

“Comparación de Mezclas Asfálticas Drenantes fabricadas con asfalto modificado y sin modificar”

*Germán Juyar Mora, Gabriel Pérez Cely**

Este trabajo establece como objetivo analizar el comportamiento a nivel de laboratorio de las mezclas drenantes fabricadas con y sin asfalto modificado para determinar las ventajas y desventajas de dichas mezclas, a su vez caracterizar los materiales utilizados para el diseño, los cuales deben cumplir ciertas normas y de esta manera establecer la diferencia entre un asfalto modificado y uno sin modificar; por último se determinarán los porcentajes de polímero y asfalto óptimos para el diseño de estas mezclas.

Introducción

Este trabajo pretende iniciar la investigación de nuevas tecnologías en el campo de las vías, específicamente en el diseño de pavimentos; estudios realizados en países europeos reflejan la conveniencia de utilizar

los asfaltos modificados en las mezclas asfálticas drenantes y compararlos a nivel de laboratorio con los asfaltos tradicionales.

Se presentan las ventajas y desventajas para la aplicación en el país de esta tecnología y así utilizar los diferentes porcentajes de asfalto modificado, que a su vez indica cuales son los más apropiados, con el fin de difundir los pavimentos drenantes y acceder al conocimiento de nuevos productos como es el caso de los modificadores de asfalto. No existe publicaciones técnicas en el país donde se haga referencia a este tema, por lo tanto la investigación se basó en los estudios realizados por otros países que han desarrollado esta tecnología.

Investigaciones y prácticas realizadas en países europeos han mostrado la eficiencia de este tipo de pavimentos asfálticos; su desarrollo y tecnología se ha aplicado desde

* Ingenieros Civiles, Universidad Militar “Nueva Granada”

los años 80's y en este país es relativamente nuevo el concepto de pavimentos drenantes. Asociaciones españolas y francesas, quienes han sido los pioneros en este tipo de pavimentos, han recomendado su utilización para vías de alta velocidad, en las cuales se evalúa el concepto de los usuarios respecto de la calidad de la vía que éstos utilizan.

Los estudios han mostrado la conveniencia de utilizar y difundir el concepto de los pavimentos drenantes. La puesta en práctica de los pavimentos drenantes, la necesidad de restaurar y rehabilitar las vías existentes con procesos de reparcheos, reciclajes y tratamientos superficiales ha permitido desarrollar la investigación de nuevos aditivos, como es el caso de los modificadores de asfalto, los cuales permiten mejorar las condiciones de adhesividad y resistencia abrasiva de los asfaltos en la mezcla asfáltica. El desconocimiento de las características de estos no ha permitido la difusión de su utilización en las vías colombianas.

Para lograr los objetivos propuestos se realizó un estudio de caracterización de los materiales utilizados para el diseño de las mezclas asfálticas drenantes, los cuales cumplen ciertas normas establecidas.

En cuanto a la metodología empleada para la elaboración de este trabajo se basó en la realización de unos diseños de mezclas previo estudio y ensayo de los materiales; una vez fueron fabricadas se procedió a ser ensayadas por diferentes métodos, que permitieron obtener resultados en términos estadísticos: tablas, figuras, fórmulas, etc., con el fin de comparar el comportamiento de los diferentes porcentajes de material

dentro de las mezclas obteniendo la dosificación adecuada de los polímeros y determinando las ventajas y desventajas de las mezclas asfálticas drenantes, con el fin de hacer las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

Objetivos

- Analizar el comportamiento a nivel de laboratorio de las mezclas drenantes con y sin asfalto modificado.
- Determinar las ventajas y desventajas de las mezclas asfálticas drenantes.
- Caracterizar los materiales utilizados para el diseño, los cuales deben cumplir ciertas normas.
- Establecer la diferencia entre un asfalto modificado y uno sin modificar.
- Determinar los porcentajes de polímero y asfalto óptimos para el diseño de estas mezclas.

