

Situación mezclas drenantes en Europa

Congreso TRB. (Washington 1990)

En el 69º Annual Meeting del TRB (Transportation Research Board) celebrado en Washington durante los días 7-11 de enero de este año, se dedicaron dos sesiones a Las Mezclas Drenantes. Ambas fueron organizadas con la colaboración del Comité Técnico de Características Superficiales de la AIPCR, con el fin de darle una mayor difusión internacional, invitando a los técnicos europeos con una mayor experiencia en este tipo de mezclas.

Fueron presentadas un total de 12 comunicaciones todas europeas: cuatro francesas, dos belgas, dos españolas y una de cada uno de estos países: Suiza, Inglaterra, Italia y Holanda.

En las mismas se exponían las experiencias de cada país en este tipo de mezclas, en todo lo que concierne a: composición, comportamiento invernal, nivel acústico, comportamiento bajo tráfico, contribución estructural... en definitiva, quedaba reflejado el estado del arte de estas mezclas en cada uno de los países anteriormente citados.

A destacar igualmente que, en tres comunicaciones: italiana, francesa e inglesa se trataba en profundidad, y en exclusividad, sus propiedades acústicas.

Se recogen aquí una de las dos ponencias españolas presentadas, así como un breve resumen general de las sesiones.

Conclusiones generales

Como resumen a las comunicaciones presentadas podemos obtener las siguientes conclusiones:

-Las mezclas porosas son un tipo de mezclas en franco desarrollo, que aunque inicialmente empleadas en USA, bajo forma de tratamiento superficial en capa de 2 cm, para luchar frente al deslizamiento, están experimentando una evolución importante al desarrollarse en Europa, con un concepto mucho más amplio: el de ser un pavimento, con un cierto aporte estructural, seguro, resistente al deslizamiento, capaz de absorber el agua de lluvia eliminando el agua superficial que se interpone entre el neumático y el pavimento, capaz por último de producir una rodadura cómoda, sin ruidos y por tanto confortable.

-Los espesores de estas mezclas vienen a ser comunes en todos los países europeos: 4-5 cm, aunque en Francia comienzan a emplearse en capas de hasta 50-60 cm, como estructura integral porosa cuyo propósito sea el de absorber el agua de lluvia y evacuarla en períodos de grandes lluvias.

-Coincidencia general en las composiciones granulométricas salvo, quizás, en los franceses y belgas que acuden de manera general a estructuras discontinuas.

-Conveniencia de prestar la máxima atención a las características de resistencia al pulido de los áridos gruesos, endureciendo las mismas, pues se ha visto la influencia de este parámetro (microrugosidad) en la resistencia al deslizamiento a bajas velocidades.

-Acuerdo general en ir a mezclas con contenido elevado en huecos, superior al 20%, tanto por problemas de evolución de la drenabilidad como por problemas sonoros.

-En lo que respecta a los ligantes, se aprecia un empleo masivo en todos los países, de los betunes modificados bien con aporte de polímeros, gomas o aditivos para mejorar la consistencia del ligante y conseguir altos espesores de película y mejorar adhesividad, cohesión, susceptibilidad y durabilidad.

En carreteras de tráfico pesado y/o elevadas velocidades en todos los países, se exige el empleo de ligantes modificados, dejando a los betunes normales únicamente el campo de las carreteras de baja intensidad de tráfico.

-No existe entre países una metodología común para el diseño de estas mezclas, aunque conviene resaltar que Bélgica ya ha adoptado nuestro Método Cántabro, así como el permacámetro L.C.S. para el diseño y la medida de la permeabilidad de estas mezclas.

-Desde el punto de vista de la problemática de la fabricación y puesta en obra, en ningún país realizan variaciones respecto a las mezclas tradicionales, salvo la advertencia de exigir un control más riguroso sobre las temperaturas de fabricación y extendido. No se recomienda el empleo de rodillos vibrantes.

-Acuerdo, casi general, en que las mezclas porosas contribuyen a mejorar la capacidad estructural del firme. Aunque se reconoce que poseen un menor módulo, se estima que, desde el punto de vista estructural, aportan entre el 75-90% de lo

que aportaría una mezcla convencional.

-Por lo que se refiere a su comportamiento invernal en general se comenta que es positivo salvo en zonas de intenso frío, en donde no se deben en principio aplicar. La aparición de hielo no conlleva riesgos de rotura de las mezclas. Los valores de resistencia al deslizamiento son similares a los obtenidos con mezclas densas. Necesidad de prestar mayor atención a las operaciones de extendido y dotación de fundentes, conveniencia de aumentar la dotación (los italianos hablan de triplicar las cantidades). Atención a las zonas de transición: pavimento poroso-mezcla convencional.

-Unanimidad en todos los países en lo que respecta al interés de estas mezclas como posible solución al problema del ruido provocado por la circulación, aunque desde este punto de vista, se cree conveniente aumentar los estudios para ver los efectos de la granulometría, espesor y contenidos en huecos.

Se estima una reducción media en la sonoridad ambiental de 3-6 dB (A) en comparación con una mezcla normal apreciándose incluso superior esa diferencia sobre pavimento húmedo.

