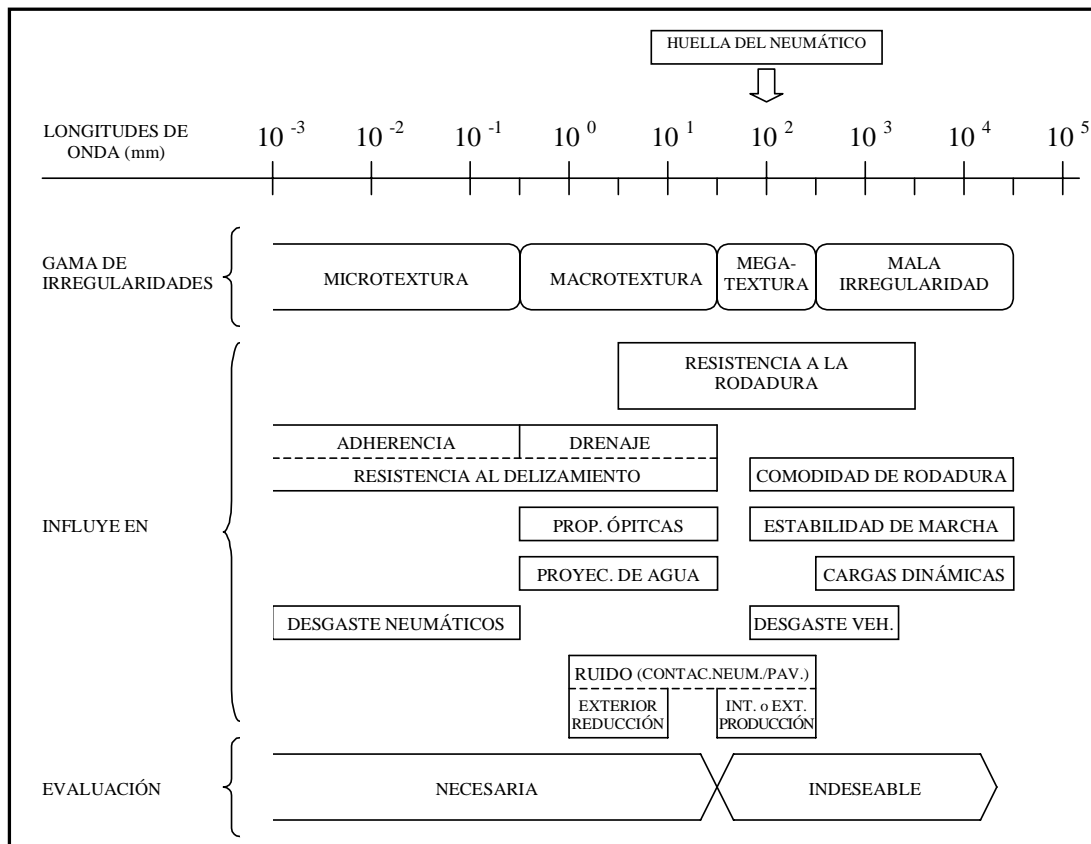


Tabla 1. Efecto de las características superficiales sobre las cualidades funcionales del firme (AIPCR)

2.- CAPAS DE RODADURA DRENANTES

Las capas de rodadura drenantes constituyen un tipo particular de pavimento que fue inicialmente concebido para mejorar la circulación con lluvia y evitar el problema de aquaplaning o hidropneumático.

La presencia de agua sobre el pavimento dificulta el contacto del neumático con la superficie del firme, dando lugar a que se produzcan con mayor facilidad ocasiones para el deslizamiento y el vuelco de los vehículos que circulan a altas velocidades.

Con objeto de mejorar la adherencia neumático-pavimento con lluvia o en presencia de agua, se ha desarrollado este tipo de pavimento que facilita la

evacuación del agua a su través y el contacto neumático-pavimento. En esencia consiste en colocar en los 3-5 centímetros superiores del firme una mezcla porosa que actúa como capa de rodadura drenante. Esta capa absorbe y elimina el agua de la superficie del firme, conduciéndola a su través hacia las zonas laterales fuera de la calzada. De esta manera se consigue prácticamente eliminar el problema de hidroplaneo. Así pues, estas mezclas cambian el concepto tradicional de impermeabilizar la superficie de la carretera, trasladando esta función a la capa inferior o a la interfase entre ambas.

Además, el empleo de estas capas ha puesto de manifiesto, respecto a los pavimentos convencionales, otra serie de ventajas tan importantes como la anterior, algunas de las cuales podemos apreciar cualitativamente en las figuras 1 y 2, donde se recoge el aspecto con lluvia de dos tramos contiguos de carretera, pavimentado el uno con una mezcla convencional tipo S-12 y el otro con una mezcla porosa.

En estas dos fotografías podemos contrastar claramente algunas de las ventajas que presentan las capas de rodadura drenante frente a los pavimentos convencionales.

Elimina el agua proyectada y pulverizada por el paso de los vehículos.



Figura 1. Aspecto de un pavimento convencional con lluvia

Quizás sea éste uno de los efectos más espectaculares y a la vez más prácticos de este tipo de pavimento. El agua se introduce en el interior de la capa y es drenada hasta los arcenes a su través, con lo que se consigue mantener la superficie libre de agua y eliminar por completo su proyección y salpicadura por el paso de los vehículos. Esto repercute de manera beneficiosa sobre la visibilidad y seguridad del conductor.



Figura 2. Aspecto de un pavimento poroso con lluvia

Evita la reflexión de la luz

Con lluvia se produce con facilidad la reflexión de la luz sobre los pavimentos lisos e impermeables. Al eliminar los pavimentos drenantes el agua de la superficie del firme, se eliminan también los fenómenos de reflexión de la luz y mejoran notablemente las condiciones de visibilidad del conductor. Por otra parte, las oquedades que presenta la mezcla contribuyen a resaltar la señalización horizontal.

Aparte de estas ventajas, claras de apreciar cualitativamente, hay otras que han sido puestas de manifiesto cuantitativamente, mediante los correspondientes aparatos de medida. Estas son las siguientes:

Una macrotextura elevada, adecuada para mantener la adherencia neumático-pavimento a altas velocidades.

Las capas de rodadura drenantes presentan una superficie lisa, sin resaltos, pero con numerosas oquedades. Estas oquedades, comunicadas entre sí, confieren al pavimento una alta macrotextura, del orden de 1,5 a 2,5 mm de profundidad, medida con el ensayo de mancha de arena. Esta macrotextura hace que estos pavimentos mantengan elevada la adherencia neumático-pavimento a altas velocidades.

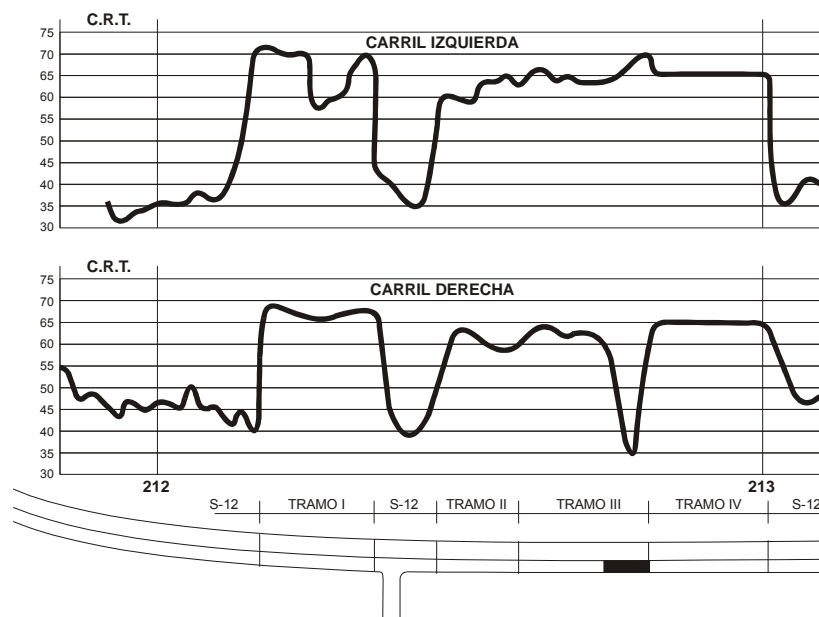


Figura 3. Medida del CRT en pavimentos densos y porosos

En la figura 3, puede observarse la notable diferencia entre los valores del coeficiente de resistencia transversal, medidos con el SCRIM a 80 Km/h, entre un pavimento denso convencional, mezcla tipo S-12, y una mezcla porosa, fabricadas ambas con los mismos tipos de árido.

Pavimento de rodadura cómoda y silenciosa

Otra de las ventajas, cada vez más importante, de este pavimento, es que ofrece una rodadura silenciosa. En los pavimentos densos un aumento de macrotextura supone un aumento del nivel sonoro, mientras que estos pavimentos, a igual textura, son más silenciosos e incluso absorben el ruido del motor.

La reducción de ruido producida por una capa de rodadura drenante respecto a una capa densa del mismo espesor, depende de su espesor y del porcentaje de huecos (Descornet, 1988):

$$\Delta L = 0,005.n.e$$

siendo:

- ΔL = reducción del ruido, dB(A)
- n = huecos en mezcla, %
- e = espesor de la capa de rodadura, mm

Esto quiere decir que se puede obtener una reducción significativa de ruido, del orden de 4 dB(A), si se emplea una capa drenante de 4 cm de espesor y un porcentaje de huecos superior al 20%.

En la tabla 2 se recoge el efecto que sobre el ruido de rodadura y en el interior del vehículo tiene el empleo de capas de rodadura drenantes frente al empleo de otros tipos de pavimentos. La disminución de ruido es importante y muy superior a las conseguidas por los fabricantes de vehículos mediante el empleo de motores más silenciosos y de aislamientos acústicos. Como término medio se indica una reducción de ruido de 3 a 5 dB(A), frente a un pavimento denso asfáltico, y hasta 15 dB(A), respecto a un pavimento rígido con ranurado transversal. Estas diferencias pueden aumentar con el pavimento mojado ya que entonces el incremento de ruido producido por la presencia de agua es menor en la mezcla drenante.