1. Información Básica sobre las Mezclas Asfálticas Drenantes

1.1 Mezclas asfálticas drenantes

Las mezclas asfálticas drenantes son aquellas mezclas asfálticas cuyo porcentaje de vacíos es lo suficientemente alto para permitir que a través ellas se filtre el agua con rapidez y pueda ser evacuada hacia las bermas, cunetas u otros elementos de drenaje, evitando así su permanencia en la superficie

de la vía (capa de rodadura), incluso bajo precipitaciones intensas y prolongadas.

Para que una mezcla pueda considerarse como drenante debe tener un contenido inicial de vacíos del 16%, el cual permite una permeabilidad adecuada en este tipo de mezclas. Para que la capacidad de drenaje se mantenga durante un período de tiempo razonable, lo aconsejable es partir de una mayor relación de vacíos de la mezcla con el fin de aumentar la permeabilidad.

Las mezclas drenantes pueden construirse tanto en caliente como en frío, empleando como ligantes los betunes puros o las emulsiones asfálticas, modificadas o no. De hecho, las mezclas en frío fabricadas tradicionalmente en España, con un contenido nulo o casi nulo de arena, son drenantes en sentido estricto con porcentajes de vacíos presente en la mezcla asfáltica del orden del 25%. Sin embargo, la técnica de las mezclas drenantes ha adquirido un auge espectacular en los últimos años debido al avance de sistemas de diseño e instalación en obra como mezcla bituminosa en caliente.

1.2 Características de las mezclas drenantes

Las mezclas asfálticas drenantes poseen una serie de características especiales que hacen que su comportamiento sea diferente al de los pavimentos impermeables convencionales. Estas diferencias hacen que las mezclas drenantes presenten una serie de ventajas, pero también que tengan algunas limitaciones:

ES Ventajas

- **Se obtiene una mayor resistencia al deslizamiento bajo lluvia y se elimina o reduce el fenómeno de hidroplaneo (acuaplaning):** Al presentarse el fenómeno de hidroplaneo se produce una pérdida total del control sobre la dirección del vehículo, al existir una película de agua entre los neumáticos y la capa de rodadura. La capacidad de la mezcla para mantener el pavimento libre de agua depende de su capacidad permeable y su espesor.

Cuando hay una película de agua sobre la vía la disminución de la adherencia entre el neumático y la carpeta de rodadura es considerable, con lo que aumentan los riesgos de accidentes.

Las mezclas drenantes producen una mejora en estos casos, debido a que:

- Aumenta la macrotextura del pavimento.
- Eliminan el agua de la superficie del pavimento.
- **Elevada resistencia al deslizamiento a altas velocidades.** En las mezclas asfálticas drenantes los parámetros de macrotextura obtenidos son siempre altos, por lo cual la pérdida de resistencia al deslizamiento con la velocidad depende fundamentalmente de la macrotextura de la superficie de rodadura.
- **Reducción del agua dispersada por el paso de vehículos.** La seguridad y la comodidad del conductor se ve afectada

en tiempo de lluvia por el agua dispersada por los vehículos, especialmente por los camiones y volquetas que no poseen guarda fangos, disminuyendo o afectando la visibilidad y las maniobras de adelantamiento. De forma espectacular las mezclas drenantes disminuyen de forma radical estas dispersiones, hasta prácticamente eliminarlas, incluso bajo lluvias intensas y prolongadas.

- **Mejora de la visibilidad con la capa de rodadura mojada.** En pavimentos convencionales mojados y sobre superficies de macrotextura lisa se produce la reflexión de la luz de los vehículos que circulan en sentido contrario durante la noche, presentándose el deslumbramiento de los conductores. Al eliminarse la película de agua con las mezclas drenantes y dotar la rodadura de una macrotextura rugosa se reduce la reflexión de la luz de los vehículos y se mejora la visibilidad de las marcas viales.
- **Adecuado comportamiento mecánico.** Pese a la baja estabilidad de estas mezclas drenantes en el laboratorio, la cohesión obtenida y el comportamiento interno del sustrato mineral evitan que se presenten problemas de deformaciones plásticas durante la vida útil con espesores habituales de 3 a 5 cm. La cohesión y vínculo proporcionado por el ligante y la fracción del agregado fino mantienen la unión del agregado en la mezcla e impiden que se produzca desgaste y pérdidas de agregado grueso. La experiencia en España ha demos-

trado que no existen problemas de degradación debidos a la acción del agua o del envejecimiento del ligante, y su durabilidad también es óptima.