-Importancia de mantener el mayor tiempo posible los huecos iniciales; la colmatación influye no sólo en la disminución de la permeabilidad sino en el resto de las propiedades de estas mezclas, acústicas, adherencia...

-En lo que respecta a la adherencia, coincidencia general en que las mezclas porosas son una respuesta excelente al problema del deslizamiento, muy similar al de las mezclas tradicionales.

Conveniencia por tanto de aumentar las exigencias de calidad (resistencia al pulido) de los áridos gruesos por su efecto en la microrugosidad.

-En lo que respecta a su conservación, tema no muy estudiado por el buen comportamiento general de estas mezclas, interesantes los trabajos llevados a cabo por belgas y holandeses de utilizar mezclas en frío especiales para hacer frente a pequeños trabajos de conservación como trabajos de bacheo.

Otros países piensan que debe recurrirse a operaciones de fresado en el último período de vida útil de estas mezclas, admitiéndose por otros la posibilidad de sellado previo a la reposición con una nueva capa de mezcla gruesa.



por A. Ruiz, R. Alberola, E. Pérez y B. Sánchez

Aglomerado drenante en la N-VI, Las Rozas-Villalba.

1. Introducción

La primera aplicación de las mezclas drenantes en España se realiza en el año 1980. Se trata de cuatro tramos de ensayo situados en una carretera del norte de España (Santander), en zona de clima húmedo. Inicialmente el objetivo que se buscaba con las mezclas drenantes era el de su empleo en zonas lluviosas para aumentar la seguridad y comodidad de la circulación de los vehículos con agua en la carretera.

El buen comportamiento de estas mezclas promueven en los siguientes años la construcción de nuevos tramos de ensayo y de pequeñas obras. Pero es a partir de 1986 cuando se produce una aplicación generalizada del material, resueltas ya las dudas sobre durabilidad que inicialmente existían. En estos años ha cambiado el criterio de aplicación, que ya no se refiere exclusivamente a mejorar las condiciones de circulación con lluvia, sino que se trata de conseguir un pavimento con una rodadura cómoda y silenciosa, durable y dotado de una gran macrotextura, para todo tipo de condiciones climáticas.

En la actualidad hay en nuestro país unos 3x10 m (sic) de superficie de rodadura con mezclas drenantes. Las realizaciones van desde carreteras comarcas hasta autopistas, abarcando todo tipo de condiciones climáticas y de tráfico. Entre las obras construidas cabe destacar los 44 km de calzada (unos 500.000 m) en la N-VI, entre las Rozas y Villalba con unos 20.000 vehículos al día por calzada de los que 2.000 son camiones, los 70 km (unos 800.000 m) de la autopista de peaje Bilbao-Behobia, con un tráfico de unos 9.000 vehículos por calzada, de los que 1.200 son camiones, y los 33 km (400.000 m) de las autopistas de ACESA, con un tráfico variable según los tramos entre 800 y 1.800 camiones-día.

La práctica más utilizada actualmente es la de capas de 4 cm con granulometrías 0/12 con muy bajo contenido de arena y betunes puros o modificados con una dosificación del 4,5%, lo que lleva a contenidos de huecos en mezcla de al menos el 20%.

2. Prescripciones de los materiales

2.1. Granulometrías

La selección de las granulometrías adecuadas para las mezclas drenantes se ha efectuado teniendo en cuenta su influencia en la capacidad de drenaje, en la resistencia a la pérdida de partículas, en la resistencia a la deformación plástica y en la macrotextura de la mezcla.

Se han definido dos husos granulométricos, el P-12 y el PA-12 (1,2) (Tabla 1, Figura 1). El huso P tiene una discontinuidad en el tamiz 2,5 mm. Generalmente necesita tres fracciones comerciales de árido (0/2,5; 2,5/5; 5/12-20 mm). Con él se pueden obtener mezclas con un contenido de huecos entre el 15% y el 22%. El huso PA tiene una discontinuidad en el tamiz 5 mm. Por lo general necesita únicamente dos áridos comerciales. Inicialmente se proyectó para reducir el número de fracciones necesarias y

Granulometría	20 mm	12,5 mm	10 mm	5 mm	2,5 mm	0,63 mm	0,08 mm
P - 12	100	75-100	60-90	32-50	10-18	6-12	3-6
PA-12	100	70-100	50-80	15-30	10-22	6-13	3-6