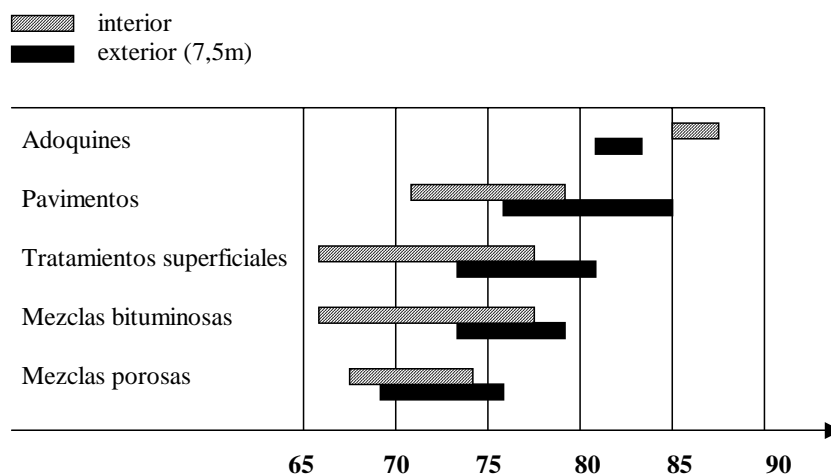


Tabla 2. Medida del ruido de rodadura sobre diferentes tipos de pavimentos (Descornet)

		PROPIEDADES								
		ADHERENCIA		REGULARIDAD	RUIDO	PROPIEDADES OPTICAS		APLICACIÓN PREFERENTE		
		BAJA VELOCIDAD	ALTA VELOCIDAD			SECO	MOJADO			
TECNICAS	TRAVAMIENTOS	SUPERFICIALES CON MACROTEXTURA RUGOSA	★★★	★★★	(1)	★	★	★★	CARRETERAS ALTA VELOCIDAD	
		ESPECIALES CON MICROTEXTURA	★★★	★★★	(1)	★★	★	★★	CARRETERAS URBANAS	
	MEZCLAS BITUMINOSAS		SIN ENGRAVILLAR	★★	★	★★★	★★	★	●	TODOS LOS PAVIMENTOS, INCLUIDAS PISTAS DE AEROPUERTO
			DRENANTES	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	TODOS LOS PAVIMENTOS – ALTA VELOCIDAD EN AEROPUERTOS SOLO CALLES DE RODADURA
			ENGRAVILLADOS	★★★	★★★	★★★	★★	★ (3)	★★	TODOS PAVIMENTOS ALTA VELOCIDAD
			MICROAGLOMERADO Y ASFALTO FUNDIDO (2)	★★	●	(1)	★★	★	●●	VIAS URBANAS TRAFICO LENTO Y LIGERO
			SIN TEXTURA	★★	●	★★	★★	★★	●●	
		HORMIGONES		ESTRIADO TRANSVERSAL	★★★	★★★	★★	●	★★	★★
			ESTRIADO LONGITUDINAL	★★★	★	★★	★★	★★	★★	CARRETERAS
			ENGRAVILLADO	★★★	★★★	★★	●	★★	★★	CARRETERAS
			DENUDDADO	★★★	★★★	★★★	★★	★★	★★★	CARRETERAS

(1) Depende de la regularidad del soporte.

(2) Microaglomerados continuos, sin macrotectura

(3) Muy bueno con engravillado con piedra de color claro.

★★★ Muy Buena

★★ Buena

★ Regular

● Mala

●● Muy Mala

Tabla 3. Características superficiales de los pavimentos (AIPCR)

En el cuadro de la tabla 3 se recoge como corolario la calificación dada por el Comité de Características Superficiales de la AIPCR a los diferentes tipos de pavimentos. Únicamente las capas de rodadura drenantes obtienen la máxima calificación en todos los aspectos analizados, de los que depende fundamentalmente la seguridad y comodidad del tráfico. Hay que indicar que en esta tabla no se incluye las capas de rodadura constituidas por micros discontinuas en caliente, de fuerte macrotectura, y desarrollo y empleo posterior a mezclas drenantes.

Junto con estas ventajas, este tipo de pavimento presenta una serie de limitaciones e inconvenientes que han de ser tenidos también en cuenta para su correcto uso y proyecto. Estos inconvenientes hacen referencia a su durabilidad, colmatación, conservación invernal y comportamiento mecánico.

Durabilidad

El mayor porcentaje de huecos de estas mezclas puede favorecer la acción oxidante y de envejecimiento de los agentes atmosféricos. No obstante, este proceso de deterioro se ve contrarrestado por la mayor riqueza de ligante de estas mezclas, con una espesa película de betún recubriendo los áridos.

El alto contenido de huecos también puede favorecer el efecto de desenvuelta del ligante por el agua, fallo que se produciría en el caso de existir una mala adhesividad entre el árido y el ligante o en el caso de usar filleres hidrofílicos.

Colmatación

Una de las principales preocupaciones que plantea la utilización de las mezclas porosas es la progresiva colmatación de sus huecos. Esta colmatación es tanto más lenta cuanto mayor es el porcentaje inicial de huecos en mezcla. Para conseguir una buena drenabilidad y que ésta se mantenga en el transcurso del tiempo es necesario emplear mezclas con un 20% mínimo de huecos. En España y Francia se han llegado a emplear mezclas con un 25-27% de huecos. La colmatación también se retarda empleando granulometrías de tamaño máximo igual o superior a 11 mm. Cuanto mayor es el tamaño del árido más grandes son los huecos y mayores los diámetros de los conductos de comunicación entre poros, aunque por contra, aumenta el ruido de rodadura. Así, al aumentar el tamaño máximo del árido empleado de 8 a 11 mm o de 11 a 16 mm, se produce un incremento de ruido de 2 dB(A).

Los esfuerzos de succión del tráfico tienen un efecto descolmatador, manteniendo alta la permeabilidad del pavimento cuando la polución no es muy alta, caso por ejemplo de autopistas y autovías. Por contra, en zonas de fuerte polución, arcenes sin pavimentar, zonas urbanas, se produce una fuerte colmatación que puede dar al traste con la permeabilidad del firme de no tomar ciertas precauciones, como por ejemplo, el empleo de máquinas de descolmatación, que son efectivas cuando se emplean de forma preventiva, antes de que se produzca la colmatación.

El efecto de la mezcla drenante para aminorar el ruido depende también de su grado de limpieza. A medida que va produciéndose su colmatación disminuye su

efecto, llegando a comportarse como una capa densa cuando está colmatada. En la tabla 4 se recoge la duración de la eficacia de estas capas para distintos tipos de vías de acuerdo con la experiencia francesa.

TIPO DE CARRETERA	DURACIÓN DE LA EFICACIA DE LA REDUCCIÓN DEL RUIDO (AÑOS)
Calles	2
Autopista urbanas	3 – 5
Carreteras nacionales con mucha circulación	3 – 7
Autopistas en zona rural	5 – 8

Tabla 4. Duración de la eficacia de las mezclas drenantes con el ruido
(C-8 AIPCR, 1995)

Adherencia

De las capas de rodadura drenantes ha preocupado la adherencia del neumático con el pavimento en tiempo seco. Esto es debido a la menor superficie real de contacto que se establece entre el neumático y la superficie porosa y a que en su puesta en servicio están los áridos cubiertos por el ligante y ofrecen una textura pulida.

La distancia de frenado (ruedas bloqueadas) sobre una capa de rodadura drenante nueva, es del 20 al 25% mayor que sobre un pavimento denso. No obstante, cuando las ruedas del vehículo no se bloquean (frenos ABS) las distancias de frenado son comparables.

Por otra parte, la película de betún que recubre los áridos desaparece en los 3-6 meses primeros y entonces se incrementa la desaceleración de frenado.

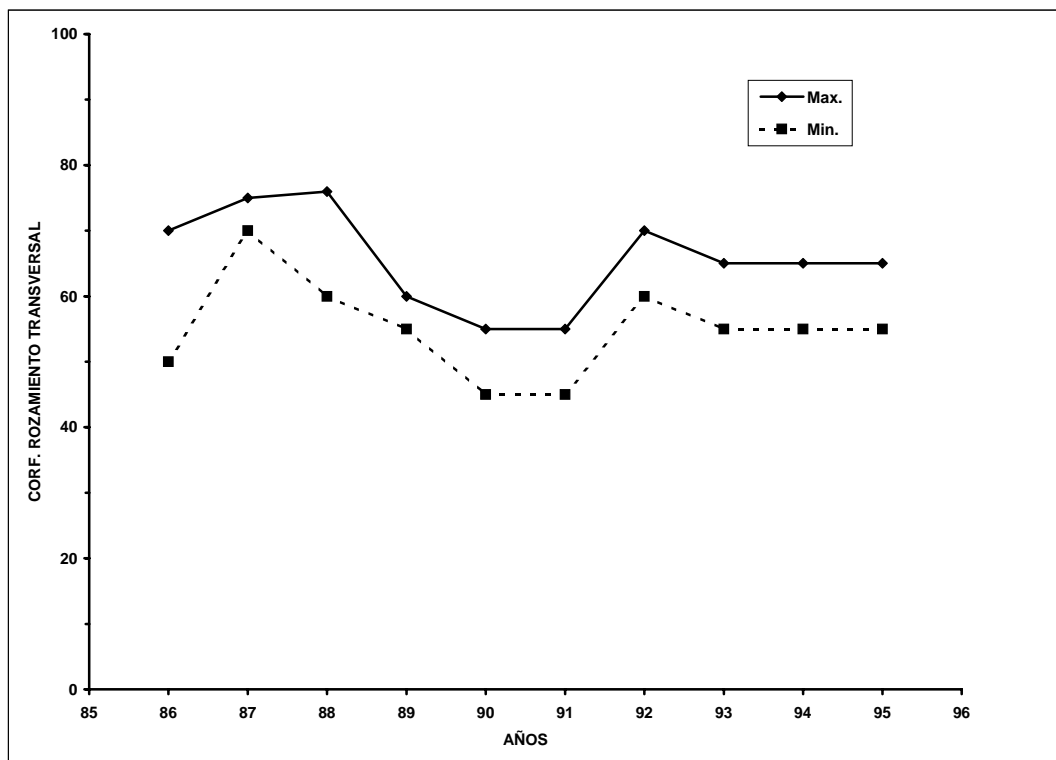


Figura 4. Evolución de la adherencia en un tramo de mezcla drenante. Autopista Bilbao-Behovia

En cambio, con agua, la adherencia sobre un pavimento drenante es mucho mejor, tal como se ha podido evaluar en España en diferentes tramos de carretera y ésta se mantiene a lo largo del tiempo, figura 4. Aunque ésta sea una ventaja para emplear este tipo de pavimento donde no hay o no pueden usarse áridos de adecuada resistencia al deslizamiento, caso por ejemplo de las Islas Baleares, no parece que deba permitirse, salvo casos excepcionales, el empleo de áridos pulimentables, ya que disminuiría aún más su adherencia en seco.

Seguridad en la conducción

Aunque a priori pudiera pensarse que el empleo de capas de rodadura drenantes puede influir de forma muy positiva en la circulación vial y disminuir el número de accidentes con lluvia, al eliminar el problema de hidroplaneo y reducir el

agua salpicada y pulverizada, las estadísticas muestran resultados contradictorios. Parece ser que la mejora de la calidad de rodadura con lluvia aumenta también la velocidad de circulación, con lo que su efecto puede ser compensado. Algunos países señalan un aumento de la peligrosidad en condiciones invernales al producirse con mayor facilidad la escarcha y/o placas de hielo. Esto es debido a que los aglomerados drenantes se enfrían más que los densos, pudiendo encontrarse a una temperatura 2 ó 3 °C inferior.