- **Pavimentos de rodadura cómoda y silenciosa.** En los pavimentos drenantes la macrotextura se obtiene mediante la formación de concavidades, generando menor ruido de rodadura, similar a la que se produce con un pavimento de macrotextura lisa. Por otro lado la presencia de poros transforman la capa de rodadura en un material absorbente que ayuda a disminuir el ruido total producido por la circulación de los vehículos.

Limitaciones

- **Pérdida de la permeabilidad en el tiempo.** Ocasionada por la acción del tráfico, el polvo, suciedad, derrumbes del material sobre la vía, etc., se puede presentar disminución en la permeabilidad lo que puede suponer una pérdida parcial de sus propiedades iniciales para las cuales esta mezcla es diseñada.

El diseño de mezclas drenantes con contenido de vacíos alto, el uso de agregados redondeados con fracturas en más de dos (2) caras y alta resistencia al desgaste, ayuda a evitar que se produzca la colmatación de los poros.

- **Disminución de la resistencia por la acción de los disolventes y derivados del petróleo.** Este problema puede localizarse únicamente en aquellos puntos donde se puedan producir

vertidos (pendientes fuertes, estacionamientos, etc.)

- **Requerimiento de un soporte adecuado.** En una capa de rodadura, la mezcla asfáltica drenante necesita apoyarse sobre una base firme y estructuralmente adecuada, además, ésta debe cumplir con excelentes especificaciones geométricas y ser completamente impermeable, lo cual permite un excelente drenaje de la carpeta.

■ **Ensayos de las mezclas asfálticas drenantes**

Ensayo Cántabro: consiste en determinar el desgaste de una briqueta de mezcla asfáltica empleando la máquina de Los Ángeles sin carga, el procedimiento es el siguiente:

- Establecida la granulometría de los agregados, se preparan, para cada contenido de asfalto, un mínimo de 4 briquetas, en nuestro caso prepararemos siete (7) briquetas, con el fin de analizar el desgaste de la mezcla sumergida en agua a 49°C durante 4 días.
- Los agregados se secan en estufa hasta peso constante a una temperatura de 105 a 110°C . Con el fin de mejorar la

condición de la mezcla el agregado fino, tamiz pasa N° 200 (filler o llenante mineral) será reemplazado por cemento Portland.

- El betún empleado, asfalto de Apiay, se calienta hasta una temperatura de mezclado ($145 \pm 5^{\circ}\text{C}$) de acuerdo con ECOPETROL, tal que su viscosidad ($170 \pm 20\text{ cSt}$) permita una buena envoltura sin que se produzca el escurrimiento.
- La compactación de la mezcla se realiza empleando los moldes y la masa Marshall, pero dando a cada briqueta un total de 50 golpes por cara.
- Sobre la briqueta fabricada se realizan ensayos de densidad y vacíos siguiendo un procedimiento geométrico.
- Después de pesar las briquetas, se someten en la Máquina de Los Ángeles, sin carga abrasiva (bolas), a 300 vueltas. La temperatura del ensayo deberá ser de $18 \pm 1^{\circ}\text{C}$ o de $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- Después de las 300 vueltas se pesa la briqueta y se calcula la pérdida de peso en porcentaje respecto del inicial que ha sufrido.