Tabla 1 - Granulometrías

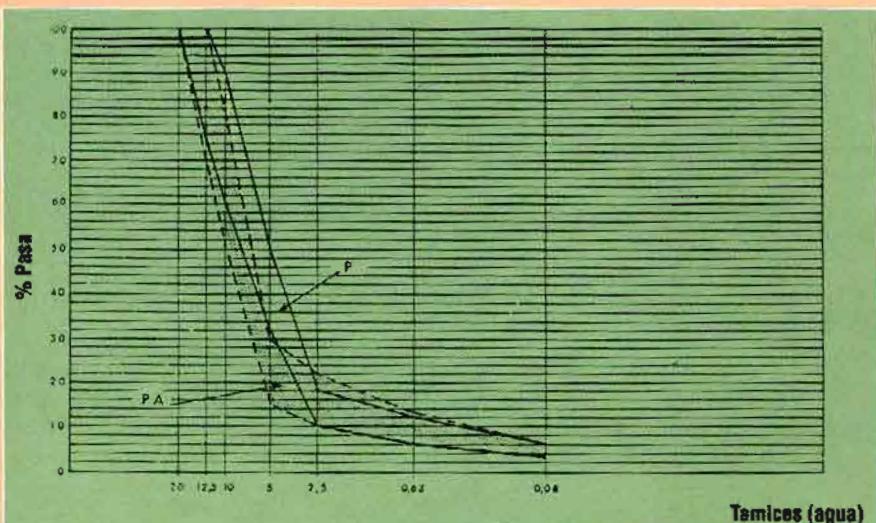


Fig. 1 - Granulometrias

para obtener mezclas más abiertas. Con las granulometrías tipo PA se pueden obtener mezclas con contenidos de huecos de hasta el 25%.

Ambos husos granulométricos tienen una gran proporción de árido grueso (entre el 78% y el 90% de partículas son de tamaño superior a 2,5 mm), buscando un esqueleto mineral con espacio suficiente para acomodar el resto de los componentes y dejar los huecos en mezcla de proyecto. El árido fino debe estar en una cantidad suficientemente reducida como para que no cierre los huecos y no separe las partículas gruesas. Se cree necesario un porcentaje mínimo (3%) de polvo mineral para dar cohesión a la mezcla y evitar la pérdida de partículas.

Actualmente se tiende a utilizar granulometrías PA, con el 10%-15% de partículas que pasan a través del tamiz 2,5 mm y con cantidades de polvo mineral comprendidas entre el 3% y el 4,5%. Con estas mezclas se obtienen porcentajes de huecos superiores al 20%.

El tamaño máximo de árido se ha fijado en 12 ó 20 mm para ambas granulometrías, aunque el utilizado de forma general es el de 12 mm. Con estos tamaños máximos pueden obtenerse profundidades de textura (método de la mancha de arena) entre 1 mm y 2,5 mm.

2.2. Aridos

Considerando que el material va a ir dispuesto en una capa fina, abierta y en rodadura, los áridos gruesos deben tener una gran resistencia a la fragmentación, una buena microtextura y un rozamiento interno adecuado (Tabla 2).

La fragmentación de los áridos produce pérdida de partículas, facilita la entrada del agua, el lavado de las

Actualmente se tiende a utilizar granulometrías PA, con el 10%-15% de partículas que pasan a través del tamiz 2,5 mm y con cantidades de polvo mineral comprendidas entre el 3% y el 4,5%. Con estas mezclas se obtienen porcentajes de huecos superiores al 20%.

0,40 para el resto.

Para evitar que se produzcan deformaciones plásticas y que se

Los Angeles	< 20
Indice de lajas	< 25
CPA	> 0,45 - 0,40
Partículas (%) con 2 ó más caras de fractura	> 100 - 75
Equivalente de arena	> 50

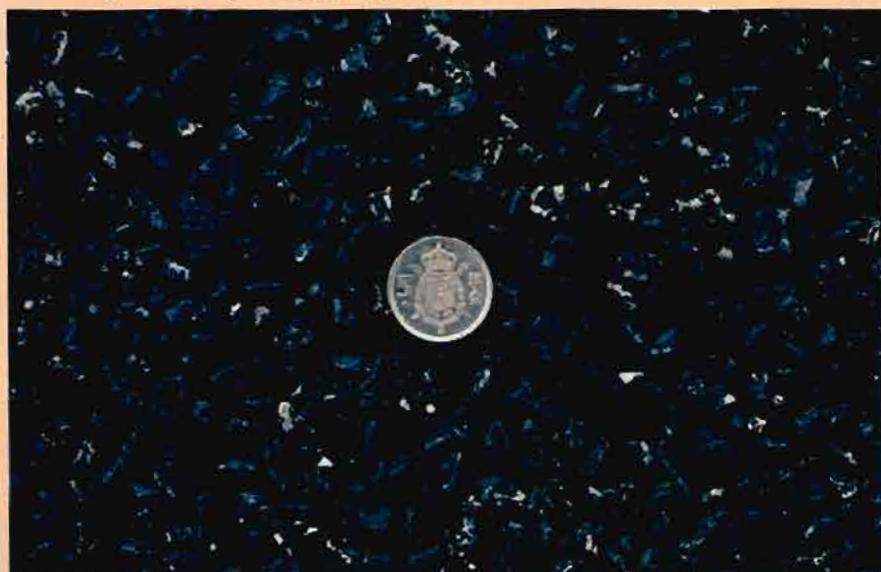
Tabla 2 - Características de los áridos

partículas y puede llevar a que se colmate la superficie con los finos desprendidos. Se considera que es necesario obtener un coeficiente máximo de desgaste Los Angeles de 20. Por la misma razón se fija un índice de lajas máximo de 25.