Conservación invernal

Es en su conservación invernal donde estos pavimentos presentan un comportamiento más problemático y costoso que los pavimentos densos convencionales. En primer lugar está la posibilidad de que la escarcha y las placas de hielo se produzcan a una temperatura 2 ó 3 °C superior que sobre un aglomerado denso. Esto lleva a tener que realizar tratamientos preventivos con salmuera durante más días, que, además, hay que realizar con doble frecuencia que en uno denso, ya que, dada su porosidad, desaparece su efecto con mayor rapidez.

Cuando nieva, no hay diferencia entre el tratamiento de los aglomerados drenantes y los densos. Se utilizan las máquinas quitanieves y se esparce sal al mismo tiempo. Cuando deja de nevar los aglomerados drenantes necesitan una mayor dotación de sal para eliminar la nieve y evitar su congelación.

No obstante, en España no tenemos mucha experiencia en el comportamiento invernal de las capas de rodadura drenantes; hasta ahora, no se han presentado problemas especiales, quizás debido a las condiciones más benignas de nuestro clima.

Comportamiento mecánico

La mayoría de los países consideran que el aglomerado drenante tiene menor capacidad estructural que uno denso, del 50 al 75%, es decir, que 4 cm de una mezcla porosa equivalen a 2-3 cm de una mezcla densa convencional, aunque esta relación varía mucho en función del tipo de firme y de las condiciones ambientales. Únicamente en España se considera que ambas capas son equivalentes; se llegó a esta

conclusión tras la realización de los primeros tramos experimentales, donde se observó que las capas de rodadura densa y porosa tenían la misma capacidad de refuerzo y producían la misma reducción de la deflexión.

Por otra parte, las mezclas drenantes presentan una elevada resistencia a las deformaciones plásticas. La observación de las obras en servicio pone de manifiesto que el fallo de estas capas se produce por disgregación, como consecuencia de una falta de cohesión de la mezcla para poder resistir adecuadamente los esfuerzos de succión y tangenciales del tráfico. Es necesario proporcionarle una cohesión y trabazón apropiada y de ello nos hemos de preocupar fundamentalmente en su proyecto.

Es por ello que, en España, desde el principio de su empleo, las mezclas porosas se han diseñado en base a su porosidad y su resistencia al desgaste, evaluada por el ensayo cántabro de pérdida por desgaste. Esto ha permitido poner siempre en obra mezclas de unas buenas características, que se han comportado adecuadamente, y que, cuando han fallado de forma rápida, los ensayos han mostrado que era debido a falta de compactación, o al empleo de finos de mala calidad que han disminuido la cohesión de la mezcla en presencia de agua. Por ello, es muy conveniente evaluar la mezcla en el ensayo cántabro en húmedo, que nos servirá para conocer la adhesividad árido-ligante y la pérdida de cohesión de la mezcla en presencia de agua.

La duración de esta capa de rodadura, según la experiencia francesa, es de 8-12 años, semejante al intervalo medio de tiempo correspondiente a las renovaciones con pavimentos densos; la experiencia belga ha mostrado que se puede prolongar la vida útil mejorando las propiedades del ligante y, según la española, el comportamiento del aglomerado drenante es mejor que el denso.

Respecto a su reparación y mantenimiento, las actuaciones van desde la simple reparación local, en que se retira el material dañado, se recuadra la zona, se cortan los bordes verticalmente y se extiende una nueva capa de rodadura drenante, a las actuaciones generalizadas, donde sobre la capa drenante se coloca una lechada bituminosa, un microaglomerado, una mezcla densa o de nuevo otra capa drenante,

dependiendo del estado en que se encuentre el firme, de su capacidad estructural y de su deterioro superficial.

Impacto ambiental

En estos momentos de gran preocupación por el medio ambiente, se está analizando con mayor profundidad e interés aspectos antes soslayados. Así, por ejemplo, de los aglomerados drenantes se está evaluando su capacidad para reducir el ruido y su potencial para filtrar el agua de la lluvia y absorber gran parte de la contaminación y metales pesados que arrastra. Por otra parte, también se quiere estudiar el efecto que el aumento de la dotación de sal para la conservación invernal puede tener sobre el índice de cloruros de las aguas y afectar la flora y la fauna de los ríos.

En resumen, se aprecia que, aunque haya algunos aspectos de los aglomerados drenantes negativos, que conviene resolver o mejorar, la opinión general es muy favorable, sobre todo en países como España donde apenas existen problemas de vialidad invernal. Es por ello que su empleo, en general, ha ido en aumento, figura 5, especialmente en nuestro país. La disminución observada en algunos casos es debida a que la necesidad de construir firmes poco ruidosos ya está en parte satisfecha, a no ser utilizado en las poblaciones debido a la colmatación de poros y porque algunos ingenieros temen problemas de conservación invernal.

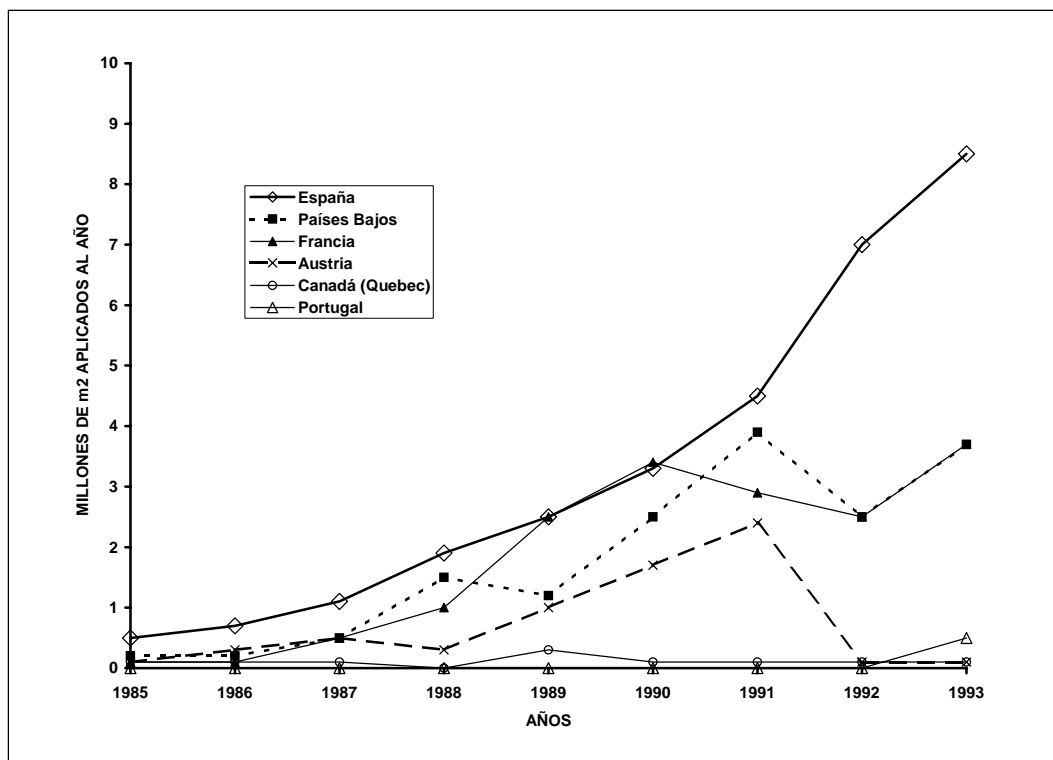


Figura 5. Evolución del empleo de mezclas drenantes (C-8 AIPCR, 1995)

2.1.- Composición y Proyecto

Una mezcla bituminosa está constituida por un conjunto de áridos de diferentes tamaños y una película de ligante que los envuelve a todos ellos. El árido proporciona el esqueleto mineral de la mezcla y el ligante da cohesión al conjunto. Conseguir una mezcla porosa depende fundamentalmente de la granulometría empleada. Esta debe ser abierta, limitándose en un 9-20%, más frecuentemente entre un 10-15%, el contenido de material que pasa por el tamiz 2.0 UNE, es decir el árido fino.

En el artículo 542 "Mezclas bituminosas en caliente" del PG-3 (Orden FOM/891/2004) se incluye el huso granulométrico PA-12 usado para estas mezclas, en el que puede observarse el tamaño máximo de árido empleado, 8-12,5 mm, el elevado porcentaje de árido grueso (retenido por el tamiz 2 UNE), 80-91% y el contenido de filler, 3-6%, tabla 5. Los husos de tamaño máximo menor, P-10 y PA-10,

recogidos inicialmente en la monografía "Mezclas porosas" del MOPU (1987), han desaparecido.

TAMIZ UNE	20	12,5	8	4	2	0,500	0.063
PA 12	100	70-100	38-62	13-27	9-20	5-12	3-6

Tabla 5. Mezclas drenantes. Husos granulométricos (Orden FOM 891/2004)

El material granular a emplear en la fabricación de mezclas porosas deberá cumplir las exigencias habituales del PG-3 para mezclas bituminosas. No se requiere ninguna propiedad especial:

- Áridos limpios, duros, procedentes de machaqueo o trituración de piedras de cantera o grava natural
- Coeficiente de desgaste de Los Angeles ≤ 25 (T3); ≤ 20 (T1 y T2); ≤ 15 (T00 y T0)
- C.P.A. $\geq 0,40$ (T3 y T4); $\geq 0,45$ (T2); $\geq 0,50$ (T0 y T1); $\geq 0,55$ (T00)
- Índice de lajas ≤ 25 (T3, T2, T1 y T0); ≤ 20 (T00)
- Equivalente de arena de la mezcla de los áridos > 50 ó azul de metileno > 10 y simultáneamente equivalente de arena > 40 .

El fíller, dada su especial importancia sobre la cohesión de la mezcla, será de buena calidad. No podrán utilizarse arenas o áridos finos con filleres de malas características, salvo que éstos sean eliminados. Normalmente, será de aportación en su totalidad para las categorías de tráfico (T2-T00) y del 50% para las categorías T3

Los ligantes a emplear serán normalmente betunes de penetración a los que se ha incorporado un elastómero, con el fin de conseguir mezclas muy permeables dotadas de una alta resistencia a la disgregación, betunes tipos BM-3a, BM-3b y BM-3c (T2-T00). Con tráfico tipo T3 podría emplearse betunes asfálticos B 60/70. El contenido de ligante habitualmente utilizado para estas mezclas oscila entre el 4,5 y el 5,5% en peso sobre árido.