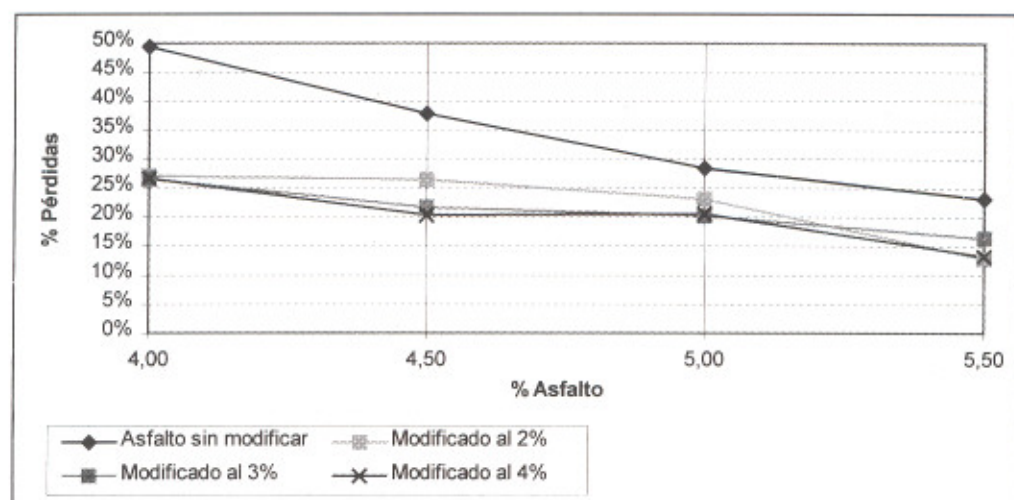


Figura 1
Pérdidas
por desgaste en el
ensayo Cántabro
(En seco)

Este valor de la pérdida de peso generado por el desgaste de la Máquina de Los Ángeles es el que sirve de referencia para la dosificación de la mezcla. Es importante señalar junto con la pérdida de peso, la temperatura a la que se ha efectuado el ensayo, puesto que este parámetro es de fundamental importancia, cualquier variación en la temperatura influye de manera

decisiva y afectará significativamente los resultados obtenidos.

Aunque no está especificado en la normativa española, se sugiere realizar paralelamente un ensayo de pérdida por desgaste sobre briquetas sumergidas en agua durante 4 días a 49°C . De esta manera se puede conocer el efecto del agua sobre la cohesión y resistencia de la mezcla asfáltica drenante.

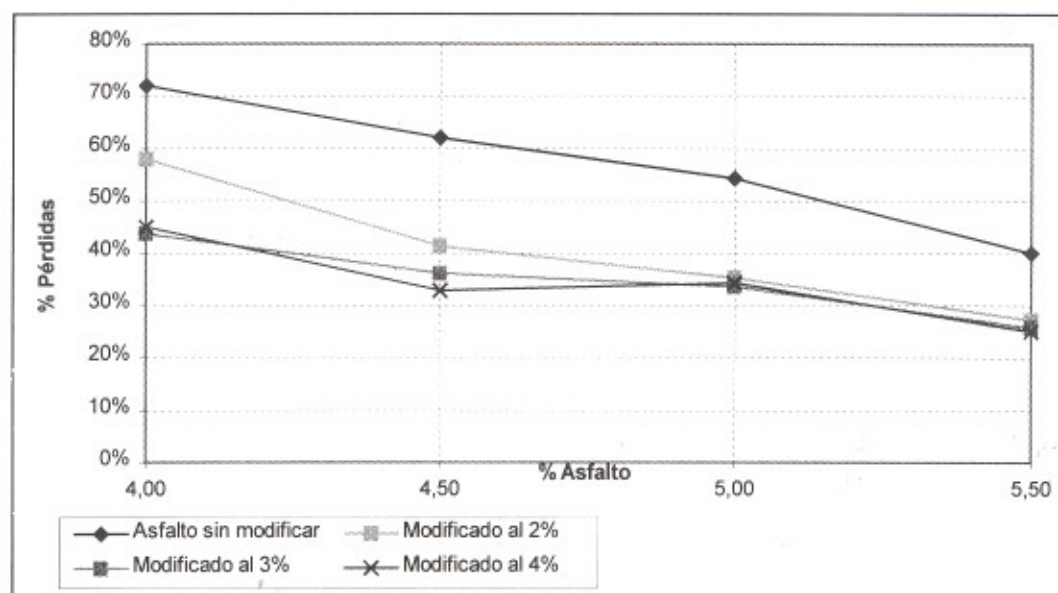


Figura 2 Pérdidas por desgaste en el ensayo Cántabro (Sumergido)

La normativa española actual establece que la pérdida por desgaste en el Ensayo Cántabro a 25°C debe ser inferior al 25% en peso. Además, el contenido de vacíos, según la norma NLT-159/86, deberá ser superior al 20%. Los contenidos de asfalto mínimo son de 4,5%.