La necesidad de mantener una buena resistencia al deslizamiento para cualquier velocidad del vehículo hace necesario que se utilicen áridos con una fuerte microtextura. La normativa fija valores del CPA de 0,45 para tráficos iguales o superiores al T₁ y de

cierren los huecos, es necesario conseguir un buen esqueleto mineral con un alto nivel de rozamiento interno. Para tráficos iguales o superiores al T₁ se exige un 100% de partículas con dos o más caras de fractura. Este porcentaje se reduce al 90 para tráficos T₂ y a 75 para T₃.

En las obras realizadas hasta el momento se han venido utilizando exclusivamente como áridos gruesos los procedentes de rocas poco pulimentables (ofitas, esquistos, granito).



Aspecto superficial de mezclas drenantes.

La resistencia a la desintegración se estudia mediante el ensayo Cántabro (NLT-352/86) (3,4). Este es un ensayo de impacto y abrasión, que se lleva a cabo en el cilindro rotatorio del ensayo Los Angeles, sin bolas y a temperatura controlada. Se utilizan probetas Marshall compactadas con 50 golpes por cara.

Las calizas se han utilizado en algún caso en arcenes, aunque existe un ejemplo de una obra con caliza en la calzada, en una isla (Mallorca) en la que no había otros áridos disponibles en las proximidades y que ha tenido un comportamiento satisfactorio hasta la fecha.

Como árido fino se utiliza a menudo la caliza, por razones de adhesividad. El polvo mineral es siempre de aportación (cemento o polvo calizo comercial). Para evitar la presencia de finos nocivos se exige un equivalente de arena mínimo de 50.

2.3. Ligante hidrocarbonado

Debido a la textura abierta de las mezclas drenantes, se trata de conseguir una gruesa película de betún que envuelva las partículas de áridos, para evitar un envejecimiento prematuro del ligante. Desde este punto de vista son preferibles ligantes de gran viscosidad. Pero por otro lado los betunes duros pueden alcanzar una dureza crítica antes que los blandos. Debido a esto es necesario llegar a un equilibrio.

Otros factores a considerar en la elección del ligante son el clima y el tráfico. Los betunes blandos pueden producir exudaciones con temperaturas elevadas y originar deformaciones plásticas, particularmente con tráficos pesados. En climas fríos los betunes duros aumentan peligrosamente la fragilidad de estas mezclas.

Teniendo todo esto en cuenta, los tipos de ligante especificados en España (2) (Tabla 3) son los B 60/70 y B 80/100. El primero se recomienda en áreas de clima cálido y templado con tráfico pesado. Ahora bien, los ligantes más comúnmente utilizados son los

Nº Vehículos pesados en carril proyecto	Zona térmica estival		
	Cálida	Media	Templada
> 2.000		60/70	
2.000-800		60/70	6
200-800			80/100
50-200			
< 50			80/100

Tabla 3 - Ligante

Contenido de ligante	Propiedad de la mezcla	Especificación
Mínimo	Resistencia a la pérdida de partículas (Ensayo Cántabro)	25
	Durabilidad (% betún)	> 4,5
Máximo	Escorrimento del ligante	-
	Drenabilidad (% hueco)	20

Tabla 4 - Dosificación de la mezcla

modificados con polímeros (EVA y SBS). Actualmente el 80% de las mezclas drenantes que existen en España tienen un ligante modificado. Los principales objetivos de su empleo son mejorar la resistencia contra la desintegración mediante una mayor cohesión y aumentar la durabilidad con una película más gruesa de ligante. Como las mezclas drenantes son muy susceptibles a la temperatura, se trata también de conseguir mayores consistencias a altas temperaturas y más flexibilidad a bajas temperaturas.

Sin embargo las observaciones realizadas en laboratorio no han podido ser contrastadas en obra hasta la fecha. En los primeros tramos experimentales en los que se ensayaron mezclas con un contenido bajo de huecos, se compararon mezclas con betunes puros y modificados. Hasta ahora no ha habido diferencias de comportamiento. Cuando se ha ido a las mezclas más abiertas en las que las diferencias podrían ser más marcadas, siempre se han utilizado ligantes modificados por lo que no es posible una comparación.

El criterio actual es mantener el empleo de los ligantes modificados con las mezclas más abiertas y con tráficos pesados pero experimentar con betunes puros para tráficos medios y ligeros (ya existe a este respecto un tramo de comparación en las proximidades de Madrid).

3. Estudio de laboratorio

La dosificación de las mezclas drenantes en laboratorio se basa fundamentalmente en la determinación de (Figura 2, Tabla 4):

—Un contenido mínimo de ligante que asegure una resistencia a la

desintegración (mínimo 1) suficiente en la mezcla y una película espesa sobre de las partículas de árido (mínimo 2).

—Un contenido máximo de ligante que evite el escorrimiento en el manejo y puesta en obra del material y que asegure un porcentaje mínimo de huecos en mezcla para conseguir un buen drenaje del agua (máximo 1).