Criterios de Proyecto

Para el proyecto y dosificación de las mezclas drenantes se siguieron inicialmente los procedimientos y metodologías empleadas para las mezclas abiertas: definir por una parte las propiedades y características de los materiales que las componen y determinar el contenido de ligante basándose fundamentalmente en la superficie específica de los áridos, método del equivalente centrífugo de keroseno (C.K.E.), y comprobando que no haya escurrimiento de ligante mediante ensayos de drenabilidad. Ningún ensayo era empleado para su caracterización y evaluación funcional, lo que imposibilitaba la optimización de sus propiedades.

Fue en España donde se abordó por primera vez la caracterización de estas mezclas mediante un ensayo mecánico que estuviera relacionado con su modo de deterioro, desarrollándose un método totalmente implantado entre nosotros y que ha tenido una gran difusión y aceptación más allá de nuestras fronteras. El procedimiento desarrollado es el ensayo cántabro de pérdida por desgaste, que permite valorar la resistencia de la mezcla a su descarnadura por los impactos y efectos abrasivos del tráfico. El ensayo consiste en introducir en la máquina de los Angeles una probeta cilíndrica, fabricada en la compactadora Marshall, y someterla a 300 revoluciones del tambor. Durante el ensayo la probeta se va descarnando y al final del ensayo se da el porcentaje de peso perdido.

En el desarrollo de este método se comprobó en primer lugar su repetibilidad, que disminuye al aumentar las pérdidas de las mezclas ensayadas, pero que puede considerarse como buena, $C_v < 0.10$, cuando se ensayan mezclas con pérdidas al desgaste inferiores al 40-45%. En segundo lugar, su gran sensibilidad para valorar el efecto de las variables que pueden influir sobre la cohesión y resistencia a la descarnadura de las mezclas: contenido y tipo de ligante, contenido de árido fino y contenido de filler.

Los criterios de proyecto de estas mezclas, recogidos en el artículo 542 del PG-3, se establecieron como un compromiso entre su porosidad y su resistencia a la disgregación. Con objeto de mejorar sus prestaciones y evitar su colmatación en el tiempo, es bueno conseguir una alta porosidad de la mezcla, no inferior al 20%. Al mismo tiempo, la mezcla ha de poseer cohesión suficiente para resistir los esfuerzos

del tráfico, sus pérdidas al cántabro a 25 °C no deben superar el 20 ó 25% en función de la categoría de tráfico. La experiencia existente tras más de 20 años de empleo de estas capas ha llevado a las siguientes modificaciones a los criterios de proyecto, tabla 6.

	Recomendación MOPU/89	Orden FOM 891/2004
Huecos en mezcla, %	> 20	> 20
Pérdidas cántabro en seco, %	a 25 °C: < 25	a 25 °C: < 20 (T00-T1) a 25 °C: < 25 (T2-T3)
Pérdidas cántabro en húmedo, %	---	a 25 °C: < 35 (T00-T1) a 25 °C: < 40 (T2-T3)

Tabla 6. Mezclas porosas. Criterios de proyecto

Se han disminuido las pérdidas en seco y se ha introducido la conveniencia de evaluar la resistencia de la mezcla a la acción de desenvuelta del agua. Este ha sido uno de los fallos típicos de este material. El empleo de ligantes con baja adhesividad a los áridos o de fílleres hidrófilos ha dado lugar a la rápida disgregación de la mezcla por acción del agua y del tráfico. La resistencia a la desenvuelta de la mezcla puede ser evaluada mediante la realización del ensayo cántabro sobre probetas de mezcla que han permanecido 24 horas sumergidas en agua a 60 °C, figura 6. Las pérdidas no deben ser superiores al 35% para tráficos T00 a T1 ni mayores del 40% con tráficos T2 y T3.

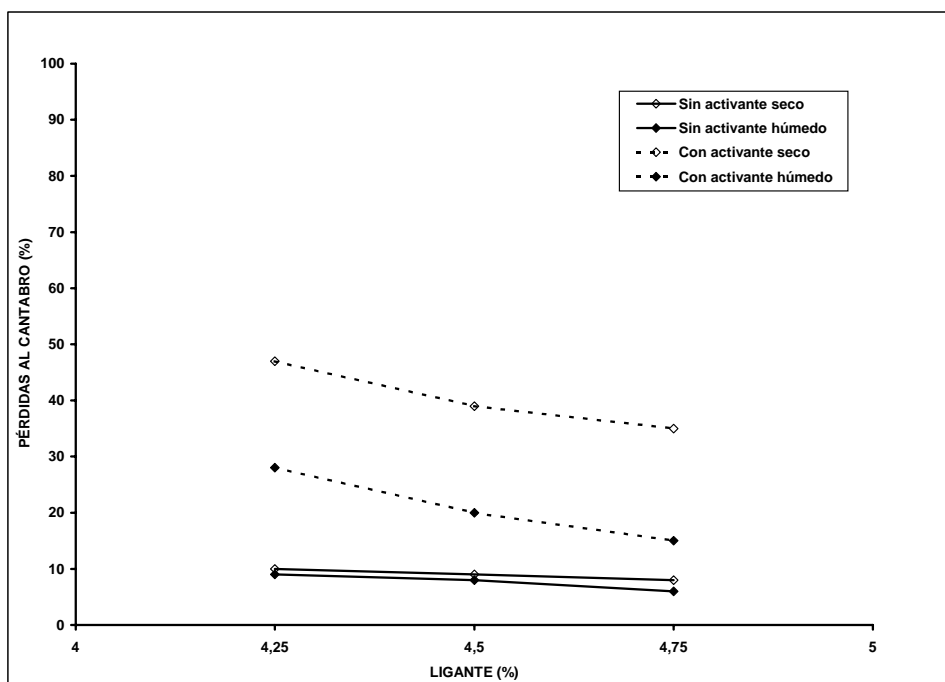


Figura 6. Evaluación de la adhesividad de la mezcla

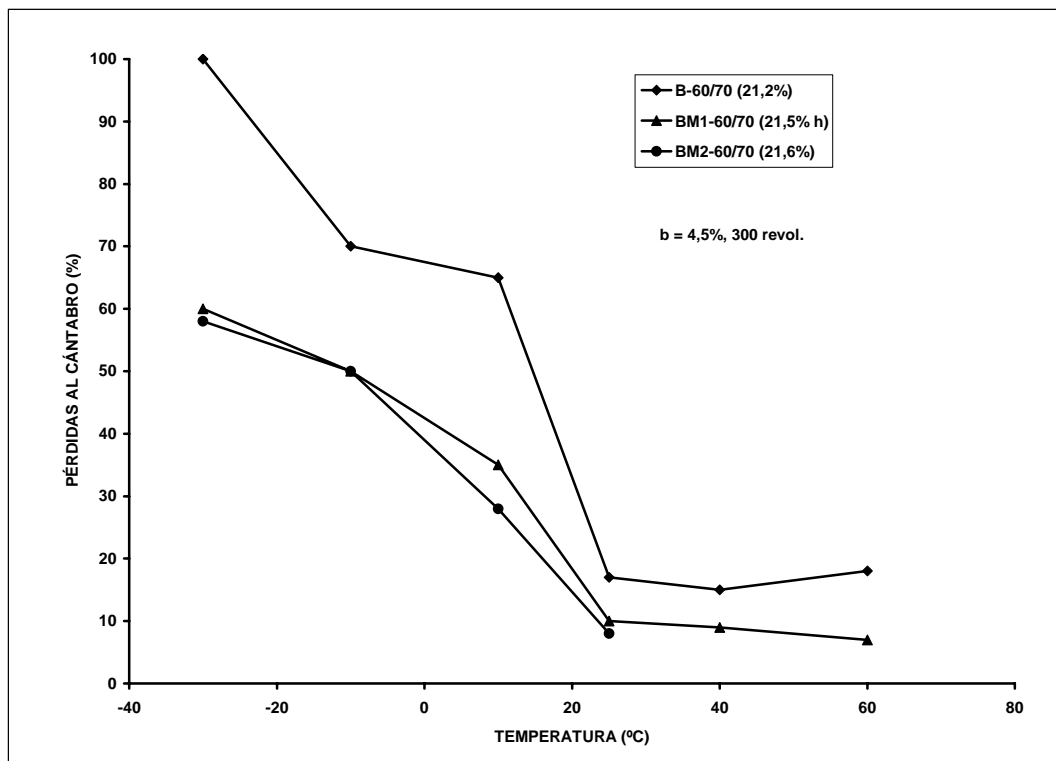


Figura 7. Efecto de la temperatura en las pérdidas al cántabro

Además, cuando se trata de mezclas porosas fabricadas con betunes modificados es conveniente realizar el ensayo cántabro a temperaturas inferiores a 25 °C. A esta temperatura, tanto los betunes de penetración B-60/70 ó B-80/100 e incluso los B-40/50 presentan en el cántabro un comportamiento similar al de los betunes modificados. Sin embargo, al bajar la temperatura a 18 ó 10 °C, la respuesta de los betunes normales es más frágil, su resistencia a la abrasión es menor, siendo muy superiores sus pérdidas al cántabro. Por ello, para comprobar realmente las mejoras conseguidas en las mezclas mediante el empleo de fibras o betunes modificados debe realizarse el ensayo a 18 ó 10 °C, figura 7. A estas temperaturas las pérdidas de la mezcla en el ensayo cántabro no deben ser superiores al 25%, a 18 °C, ni al 35%, a 10 °C.

3. MICROAGLOMERADOS DISCONTINUOS EN CALIENTE

La técnica de los microaglomerados, mezclas bituminosas con tamaño máximo de árido inferior a 6-10 mm, ha sido empleada desde hace años en la pavimentación de carreteras. En frío, constituyen las lechadas bituminosas que con tanta profusión y éxito se han empleado en la conservación y pavimentación de nuestras carreteras. También pertenecerían a este grupo las mezclas finas tipo IV-A y V-A del Instituto del Asfalto o las tipo D-8 del MOPU. Pero lo que realmente presenta hoy más interés, por su novedad y ventajas, son los microaglomerados de granulometría discontinua, con fuerte contenido de árido grueso y escasa presencia de árido fino, derivados en parte de la utilización y tecnología de las mezclas porosas.

La utilización de microaglomerados en capas delgadas está encaminada fundamentalmente a proporcionar o restituir las características superficiales del firme, sin pretender conseguir un aumento de su capacidad estructural. No obstante, la aplicación de una capa fina contribuye de alguna manera a mejorar esta capacidad estructural, no sólo debido a su espesor (entre 1,5 y 3 cm), sino porque proporciona una impermeabilización al soporte que, en muchos casos, mejorará notablemente el comportamiento de la sección estructural.