Luego de establecidos estos criterios es relativamente fácil establecer cuál debe ser el contenido mínimo de asfalto de la mezcla asfáltica drenante, con los asfaltos convencionales, puede ser difícil ajustar una curva granulométrica y un contenido de asfalto tales que se cumplan las dos condiciones exigidas: vacíos y pérdida por desgaste. Por ello, es habitual buscar una mejora de la resistencia de la mezcla, y, por consiguiente, una menor pérdida por desgaste, empleando betunes modificados.

La realización del ensayo de pérdida por desgaste tras inmersión es muy recomendable puesto que permite simular el efecto que va a producir la presencia de agua en todo el espesor de la mezcla durante la vida de servicio de ésta. Además, permite detectar posibles problemas de mala adhesividad pasiva agregado - asfalto, posibles problemas de mala calidad de los filleres, etc, además de constituir una garantía de seguridad para el futuro comportamiento de la mezcla en la carretera. (Bardesi-Echevarría, 1995 p. 8).

Debido al empleo de betunes modificados como ligantes se ha permitido aumentar el contenido de vacíos exigido hasta valores del

orden de 21 - 25% con excelentes resultados de pérdidas por abrasión favoreciendo con esto la drenabilidad y sobre todo manteniendo en el tiempo dicha drenabilidad, obteniéndose mezclas más abiertas, con mayor macrorrugosidad, más resistentes y duraderas frente a la colmatación, e incluso más confortables desde el punto de vista de la sonoridad.

En este sentido, conviene indicar que las investigaciones seguidas en estos momentos en algunos laboratorios indican que mediante la optimización de formulaciones de betún polímero, es posible superar sin problemas el límite del 25% de vacíos en mezcla manteniendo la pérdida por desgaste en el Ensayo Cántabro por debajo del 25% incluso tras inmersión. "Desapareció como criterio de proyecto la medida del coeficiente de permeabilidad, recomendándose su empleo como método de comprobación de la permeabilidad y/o contenido de huecos de la mezcla durante el proceso de compactación en obra"¹.

Permeabilidad. La permeabilidad de las mezclas asfálticas drenantes es evaluada mediante permeámetros diseñados para tal fin, en el laboratorio del Instituto Nacional de Vías se encuentra un permeámetro LCS, con el cual se midió la permeabilidad de acuerdo a la norma NLT 327/88.

Porcentaje de vacíos. Se realizó por medio de la norma NLT 168.

1. Jaime Gordillo Gracia. Centro de investigaciones E.S.M. de la Asociación Española De Fabricantes De Mezclas Asfálticas ASEFMA. Seminario sobre mezclas bituminosas drenantes MADRID 1990, Pág. 34.