La resistencia a la desintegración se estudia mediante el ensayo Cántabro (NLT-352/86) (3,4). Este es un ensayo de impacto y abrasión, que se lleva a cabo en el cilindro rotatorio del ensayo Los Angeles, sin bolas y a temperatura controlada. Se utilizan probetas Marshall compactadas con 50 golpes por cara. Los resultados se dan en forma de pérdidas en peso de las probetas, en porcentaje, después de 300 vueltas. La pérdida máxima por abrasión que se admite es 25. Con este ensayo se determina un porcentaje mínimo de ligante.

Por otro lado, el contenido de ligante tiene que ser igual o superior al 4,5% para asegurar una cubrición adecuada de las partículas. El cálculo de huecos se lleva a cabo geométricamente en las mismas probetas Marshall. Para una granulometría dada, el contenido mínimo de huecos especificado (20%) define un contenido máximo de ligante.

También hay un contenido máximo de betún para que no se produzcan escorrimientos, pero no se ha normalizado todavía ningún ensayo para el estudio de esta característica.

Con el procedimiento de fabricación de las probetas debe tenerse en

cuenta que en las mezclas abiertas los impactos de la masa Marshall pueden descolgar parte del ligante, principalmente cuando se trata de altos contenidos. No obstante, esto deja la mezcla en el lado de la seguridad en relación con los resultados del ensayo cántabro. El método de compactación se eligió por ser el que está más generalizado en nuestro país y porque se ha obtenido una buena correlación entre los huecos calculados a partir de las probetas Marshall y los resultados de drenabilidad en carretera. También existe una buena correlación entre los resultados del ensayo cántabro sobre testigos y probetas.

En la dosificación de mezclas drenantes, también se ha utilizado el ensayo cántabro tras inmersión, ensayos de permeabilidad en laboratorio, el ensayo de tracción indirecta y el ensayo en pista de laboratorio.

El método descrito lleva generalmente a contenidos de ligante alrededor del 4,5% para áridos con una porosidad normal. Con estos porcentajes no se han dado hasta la fecha problemas importantes de escorrimiento de ligante o de desprendimiento de partículas.

4. Dimensionamiento

El dimensionamiento de los firmes de nueva construcción con capas de mezcla drenante está normalizado en la Instrucción 6.1 y 2 I.C de la Dirección General de Carreteras del M.O.P.U. (5). El método se presenta en forma de Catálogo, en el que se definen soluciones tipo para distintas condiciones de tráfico y de explanada.

En el catálogo se establece un espesor de 4 cm para estas capas. No se ha considerado el ir a capas más gruesas ya que los 4 cm son suficientes para condiciones usuales de lluvia. Las capas más delgadas tienen un mal comportamiento con lluvias fuertes y reducen la durabilidad de la capa.

Las mezclas drenantes se han utilizado y se utilizan como capa de rodadura en firmes de nueva construcción y en refuerzo de firmes, aunque la principal aplicación hasta ahora ha sido en rehabilitaciones de superficies envejecidas o deslizantes, como alternativa, generalmente ventajosa, desde el punto de vista de la durabilidad a capas de mezclas densas de 4 ó 5 cm microaglomerados, lechadas bituminosas o tratamientos superficiales. En zonas específicas de corta longitud (curvas deslizantes) donde se exige una resistencia al deslizamiento muy alta siguen siendo preferibles las soluciones convencionales, es decir, las tres últimas de las citadas anteriormente: Sí se han utilizado en tramos cortos (<300 m) en zonas de difícil evacuación de agua –cambio del sentido del peralte, puntos bajos– para facilitar su salida.

5. Campo de aplicación

Las mezclas drenantes se han utilizado y se utilizan como capa de rodadura en firmes de nueva construcción y en refuerzo de firmes, aunque la principal aplicación hasta ahora ha sido en rehabilitaciones de superficies envejecidas o deslizantes, como alternativa, generalmente ventajosa, desde el punto de vista de la durabilidad a capas de mezclas densas de 4 ó 5 cm microaglomerados, lechadas bituminosas o tratamientos superficiales. En zonas específicas de corta longitud (curvas deslizantes) donde se exige una resistencia al deslizamiento muy alta siguen siendo preferibles las soluciones convencionales, es decir, las tres últimas de las citadas anteriormente: Sí se han utilizado en tramos cortos (<300 m) en zonas de difícil evacuación de agua –cambio del sentido del peralte, puntos bajos– para facilitar su salida.

Los casos en los que debe estudiarse su empleo con precaución son los siguientes:

- Zonas con frecuentes nevadas, por el problema de la conservación invernal.
- Zonas urbanas o industriales en las que se produzcan movimientos bruscos de giro, impactos y fuertes desgastes por abrasión o derrames de combustibles o aceites.
- Zonas en las que exista fuerte riesgo de reflexión de grietas, bien de retracción o de fatiga.
- Tableros de puente, especialmente en zonas frías.

En cualquier caso es absolutamente necesario apoyarlas sobre superficies impermeables y regulares, y asegurar un adecuado drenaje lateral.