A veces, la utilización de estas capas viene motivada por alguna limitación técnica o económica para la ejecución de capas más gruesas: vías urbanas o túneles en los que no sea posible aumentar la cota de la rasante, estructuras en las que no sea posible aumentar la carga soportada, vías en las que sea difícil o costoso encontrar áridos de calidad para capa de rodadura o en las que se busquen especiales características superficiales.

Los microaglomerados empleados hasta ahora en capa fina adolecían por su composición y proyecto de una falta de macrotextura. Eran mezclas de granulometría continua de tipo denso, con un elevado porcentaje de árido fino. La resistencia a la acción abrasiva del tráfico estaba asegurada por la buena cohesión del mortero asfáltico.

Para conseguir una buena macrotextura con un tamaño de árido reducido, se han sustituido las curvas granulométricas continuas tradicionales por otras de tipo discontinuo. Básicamente, consisten en mezclas de granulometría 0/6, 0/8, 0/10 ó 0/12, con una discontinuidad del tipo 2/4 ó 3/6, un contenido de filler elevado, del orden del 7 al 10%, y un elevado porcentaje de los tamaños gruesos (75-80%). Estas mezclas se fabrican con un alto contenido de ligante, 5-7%, con objeto de formar con el filler un buen mástico que proporcione a la mezcla una adecuada cohesión y resistencia a la abrasión.

El empleo de un alto contenido de ligante podría hacer peligrar la estabilidad de la mezcla y provocar la exudación del ligante. Para evitar este problema se ha recurrido al empleo de ligantes modificados por adición de polímeros o a la incorporación de fibras, consiguiendo al mismo tiempo mejorar la cohesión de la mezcla.

Con la incorporación de polímeros al betún se persigue, fundamentalmente, incrementar su elasticidad, su viscosidad y modificar su susceptibilidad térmica. Dada la gran variedad de polímeros comerciales existentes, con composición química y propiedades diferentes, cabe pensar que las posibilidades de modificación de los ligantes con polímeros son muy grandes; pero el campo se reduce porque no todos los polímeros son compatibles con los ligantes bituminosos. Los polímeros empleados de forma más generalizada para modificar los betunes asfálticos son los elastómeros termoplásticos de butadieno-estireno telebloque (SBS) y los copolímeros de etileno-acetato de vinilo (EVA).

Por su parte, la adición de fibras produce un aumento de la superficie específica a envolver, lo que permite utilizar un mayor contenido de betún, aumentando el espesor de la película de ligante, y generando así un mástico de gran calidad, "armado" con la fibra, que confiere a la mezcla excelentes prestaciones. Existen fibras minerales (amianto, vidrio, lana de roca), fibras orgánicas (celulósicas) y fibras sintéticas (acrílica y polipropileno).

Tradicionalmente, se ha venido utilizando la fibra de amianto por sus excelentes ventajas mecánicas, aunque su probada toxicidad hace que su empleo esté prohibido

en numerosos países. En su lugar, actualmente se utilizan fibras orgánicas y sintéticas.

En definitiva, se trata de unas mezclas de granulometría muy similar a la de las mezclas porosas, fabricadas con ligantes modificados con polímeros o fibras al igual que las mezclas porosas, compactadas con rodillo liso, y cuyo acabado presenta un aspecto idéntico al de una mezcla porosa. Se diferencian en su menor porosidad al haber quedado los huecos rellenos con mástico.

Al igual que las mezclas porosas, los microaglomerados discontinuos proporcionan capas de rodadura de altas prestaciones, con buenas características en cuanto a resistencia a fisuración, resistencia a deformación plástica, durabilidad, sonoridad, comodidad y seguridad.

Además, proporcionan una macrotextura elevada, con valores de altura de arena comprendidos entre 1,2 y 2 mm, muy superiores a los 0,9 ó 1,1 mm exigidos en las especificaciones españolas, consiguiendo una elevada resistencia al deslizamiento para altas velocidades y/o tiempo lluvioso, ya que esta macrotextura permite una rápida evacuación superficial del agua, impidiendo la formación de una película continua en la superficie.

Para conseguir dicha macrotextura, del Pozo estableció que la proporción de porcentaje de la fracción comprendida entre 0 y 3 mm debía ser menor del 24%, Figura 8. Si la "cola" del tamaño comercial 5-12 mm, como es usual, varía del 5 al 25% no será fácil controlar la zona de discontinuidad entre el tamiz 2,5 y 5 mm; este efecto restará textura a la mezcla y, lo que es peor, si el filler está del lado alto, es posible originar deformaciones plásticas si el tráfico es importante.

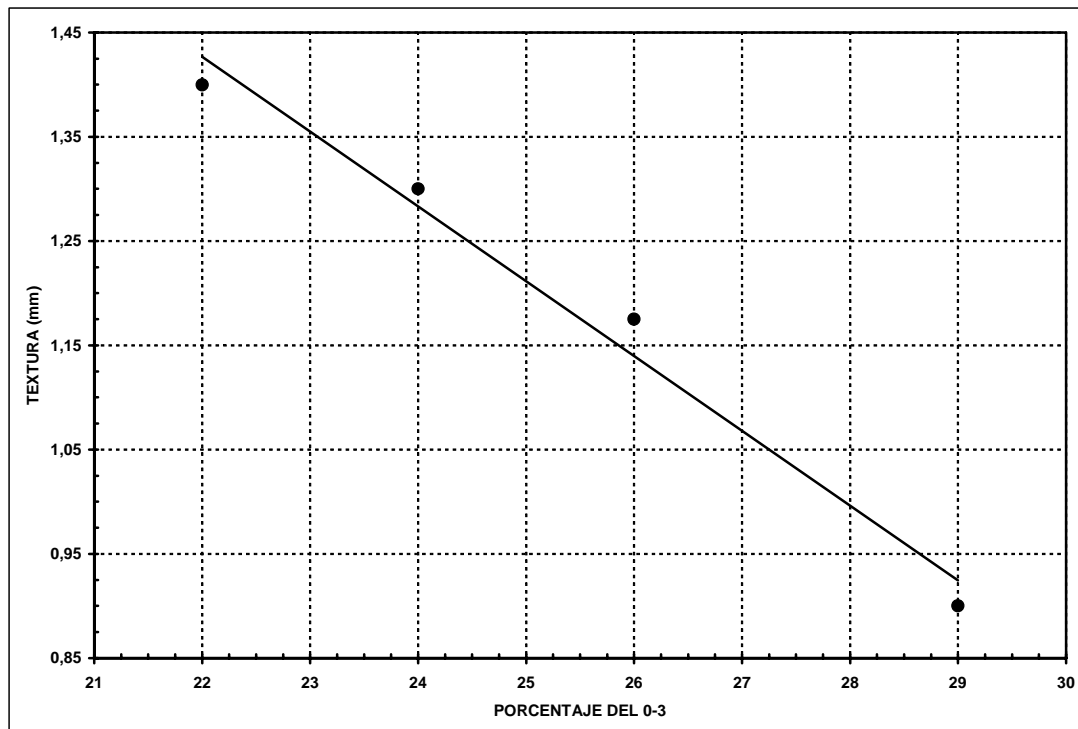


Figura 8. Relación entre el contenido de mortero y la textura de la mezcla (del Pozo, 1997)

Por otra parte, el paso del tráfico sobre estas mezclas hace que su textura evolucione en el tiempo, amortiguándose sus características funcionales. En la Figura 9 se representa la evolución de la textura, medida con círculo de arena, de un microaglomerado (tipo M-10) sobre el que han pasado un tráfico anual de unos 4 millones de vehículos y un 25% de tráfico pesado, con un coeficiente de equivalencia de 1.2 ejes de 13 toneladas por vehículo pesado.

También, con este tipo de mezclas se ha constatado una disminución del ruido de rodadura de los vehículos respecto a las mezclas convencionales. En los pavimentos densos el ruido de rodadura está asociado con dos longitudes de onda críticas de las irregularidades superficiales (Sandberg, 1980). Por una parte, las irregularidades de longitud de onda próxima a 80 mm; al aumentar la amplitud de este tipo de irregularidades aumenta el ruido de rodadura, sobre todo a bajas frecuencias, predominantes en el ruido del tráfico. Por contra, cuando las irregularidades de longitud de onda próximas a 3 mm aumentan en amplitud disminuye el ruido de rodadura a altas frecuencias (>1000 Hz).

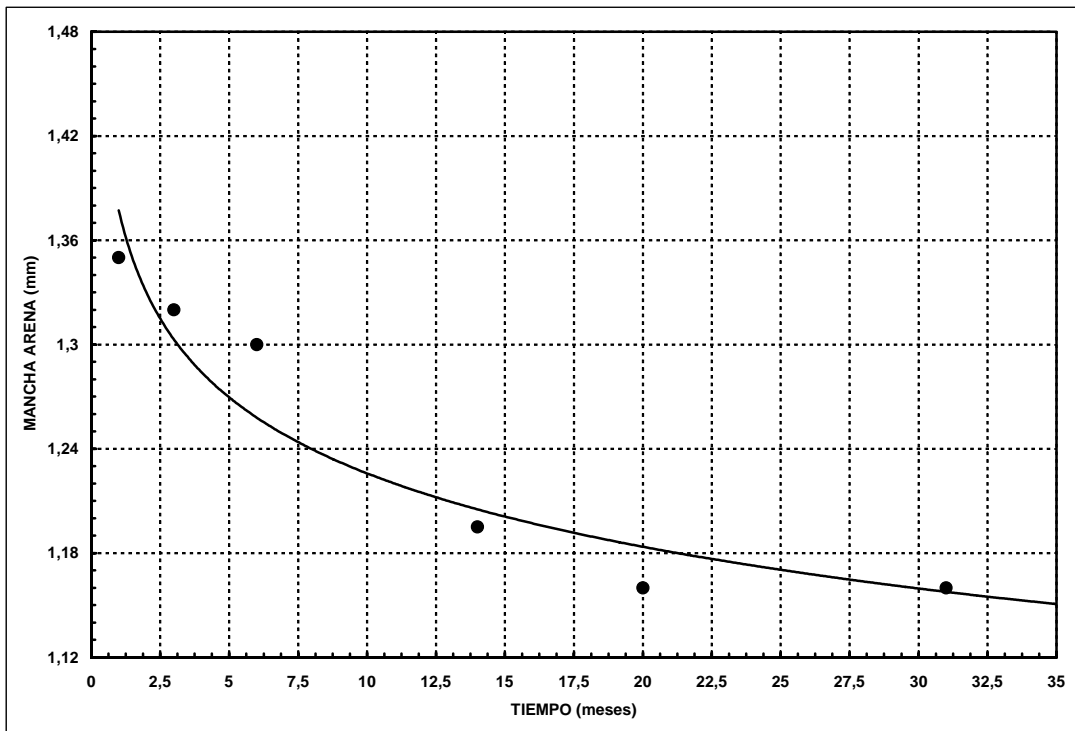


Figura 9. Evolución de la textura de un microaglomerado con el tiempo (del Pozo, 1997)