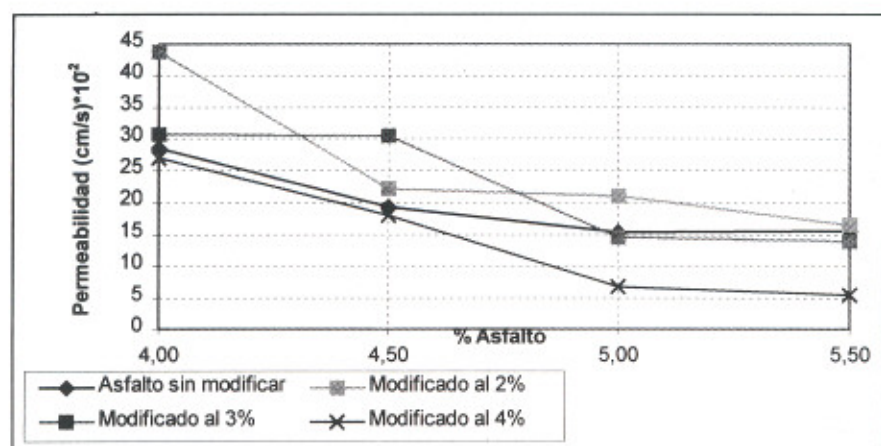


Figura 3
Coeficiente de Permeabilidad
Asfalto de Apiay

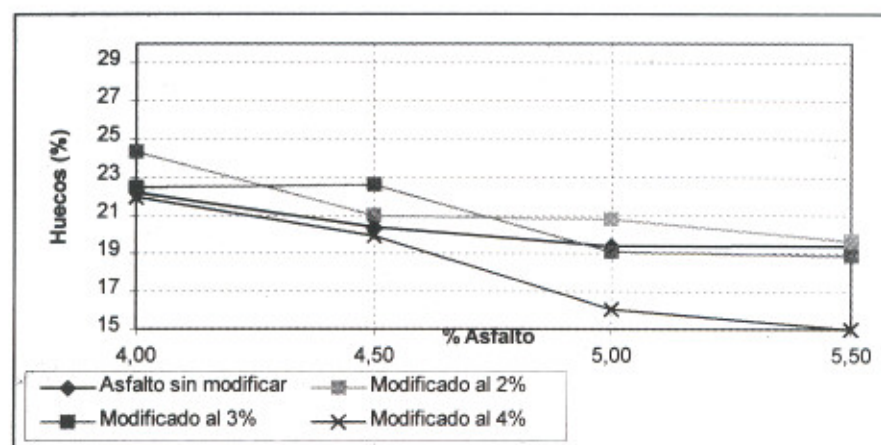


Figura 4
% de Huecos en la mezcla Asfalto
de Apiay

Análisis de resultados

Los ensayos se realizaron de acuerdo con las normas españolas NLT, adoptadas por la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL, el Instituto Nacional de Vías INVIAS y la Universidad del Cauca, para el diseño y realización de mezclas asfálticas.

Por otra parte, el estudio de desgaste (menor al 25%), del porcentaje de caras fracturadas (mayor al 75%), Índice de aplanamiento y alargamiento (inferior al 25%), y por ser un material que ha sido lavado en su proceso

de tamizado el coeficiente de limpieza es inferior a 0,5% en masa, la adhesividad mayor del 95% respecto del asfalto de Apiay, permite que este tipo de material sea el más adecuado y por esto ser escogido para el diseño de las mezclas asfálticas drenantes. Estos materiales son actualmente utilizados por empresas de construcción y para la fabricación de concretos hidráulicos y asfálticos (CONCREASFALTOS, IGENIESA, CENTRAL DE MEZCLAS, CONCRETOS PREMEZCLADOS, DRAGADOS, y otros).

Los resultados de los ensayos demostraron que existe una mejora de las características

del asfalto modificado respecto del asfalto sin modificar apreciándose un incremento en su consistencia, la tendencia a la poca susceptibilidad térmica a la temperatura presentando cierta elasticidad de acuerdo con la clasificación del Índice de penetración al pasar de -0.7 a 0.75 pero manteniéndose aún en la escala intermedia. También se aprecia un incremento en la adhesión, aumenta su resistencia a altas temperaturas y aumenta su flexibilidad a bajas temperaturas. Con el ensayo de ductilidad muestra la manera en la cual actúan dichos modificadores.

Respecto del polímero utilizado es importante destacar que la manera de dosificación del mismo permite controlar en peso su adición dentro del asfalto, su incorporación resulta de cierta manera difícil pues se debe manipular de una forma muy cuidadosa, controlando el volumen del asfalto pues este aumenta en el momento de ser incorporado el modificador generando una especie de espuma, según la recomendación de la ficha técnica del Butonal NS 175 utilizado, se debe incorporar al asfalto cuando este registre una temperatura de 170 °C, al mismo tiempo se debe mantener en constante agitación controlando el aumento del volumen hasta el final de la incorporación del modificador.