6. Fabricación y puesta en obra

Si se colocan sobre firmes antiguos, como rehabilitación superficial de un firme deslizante o envejecido, previamente debe procederse a un saneo de las zonas deterioradas y a una regularización de la superficie si existen desniveles importantes. Si se utilizan mezclas drenantes sobre firmes con grietas reflejadas en superficie es necesario proceder previamente a un sellado de las mismas (pero no son una buena solución para este tipo de firmes).

En todo caso hay que asegurar la impermeabilización y el agarre de la capa. Sobre capas nuevas o viejas se extiende previamente a la colocación del material un riego con emulsión con una dotación de betún residual de 500-600 gr/m. En firmes con la superficie

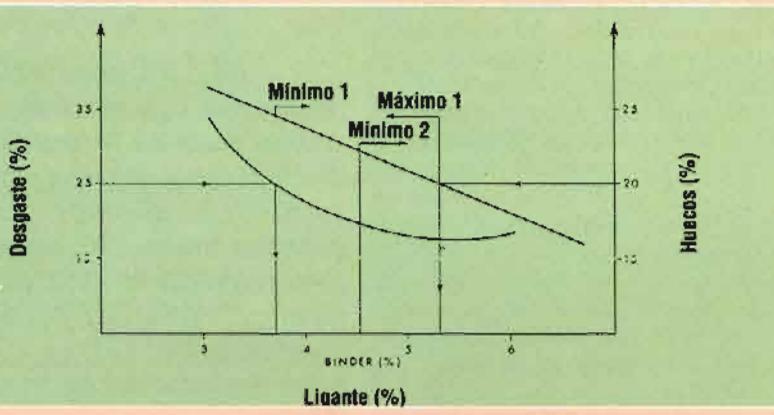


Fig. 2 - Dosificación del ligante



Drenante en la N-II, accesos aeropuerto de Barajas.

muy pulimentada o muy abierta puede incluso ser necesario colocar una lechada bituminosa con árido fino.

Se fabrican en centrales de tipo discontinuo. La producción de la planta debe corresponderse con el equipo de extendido de manera que las paradas sean mínimas. Las temperaturas de fabricación dependen del tipo de ligante empleado, pero también debe tenerse en cuenta la distancia de transporte (enfriamiento y escurrimiento del ligante). Con los betunes modificados con elastómero que se emplean generalmente oscilan entre 145°C y 150°C, no pasando nunca de los 160°C. Con betunes puros las temperaturas oscilan entre los 130°C y los 140°C.

En el transporte es necesario cubrir adecuadamente los camiones con lonas y en el tajo disponer algún obrero que se encargue de retirar aquella porción de la mezcla que esté aglomerada (generalmente corresponde a la que se encuentra en la parte delantera de la caja del camión).

Según las prescripciones establecidas, no debe extenderse este material cuando la temperatura ambiente sea inferior a 8°C. Debe prestar especial atención a la combinación de viento o temperaturas bajas, parando el extendido cuando se dé esta circunstancia. En cualquier caso, la temperatura de la mezcla en el extendido debe estar entre 130°C y 140°C y no bajar nunca de 120°C en la compactación.

Estas mezclas no se prestan muy bien a las labores manuales de corrección, por lo que se deben limitar a lo imprescindible. Por otro lado se debe extremar la precaución de eliminar los residuos de la extendedora en cualquier cambio o interrupción del tajo.

La compactación se desarrolla con rodillos lisos, de 7-10 Tn de peso total, sin vibración. El procedimiento usual es colocar dos compactadores similares. El primero compacta con 4-5 pasadas, y el segundo da 2-3 pasadas con la función de borrar las huellas del anterior y mejorar la terminación superficial.

Los arcenes en firmes con capas de rodadura drenantes se han construido hasta ahora prolongando la mezcla drenante en todo el arcén, o continuándola únicamente 50 cm dentro del arcén, achaflanando su borde exterior. La capa de rodadura del arcén en el segundo caso o la intermedia en el primero, no pueden ser drenantes.

Los aspectos diferenciales del control de este material respecto al de las mezclas convencionales son:

- En el control de fabricación se sustituye la rotura Marshall por el ensayo cántabro de pérdida por desgaste, sobre probetas Marshall compactadas con 50 golpes por cara y en las que previamente se han determinado los huecos.

- En la puesta en obra el grado de compactación puede controlarse

indirectamente mediante el ensayo de drenabilidad in situ.

Este ensayo se lleva a cabo mediante el drenómetro LCS (2). El equipo, desarrollado por la Universidad de Santander en el año 81, es un permeámetro de carga variable con el que se mide el tiempo necesario para evacuar 1.735 l de agua a través de una superficie del pavimento de 7 cm².

El porcentaje de huecos, relacionado previamente con el grado de compactación se relaciona con el tiempo de evacuación de agua mediante la expresión (7):

$$H = 58,6 T^{0,305}$$

donde:

Los principales problemas con estas mezclas se han dado en forma de desprendimiento de gravillas en zonas localizadas o en grandes zonas. Su origen es generalmente la colocación de mezcla fría, la falta de compactación o el escurrimiento del ligante.