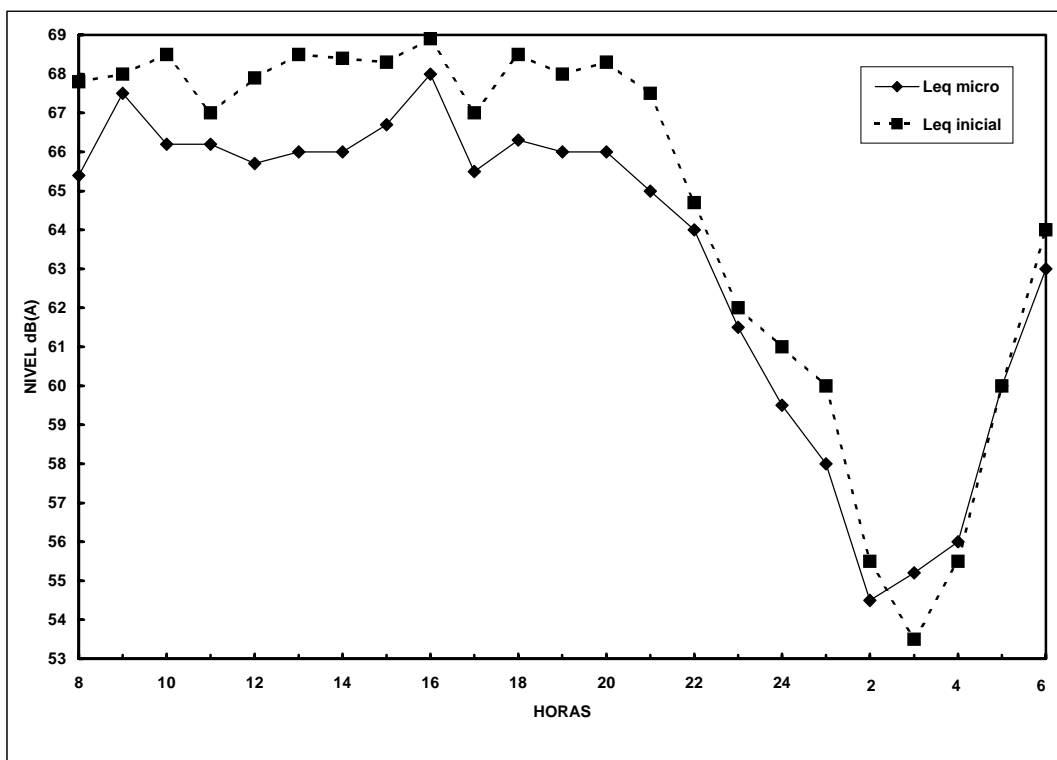


Figura 10. Disminución del ruido del tráfico mediante el empleo de un microaglomerado (II Cinturón. Ayuntamiento de Barcelona)

El empleo de microaglomerados de granulometría discontinua que permiten obtener una superficie de rodadura muy lisa y de macrotextura negativa, hace que los mecanismos de generación de ruidos se vean amortiguados. Apenas existen excitaciones que produzcan vibraciones o deformaciones de los neumáticos y los fenómenos de compresión y expansión de bolsas de aire se ven disminuidos por la elevada macrotextura del pavimento. Diversas mediciones efectuadas indican reducciones del nivel sonoro de 1,5 a 2 dB(A) con pavimento seco, Figura 10, y de 2 a 5 dB(A) con pavimento mojado, respecto a las mezclas habituales para capas de rodadura, aunque en cualquier caso, no alcanzan el nivel conseguido por las mezclas drenantes.

3.1.- Composición y Proyecto de Microaglomerados

Las denominadas mezclas discontinuas en caliente para capas finas están pensadas para capas de espesores inferiores a 4 cm. La Orden FOM 891/2004 del Ministerio de Fomento recoge en su artículo 543 "Mezclas bituminosas discontinuas en caliente para capas de rodadura", las especificaciones para este tipo de materiales distinguiendo entre cuatro tipo de mezclas, de acuerdo con su mayor o menor contenido de finos, mezclas F y M, y el tamaño máximo empleado 8 y 10 mm.

Los husos granulométricos de estas mezclas, recogidos en la Tabla 7, presentan una discontinuidad entre los tamices 2 y 4 mm, limitando el retenido parcial máximo entre estos tamices al 8%. Es pues obligado trabajar con arenas 0/2 mm y con fracciones que tengan pocas "colas" o "cabezas".

TAMIZ UNE	F 8	F 10	M 8	M 10
12,5		100		100
10	100	75 – 97	100	75 – 97
8	75 – 97		75 – 97	
4	23 – 38	23 – 38	14 – 27	14 – 27
2	18 – 32	18 – 32	11 – 22	11 – 22
0,500	11 – 23	11 – 23	8 – 16	8 – 16
0,063	7 – 9	7 – 9	5 – 7	5 – 7

Tabla 7. Microaglomerados. Husos granulométricos

El porcentaje de material que pasa por el tamiz 2 mm está comprendido entre el 11 y el 22% en el huso M y entre el 18 y el 32% en el F, es decir, son materiales con contenidos de gruesos en el entorno del 75-80%, lo que les confiere un gran esqueleto mineral. El contenido de polvo mineral es del orden del 7%, por lo que necesita filler de aportación.

Respecto a los áridos, se ha dado un tratamiento diferenciado a los tipos F y M. Los primeros tienen especificaciones similares a las exigidas a las mezclas en caliente convencionales para capas de rodadura, mientras que los de tipo M, cuyos áridos gruesos tienen que soportar directamente, y sin muchas posibilidades de movimiento, los esfuerzos de compactación y del tráfico, se les asigna las especificaciones más similares a las de los tratamientos superficiales, Tabla 8.

El equivalente de arena del árido obtenido combinando las distintas fracciones de los áridos, incluido el polvo mineral, antes de pasar por el secador, debe ser superior a 50 o, de no cumplirse esta condición, su índice de azul de metileno deberá ser inferior a 10 con un equivalente de arena superior a 40.

CARACTERÍSTICAS	CATEGORÍA TRÁFICO	MEZCLA TIPO F	MEZCLA TIPO M
Partículas fracturadas	T00 a T2	100	100
	T3, T4 y arcenes	≥ 75	≥ 75
Coef. de desgaste Los Angeles	T00 a T2	≤ 20	≤ 15
	T3, T4 y arcenes	< 25	< 25
Coef. de pulido acelerado	T00	≥ 0,55	≥ 0,55
	T0 a T2	≥ 0,50	≥ 0,50
	T3 y T4	≥ 0,45	≥ 0,45
Índice de lajas	T00 a T2	≤ 20	≤ 20
	T3, T4 y arcenes	< 25	< 25

Tabla 8. Especificaciones para los áridos (O FOM 891/2004 Ministerio de Fomento)

Al igual que para las mezclas bituminosas en caliente, la finura y actividad del polvo mineral se especifica a partir de la densidad aparente, que deberá estar comprendida entre 0,5 y 0,8 g/cm³.

Como ya se ha mencionado, con este tipo de mezclas se utilizan contenidos elevados de betún, superiores al 5% s.a. para las mezclas tipo M, y superiores al 5,5% s.a. para las mezclas tipo F, siendo conveniente que el ligante sea modificado con polímeros o con la adición de fibras, especialmente para categorías de tráfico pesado. Tanto la adición de fibras al mástico como la incorporación de polímeros al betún buscan el mismo fin: mejorar la susceptibilidad térmica y disminuir la fragilidad del sistema, haciéndolo menos deformable y más resistente a la fisuración y a la acción abrasiva del tráfico. Salvo que se indique lo contrario, el tipo de ligante deberá estar incluido entre los siguientes:

- Para categorías de tráfico pesado T00 y T0: BM-3c
- Para categorías de tráfico pesado T1: BM-3b o BM-3c
- Para categorías de tráfico pesado T2, T3 y T4: B 60/70 o B 80/100

Criterios de proyecto

Para garantizar una adecuada durabilidad, estas mezclas finas, de granulometría discontinua, deben presentar una elevada resistencia a la abrasión y a la fisuración, sin que, debido a su elevado contenido de ligante, se produzcan problemas de escurrimiento durante el transporte de la mezcla, ni aumente el riesgo de deformaciones plásticas.

Mezclas tipo F

La principal dificultad que presentan estas mezclas es su dosificación mediante ensayos mecánicos. Al tratarse de un contacto directo entre partículas gruesas, el ensayo Marshall no da variaciones de estabilidad hasta que el exceso de ligante empieza a separar las partículas, lo que suele suceder con porcentajes de betún muy elevados. Por tanto, en este ensayo se obtienen curvas planas y estabilidades que dependen más de la dureza del árido que del contenido de ligante. En las especificaciones se recoge una estabilidad mínima de 7,5 kN, sobre probetas

compactadas aplicando 50 golpes por cara, valor que se cumple fácilmente siempre que no se cometan errores groseros en la dosificación.

Así mismo, debe comprobarse también la resistencia a las deformaciones plásticas de estas mezclas, dado que van a emplearse bajo tráfico pesado en capa de rodadura. El procedimiento usado es el ensayo de pista de laboratorio, al igual que con las mezclas convencionales. Pero se debe tener en cuenta que estas mezclas van a emplearse en capas finas, 2-3 cm, y muy finas, 1,5 cm. Probablemente, los resultados obtenidos serán peores si se ensayan en el laboratorio capas de 5 cm. Por ello, se especifica que las probetas para este ensayo deberán tener un espesor aproximadamente igual al cuádruple del tamaño máximo nominal del árido.

Los criterios fijados por el Ministerio de Fomento para su dosificación establecen velocidades de deformación en el intervalo de 105 a 120 minutos iguales o inferiores a 12 ó 15 $\mu\text{m}/\text{min}$, dependiendo del tráfico que vaya a soportar la capa y la zona térmica estival en que se encuentre. Mediante la adición de fibra o el empleo de betunes modificados pueden conseguirse microaglomerados altamente resistentes a las deformaciones plásticas, Figura 11.