Analizando el proceso de mezclado de los materiales es importante destacar que la granulometría escogida permite ajustar el material de dos plantas de agregados los cuales se mezclan perfectamente dentro del ajuste granulométrico de la norma española para mezclas drenantes.

El proceso de dosificación de materiales para el diseño de mezcla drenante requiere que

sea de la manera más exacta ya que cualquier variación en el momento de la dosificación puede alterar notablemente los resultados que se puedan obtener, por dicha razón se realizó la dosificación de materiales para cada una de las diez y seis (16) combinaciones realizadas para este proyecto ajustadas en peso y de acuerdo con la variación asfalto - polímero.

Para el análisis del ensayo Cántabro, de cada una de estas 16 combinaciones se realizaron cuatro (4) briquetas de las cuales dos (2) fueron ensayadas al aire a temperatura constante de 25° C (Figura 1.2), y dos (2) de ellas fueron sumergidas en agua durante cuatro (4) días a 49° C (Figura 1.3). Las pérdidas representadas en estas figuras permiten apreciar la variación en porcentaje de pérdidas de desgaste de las muestras secas respecto de las muestras sumergidas en agua con variación en su porcentaje de asfalto del 0%, 2%, 3% y 4% respectivamente; la variación en pérdida de una briketa en seco varía en un 20% respecto a la sumergida en agua, teniendo menor pérdida la que no se encuentra sumergida.

De igual manera para el porcentaje de variación de pérdidas respecto del polímero utilizado en cada muestra se encontró que existe menor pérdida cuanto mayor es el porcentaje de polímero incorporado al asfalto y a su vez cuanto mayor es el porcentaje de dicho asfalto en la mezcla, teniendo así una escala en la cual se puede apreciar claramente que el porcentaje óptimo de asfalto varía entre el 4.5% y el 5.0%, con un porcentaje de polímero que varíe entre el 2% y el 3%, debido a que el mayor incremento del mismo no representa una

mejora considerable en la pérdida de desgaste.

Se encontró que a mayor contenido de asfalto incorporado a la mezcla es menor la permeabilidad de la misma, de igual manera el porcentaje de polímero adicionado se ve representado en cuanto a la permeabilidad, los porcentajes de asfalto varían entre el 4.5% y el 5.0%, mientras que el porcentaje de polímero de 2% y 3% se encuentran por encima del 18% de huecos en la mezcla que son los parámetros mínimos exigidos según la norma española para el diseño de mezclas drenantes.

El mayor contenido de polímero (4%) genera un taponamiento de los huecos en la mezcla puesto que su contenido modifica demasiado el asfalto y hace que se generen películas que atrapan el agua dentro de la mezcla no permitiendo el paso de la misma a través de su estructura o retardando el tiempo de paso del agua.

Conclusiones

1. Se observa la enorme influencia que tiene el polímero en la cohesión de la mezcla, sobre todo para los contenidos bajos y medios del asfalto. A medida que se va aumentando su contenido su efecto sobre la cohesión va siendo menor y por al mismo tiempo hace que disminuya cada vez más rápidamente la porosidad de la mezcla.
2. El comportamiento de los agregados en cuanto a los índices de aplanamiento y alargamiento, porcentaje de caras fracturas, adhesividad y dureza fue excelente dentro de las especificaciones exigidas para este tipo de mezclas.
3. De igual manera se pudo observar que el agregado obtuvo una perfecta adherencia con el asfalto al no permitir que se disgregara la mezcla en los porcentajes de 4,5% y 5,0% de asfalto con el 2% y 3% de polímero, permitiendo un desgaste aceptable dentro de los parámetros que fueron establecidos.
4. Es apreciable la ventaja de utilizar los asfaltos modificados para mejorar las características del asfalto normal con el fin de obtener resultados como los que se pueden apreciar al modificar el asfalto de Apiay al 2% y 3%.
5. Se confirma que para conseguir altas porosidades y buena resistencia a la disgregación de las mezclas asfálticas drenantes solo es posible con el empleo de asfaltos modificados.
6. En la superficie de capa de rodadura se puede utilizar mezclas drenantes, las cuales permiten evacuar rápidamente el agua sobre la misma de una manera rápida, tal que no se presenten fenómenos como el hidroplaneo (acua-planig), los resultados de permeabilidad indican un tiempo mínimo de evacuación que está dentro de los parámetros exigidos en las normas para mezclas asfálticas drenantes.
7. El polímero utilizado mejoró notablemente el funcionamiento del asfalto como tal e incorporado a la mezcla. Los resultados al ser comparado respecto del asfalto normal permite identificar claramente estas ventajas, como son la ductilidad, la adherencia y la penetra-