La evolución de las mezclas se ha estudiado mediante la medida de su drenabilidad, textura superficial, resistencia al deslizamiento y la inspección visual de su condición.

H = % huecos en mezcla
T = tiempo de evacuación del agua

7. Conservación

Los principales problemas con estas mezclas se han dado en forma de desprendimiento de gravillas en zonas localizadas o en grandes zonas. El proceso suele ser muy rápido a partir de la puesta en obra. Su origen es generalmente la colocación de mezcla fría, la falta de compactación o el escorrimiento del ligante. La solución siempre ha sido fresar y sustituir el material retirado por otra mezcla drenante. En un caso la rehabilitación se efectuó colocando encima otra mezcla drenante, con buen comportamiento hasta la fecha. Nunca se ha procedido a la rehabilitación por razón de colmatación del material.

En conservación invernal no hay una gran experiencia en el país. Si se han detectado problemas de deslizamiento por formación de placas de hielo después de nevadas. Esto ha llevado a evitar su utilización en zonas extremadamente frías. En las zonas templadas en las que se producen nevadas pocos días al año, la solución ha sido utilizar una mayor dotación de sales (como mínimo el doble) y aumentar la frecuencia de extendido.

8. Comportamiento de los firmes existentes

En las primeras aplicaciones de las mezclas drenantes se adoptó una postura conservadora, construyendo mezclas con un moderado contenido de huecos (15%-18%). La durabilidad de las mezclas con contenidos de huecos por encima del 20% en los tramos experimentales de Santander y la colmatación observada en las mezclas con contenido bajo de huecos llevó a que a partir del año 86 se prefiriesen las mezclas más abiertas. Parece pues conveniente analizar el comportamiento de estos aglomerados

diferenciando entre los que tienen huecos en mezcla superiores o inferiores al 20%.

A) Mezclas con menos del 20% en huecos

Este tipo de mezclas son las primeras en utilizarse y existe experiencia sobre ellas desde el año 80. Generalmente se trata de granulometrías tipo P con betún puro en porcentajes en torno al 4,5%. El contenido de huecos generalmente se sitúa en el intervalo 16%-20%.

La evolución de las mezclas se ha estudiado mediante la medida de su drenabilidad, textura superficial, resistencia al deslizamiento y la inspección visual de su condición.

A lo largo del tiempo se ha observado una fuerte disminución de la capacidad drenante. Los factores que intervienen son la colmatación de los huecos superficiales por depósitos de naturaleza diversa o de los huecos internos por arrastres y la densificación por el paso de los neumáticos.

La evolución presenta una gran dispersión dependiendo de las condiciones de la zona y del tipo de tráfico. La colmatación —considerando como colmatación tiempos de desagüe con el drenómetro LCS superiores a 600 seg— se ha producido en períodos variables. Con las mezclas más cerradas y los tráficos más pesados se han llegado a producir a los 2 años de la puesta en



Detalle de drenabilidad de estas mezclas.

Los tiempos iniciales de desagüe en carretera han oscilado entre 30 seg y 75 seg. La textura, medida en profundidad de círculo de arena según la Norma NLT-335/87, oscila entre 1 mm y 1,5 mm. La resistencia al deslizamiento medida con péndulo tipo TRRL y según la Norma NLT-175/88, se encuentra entre 0,45 y 0,70. El coeficiente de resistencia al deslizamiento transversal, medido con un equipo tipo SCRIM a 50 km/h, da valores comprendidos entre 0,50 y 0,70.

obra, y las más abiertas con tráficos medios han llegado a los 9 años sin colmatarse totalmente.

La profundidad de la textura y la resistencia al deslizamiento no cambia apreciablemente a lo largo del tiempo. En la actualidad todos los tramos construidos con estas mezclas presentan un buen aspecto, sin deterioros importantes. A pesar de la reducción de la capacidad de desagüe, todos los tramos, incluso los colmatados, presentan un aspecto seco con lluvias

Tramo de Ensayo	Permeabilidad (seg)				
	Inicial	4 meses	2 años	4 años	9 años
I	30	75	180	288	colmatado
II	46	70	100	159	220

Tramo de Ensayo	Permeabilidad (seg)		
	4 meses	2 años	7,5 años
2	65	180	colmatado
3	58	220	350
4	45	140	300
6	120	300	colmatado
9	80	200	colmatado

Tabla 5 - Permeabilidad (Tramos de ensayo de Santander)

“

A pesar de la reducción de la capacidad de desagüe, todos los tramos, incluso los colmatados, presentan un aspecto seco con lluvias ligeras o inmediatamente después de lluvias fuertes. A lo largo del tiempo de análisis han mantenido una buena resistencia al deslizamiento.”

ligeras o inmediatamente después de las lluvias fuertes, con una diferencia muy marcada a este respecto frente a las mezclas densas convencionales.