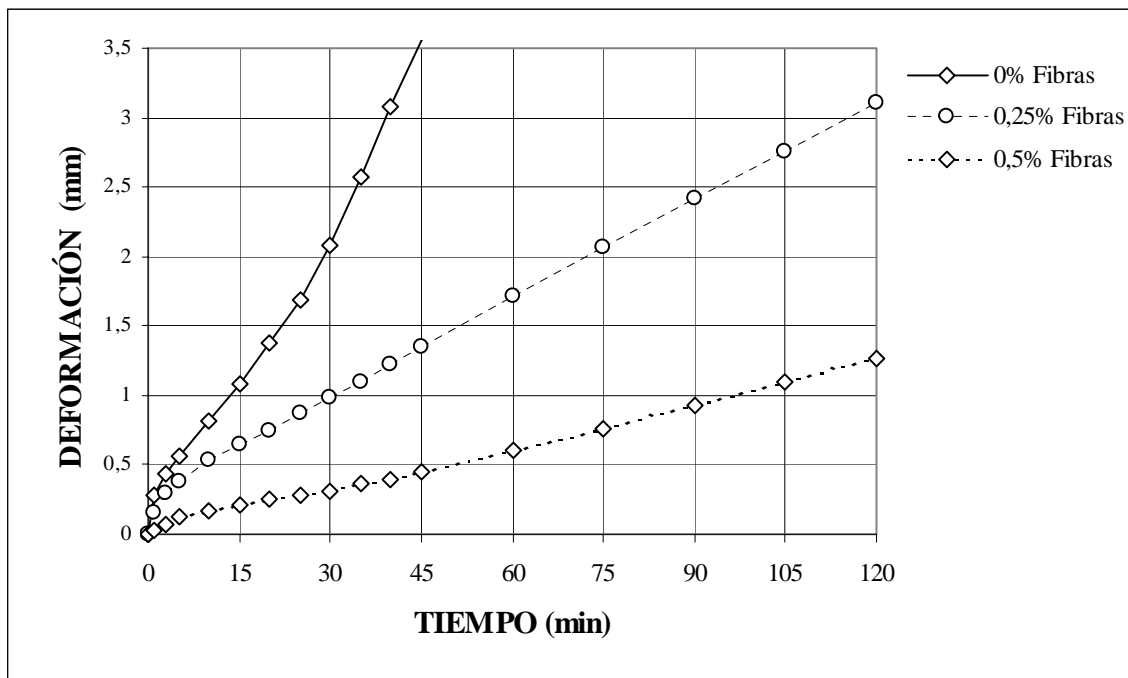


Figura 11. Efecto de la adición de fibras sobre la deformación plástica de la mezcla (5,5% B-60/70; probeta de 5 cm)

Finalmente, se fija una resistencia conservada en el ensayo de inmersión-compresión igual o superior al 75%.

Mezclas tipo M

Al igual que ocurre con las mezclas porosas, los pavimentos de microaglomerado deben resistir la acción abrasiva y disgregadora del tráfico y del agua. Por ello, debe comprobarse la cohesión y adhesividad de la mezcla mediante el ensayo cántabro de pérdida por desgaste.

Los criterios de dosificación de estas mezclas se establecen a partir de la valoración de la resistencia a la abrasión, tanto en seco como tras inmersión en agua durante 1 día a 60 °C, no debiendo superar los siguientes valores de pérdidas:

- Pérdida por abrasión en seco $\leq 15\%$
- Pérdida por abrasión tras inmersión $\leq 25\%$

Independientemente de los criterios de dosificación establecidos en la O FOM 891/2004 para las mezclas tipo F y tipo M, es conveniente complementar la caracterización de estas mezclas con un ensayo de escurrimiento, dado el elevado contenido de ligante utilizado, y un ensayo para valorar la resistencia a la fisuración, ya que este tipo de mezclas van a ser colocadas, principalmente, en capas delgadas sobre pavimentos fisurados, por lo que deberán ser resistentes a la fisuración con el fin de retardar al máximo la propagación de las fisuras hacia la superficie.

Escurrecimiento

Aunque existen distintos procedimientos para valorar el escurrimiento del ligante que se produce en una mezcla durante su transporte y puesta en obra (distintas temperaturas, distintos períodos de tiempo, con o sin vibración, etc.), actualmente las especificaciones españolas recogen un método normalizado, NLT-365/93. Hasta el momento, se recurría a mantener una mezcla, colocada sin compactar, en recipientes circulares de vidrio en una estufa a 130-150 °C durante 1 o más horas, y determinar la

cantidad de ligante que queda adherido en el fondo del recipiente tras verter rápidamente su contenido.

Estos ensayos permiten valorar el efecto del empleo de fibras o de betunes modificados en la reducción del escurrimiento, sobre todo cuando existe vibración, como ocurre normalmente durante el transporte de la mezcla, Tabla 9. En este caso, se mantiene la mezcla durante 1 hora a 140 ó 160 °C, continuando el ensayo durante 15 minutos, cuando éste se realiza con vibración, en la mesa de compactación de probetas de mortero. El escurrimiento detectado en estos ensayos debe ser nulo, si se quieren evitar fallos en el extendido y problemas por surgencia del ligante durante su servicio.

TIPO DE BETÚN	Sin vibración		Con vibración	
	5% ligante		5% ligante	
	140 °C	160 °C	140 °C	160 °C
B – 60/70	1,6	2,0	5,1	5,3
B – Polímero	1,4	1,9	1,8	4,0

Tabla 9. Efecto del betún modificado en la reducción del porcentaje de escurrimiento

Resistencia a la fisuración

Este tipo de mezclas van a ser extendidas, principalmente, en capas delgadas sobre pavimentos fisurados, por lo que deberán ser resistentes a la fisuración para retardar al máximo la propagación de las fisuras hacia la superficie. Para valorar la resistencia a la fisuración de una mezcla de las características mencionadas, el ensayo que se ha venido utilizando es el ensayo de tracción indirecta a distintas temperaturas, observándose, en general, una escasa sensibilidad del ensayo frente a la naturaleza y al contenido de ligante, Figura 12.

Con objeto de caracterizar el comportamiento del material, no sólo hasta el instante en que se inicia la rotura (máxima resistencia), sino también durante su rotura, se ha desarrollado en el Laboratorio de Caminos de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Barcelona un ensayo de tracción directa, ensayo BTB, que permite valorar la tenacidad del material, es decir, además de obtener la máxima resistencia a

tracción de la mezcla (valor pico), se obtiene el trabajo post-rotura del material (energía).

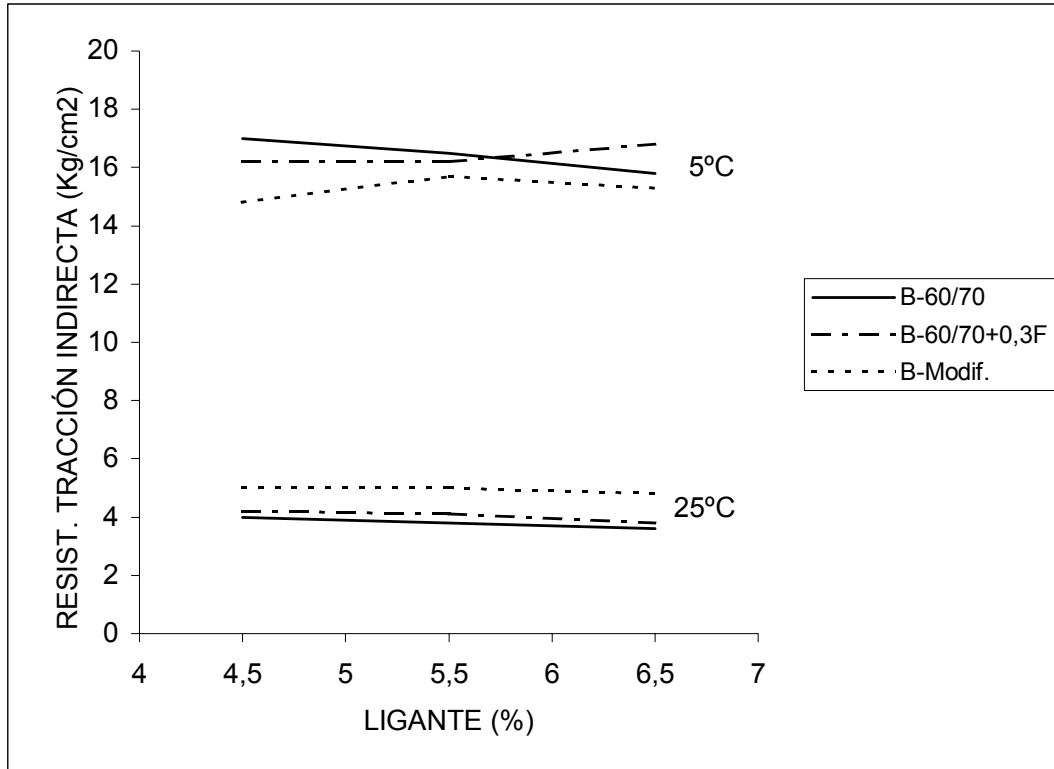


Figura 12. Efecto del tipo y contenido de ligante sobre la resistencia a tracción indirecta.

El ensayo consiste básicamente en someter a una probeta cilíndrica, en cuya base se ha creado una entalladura, Figura 13, a un esfuerzo de tracción paralelo a esta base y perpendicular a la entalladura de la probeta. Durante el ensayo, realizado a velocidad de desplazamiento constante, se va produciendo la apertura de la entalladura, lo que provoca la fisuración de la probeta, Figura 14. La representación gráfica de la carga necesaria para provocar la rotura y la posterior progresión de la fisura a través de la mezcla, nos permite valorar la tenacidad de la mezcla ensayada.

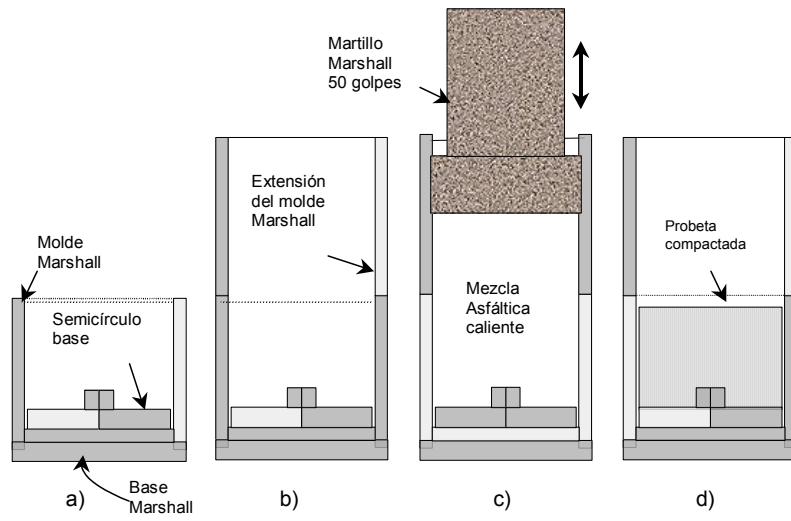


Figura 13. Proceso de elaboración de probetas en el ensayo BTD.

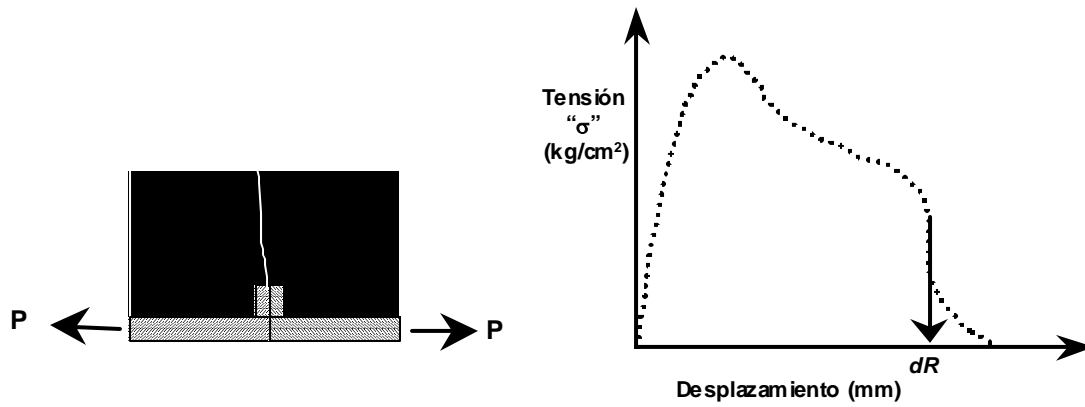


Figura 14. Ensayo BTD sobre la probeta cilíndrica entallada y curva carga-desplazamiento obtenida.

La Figura 15 muestra los resultados obtenidos al ensayar una mezcla densa (D8) y un microaglomerado discontinuo de tamaño máximo de árido 6 mm (MI), éste último con y sin adición de fibras, utilizando en ambos casos un 5,5% de betún de penetración B-60/70.

Las diferencias de comportamiento entre estas mezclas quedan claramente reflejadas en el gráfico. El microaglomerado sin fibras tiene una menor rigidez y un desplazamiento a la rotura ligeramente mayor que la mezcla densa; sin embargo, la tenacidad de ambas mezclas (área bajo la curva) es similar. Cuando realmente se aprecia un cambio de la tenacidad y del desplazamiento a la rotura es con la adición de fibras (0,4% de fibra acrílica de 16 mm de longitud): la tenacidad aumenta entre un 50 y un 100%, y el desplazamiento para el que se produce la rotura total pasa de 2,8 ó 4,5 mm en una mezcla sin fibras, a mayor de 10 mm en una mezcla con fibras.

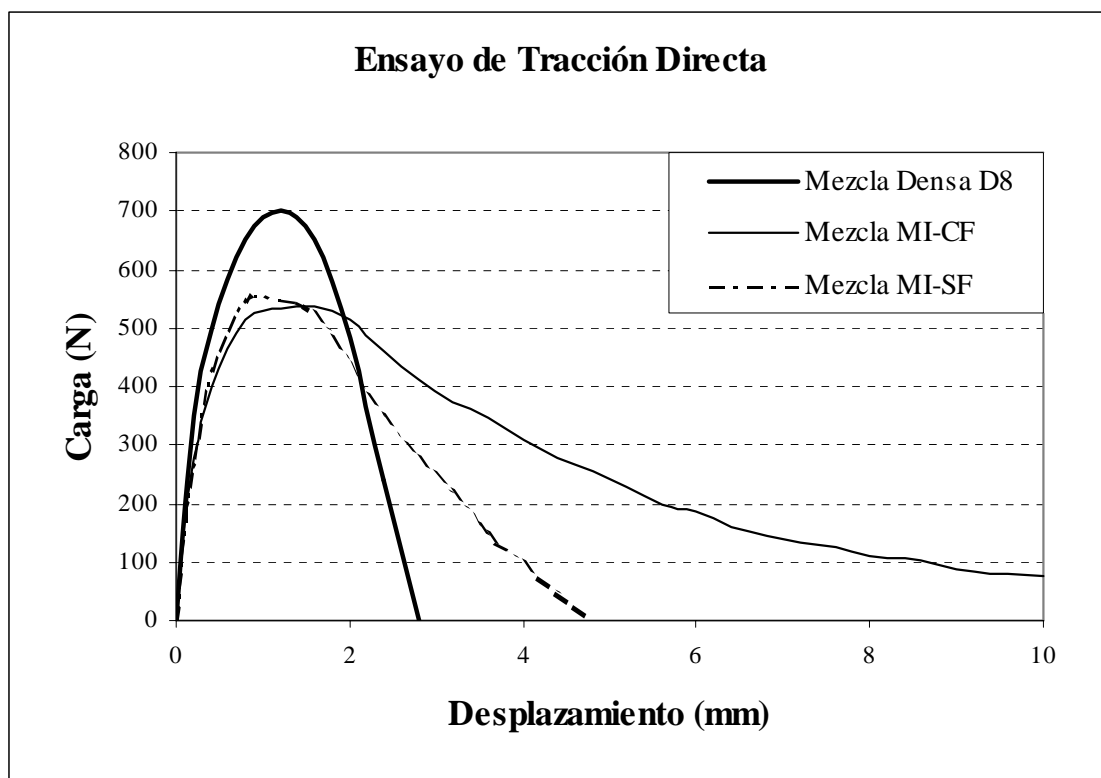


Figura 15. Ensayo a tracción directa. Mezclas D8 y MI

Además del incremento de tenacidad y del desplazamiento para rotura total, la adición de fibras proporciona una mayor capacidad de resistir cargas una vez que se ha producido la rotura del mástico (carga pico). Así, la carga soportada por la mezcla

con fibras para un desplazamiento para el cual la misma mezcla sin fibras llega a la rotura total (carga cero) es del orden de un 50% o más de la carga máxima de rotura de ésta última.

El primer borrador de normativa europea sobre estos materiales, denominados mezclas bituminosas muy finas para capas de rodadura (*Very thin bituminous mixture for surface course*), aparecido en Septiembre de 1995, establecía unos materiales muy similares a los especificados en España, con porcentajes de finos (% de pasa por el tamiz 2 mm) entre el 20 y el 35%, porcentajes de filler entre el 5 y el 9%, tamaños máximos entre los 6 y 14 mm y dos categorías de material en función de los huecos de mezcla (entre el 9 y el 15% la categoría 1 y entre el 16 y 21% la categoría 2). Los porcentajes mínimos de ligante oscilaban, dependiendo de la categoría y del tamaño máximo del árido, entre el 5,2 y el 6,2%. Por ahora los únicos ensayos previstos sobre la mezcla son los de sensibilidad al agua y el ensayo de pista de laboratorio.

Las especificaciones sobre la unidad terminada establecen la compacidad mínima de las capas de rodadura ejecutadas con las mezclas tipo F, donde la densidad alcanzada será superior al 98% de la densidad Marshall de referencia. La textura superficial y el coeficiente mínimo de resistencia al deslizamiento deberán cumplir los límites establecidos en la Tabla 5.

TIPO-HUSO GRANULOMÉTRICO	M	F
Macrotextura superficial mínima (mm, según NLT-335)	1,5	1,1
CRT mínimo (% , según NLT-336)	≥ 60	≥ 65

Tabla 10. Especificaciones sobre la unidad terminada: textura y resistencia al deslizamiento

En resumen, el interés de los técnicos de carreteras por ofrecer a los usuarios unos pavimentos más seguros y confortables ha llevado al desarrollo de dos nuevos materiales, mezclas porosas y microaglomerados, que empleados en capa de rodadura se caracterizan por:

- Su finura y elevada macrotextura (textura negativa) que proporciona un pavimento seguro y al mismo tiempo silencioso.
- Las mezclas drenantes absorben y eliminan el agua de la superficie del firme, evitando el problema del hidroplaneo, y aminoran el ruido del tráfico, prestaciones que pueden mantenerse en el tiempo tomando ciertas precauciones para que no se produzca su colmatación.
- En el caso de los microaglomerados de tipo discontinuo, su menor capacidad de absorción de ruido y de agua viene compensada por una mayor flexibilidad y resistencia a la fisuración y a los efectos abrasivos del tráfico.

BIBLIOGRAFÍA

- BARDESI, A. (1991): "Microaglomerados en caliente". Jornadas sobre mezclas bituminosas especiales. Oviedo.
- BARDESI, A. (1992): "Capas finas". I Congreso Nacional de Firmes. Capas de rodadura bituminosa. Valladolid.
- Centro de Investigación ESM (1991): "Rugopave y Micropave. Una familia de soluciones para capas de rodadura de pequeño espesor. SPRINT. Lisboa.
- Comité Technique des Caractéristiques de Surface AIPCR (1993): "Les enrobes drainants". AIPCR. París.
- Comité Técnico de Firmes Flexibles AIPCR (1995): "Experiencia práctica en la aplicación de mezclas drenantes". XX Congreso Mundial de las Carreteras. Montreal.

- KRAEMER, C. (1997): "Retrospectiva y actualidad de las mezclas drenantes". Congreso Europeo de Mezclas Drenantes. Madrid.
- MIRO, R. (1991): "Nuevos criterios y técnicas de conservación de carreteras metropolitanas". XVIII Semana de la Carretera. Sevilla.
- MIRO, R. (1994): "Rehabilitación con capas delgadas. Materiales y proyecto". II Congreso Nacional de Firmes. Regeneración y rehabilitación. Valladolid.
- PEREZ JIMENEZ, F.E. (1994): "Mezclas drenantes y capas finas como rodaduras bituminosas". Jornadas Técnicas de Calidad Ferroviaria. Segovia.
- PEREZ JIMENEZ, F.E. (1994): "Medidas correctoras del ruido de rodadura. Microaglomerados y pavimentos porosos". Jornades sobre contaminació acústica als municipis. Actuacions correctores. Barcelona.
- PEREZ JIMENEZ, F.E. (1995): "Mezclas drenantes". Jornadas sobre nuevas especificaciones para productos bituminosos. Barcelona.
- PEREZ JIMENEZ, F.; MIRO, R. (1997): "Caractérisation mécanique de liants asphaltiques. Méthode UCL". Quatrième Symposium International RILEM. Lyon.
- PEREZ JIMENEZ, F.; MIRO, R.; CANCER, J.M. (1993): "Uso de fibras sintéticas en la construcción de carreteras". XII Congreso Mundial IRF. Madrid.
- PEREZ JIMENEZ, F.; MIRO, R.; FONSECA, C. (1997): "Essai BTD pour la détermination de la ténacité et résistance au fissurage des mélanges bitumineux". Quatrième Symposium International RILEM. Lyon.
- Firmes y pavimentos. Orden FOM 891/2004. Ministerio de Fomento.
- RUIZ, A. (1995): "Nueva normativa sobre mezclas discontinuas para capas finas". Jornadas sobre nuevas especificaciones para productos bituminosos. Barcelona.

- RUIZ, A. (1997): "Caracterización en laboratorio". Congreso Europeo de Mezclas Drenantes. Madrid.