En la Tabla 5 se presentan los valores correspondientes a la evolución de los tiempos de desagüe para los tramos de ensayo de Santander. Se encuentran situados en una carretera por la que circulan 5.000 vehículos al día por cada carril, de los que 700 son camiones. La zona es lluviosa y con un importante tráfico agrícola. Como puede verse, algunos mantienen una cierta capacidad de drenaje después de 7-9 años.

En la Tabla 6 se presentan los resultados obtenidos a lo largo de 4 años en una carretera situada en las proximidades de Madrid. Tiene doble calzada y dos carriles por sentido de circulación, con un tráfico de unos 10.000 vehículos-día por calzada, de los que 1.800 son camiones. Los huecos iniciales en mezcla eran el 17%.

Como puede verse, en este tramo se llegó en algunos casos a un tiempo de desagüe de 200 seg en 1 año, y en todos los del carril derecho a los 2 años. A los 4 años este carril está prácticamente colmatado. Aunque se ha visto que el principal factor en la colmatación es la postcompactación en las rodadas, la zona que se encuentra entre ellas está también colmatada por los derrames de aceites y combustibles de los camiones. El carril izquierdo de la misma calzada todavía se encuentran en buenas condiciones de desagüe.

B) Mezclas con más del 20% de huecos

Estas mezclas comenzaron a emplearse de forma generalizada en el

Carril izquierdo				Carril derecho			
Distancia al borde de la calzada (m)							
0,70		1,70		1,70		0,70	
63	79	71	87	80	113	150	219
99	—	109	—	226	608	362	988

10 - 30 medidas en cada punto
— no medido

Clave	
6 meses 2 años	1 año 4 años

Tabla 6 – Permeabilidad (seg) en diferentes zonas de la calzada (Navalcarnero)

año 86 y en la actualidad son las más utilizadas. La experiencia abarca todo tipo de carreteras y tráficos. Se trata por lo general de granulometrías tipo PA, con betún modificado con elastómeros en porcentajes en torno al 4,5%.

Los tiempos de desagüe in situ con el permeámetro LCS oscilan entre 15 y 25 seg. Las medidas de textura con el círculo de arena se sitúan entre 1,3 mm y 2,2 mm, y los coeficientes de resistencia al deslizamiento medidos con equipos tipo SCRIM están entre 0,60 y 0,80.

En los tramos experimentales de Santander se estudiaron ya estas mezclas y actualmente, después de 7-9 años de servicio, tienen tiempos de desagüe comprendidos entre 150 seg y 300 seg.

La obra más significativa de las realizadas es la de Las Rozas-Villalba, en las proximidades de Madrid, con un tráfico de unos 20.000 vehículos al día por sentido de circulación, de los que unos 2.000 son camiones.

En esta obra, la mezcla con un 22% de huecos dio tiempos iniciales de desagüe comprendidos entre 15 y 25 seg. A los 2 años de servicio el intervalo de valores de desagüe se encuentra entre los 20-50 seg, que corresponden aún a una gran permeabilidad, la textura es de aproximadamente de 2,2 mm y el coeficiente de resistencia al deslizamiento es de 0,55-60 y 0,60-0,80 medidos con el péndulo TRRL y el SCRIM respectivamente.

12. Conclusiones

Las mezclas drenantes utilizadas en España con contenidos de huecos inferiores al 20%, generalmente con betunes puros, han tenido un comportamiento variable, colmatándose algunas a los 2 años de servicio —las más cerradas y que soportan un tráfico más pesado— y teniendo otras capacidad de desagüe después de 9 años de servicio. Todos los tramos construidos con estas mezclas presentan un buen aspecto, sin deterioros importantes. A pesar de la reducción de la capacidad de

desagüe, todos los tramos, incluso los colmatados, presentan un aspecto seco con lluvias ligeras o inmediatamente después de lluvias fuertes. A lo largo del tiempo de análisis han mantenido una buena resistencia al deslizamiento.

Las mezclas drenantes con huecos superiores al 20%, se han fabricado fundamentalmente con betunes modificados, y han tenido un buen comportamiento, incluso con tráficos muy pesados, aunque en este caso, la experiencia es de 3 años únicamente. En estas mezclas, al igual que en las anteriores, no se han producido fallos importantes y al cabo de los años de análisis conservan una excelente resistencia al deslizamiento.

Referencias

- Perez, F.E.; Kraemer, C. y Lacleta, A.; "Mezclas bituminosas porosas". Madrid, 1982.
- M.O.P.U.; "Mezclas bituminosas porosas"; Madrid, 1987.
- Calzada, M. A.; "Desarrollo y normalización del ensayo de pérdida por desgaste aplicado a la caracterización, dosificación y control de mezclas bituminosas de granulometría abierta". Tesis Doctoral. ETSICCP y P. Santander, 1984.
- NLT-352/86. "Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cántabro de pérdida por desgaste". CEDEX-MOPU. Madrid, 1986.
- M.O.P.U.; Instrucción 6.1 y 2-IC de la D.G.C.; Madrid, 1989.
- Pérez, F. E.; "Permeámetro LCS". Universidad de Cantabria, Santander, 1985.
- NLT-327/88. "Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes mediante el permeámetro LCS". CEDEX-MOPU. Madrid, 1988.