ción, que reflejan un incremento en su consistencia, adhesión, aumento de resistencia a altas temperaturas y flexibilidad a bajas temperaturas aumentando su rango de trabajo.

Recomendaciones

Con el fin avanzar en la investigación de asfaltos modificados se sugiere que se continúen analizando las diferentes aplicaciones de productos modificadores de asfaltos, así como la aplicación de las mezclas asfálticas drenantes.

Se recomienda tener un estricto cuidado con el manejo de las temperaturas de operación en el laboratorio en cada uno de los procesos de la fabricación de las mezclas asfálticas drenantes, con el fin de obtener los mejores resultados posibles.

Las plantas de fabricación de asfalto tienen que actualizar el proceso de fabricación y dosificación de mezclas drenantes, y asesorarse de las personas idóneas al respecto.

La investigación se debe continuar no sólo desde el punto de vista de los asfaltos sino que ha de investigarse también el comportamiento de las diversas fuentes de materiales que posee el país.

El ensayo Cántabro sirve para promover el desarrollo en la investigación de los asfaltos modificados especiales y su efecto, también permite mediante la determinación de la pérdidas al Cántabro de probetas en seco y tras inmersión, valorar la resistencia de estas mezcla a la acción del agua, pues estas mezclas drenantes por su alta porosidad van

a estar muy expuestas a la acción del agua y por ello es muy importante conocer esta resistencia y mejorarla, en este caso con el empleo de áridos y asfaltos especiales.

Mediante el empleo del permeámetro LCS se puede estudiar el comportamiento de estas mezclas y determinar la dosificación de materiales de acuerdo con los requerimientos del diseño para cada proyecto.

Se recomienda realizar una relación beneficio costo como tema de trabajo de grado con el fin de encontrar la posibilidad de aplicación de este tipo de mezclas en el país.

Promover la adquisición de tecnología para la evaluación de los diferentes métodos de ensayo para asfalto y mezclas asfálticas, laboratorios mejor equipados y capacitación del personal que en estos opere para difundir y promover las normas que actualmente rigen en la mayoría de países industrializados.

Se recomienda continuar, con otro trabajo de grado, el análisis de los resultados que se generen de los ensayos de laboratorio sobre el asfalto colombiano realizado por BASF Química proveniente de sus laboratorios en Carolina del Norte (USA) para de esta manera continuar con la investigación de este importante tema.

Empresas como Concreasfaltos y BASF Química están interesadas en promover este tipo de investigaciones y incluso con la construcción de tramos de prueba y seguimiento del mismo durante ese período, oportunidad que debe ser aprovechada para continuar con esta investigación en otros trabajos de grado

Bibliografía

- ASOCIACIÓN TÉCNICA DE LA CARRETERA. Seminario sobre mezclas bituminosas drenantes. Fundación "Agustín Bethencourt", Madrid; 1990
- BALTASAR RUBIO, Guzmán. Betunes asfálticos modificados. Madrid; XI Curso Internacional de carreteras, firmes y pavimentos. Tomo 2. 1990.
- BARDESI Alberto. Mezclas bituminosas porosas. Madrid; XI Curso Internacional de carreteras, firmes y pavimentos. Tomo 1. 1990.
- BEUGNET. La reuve générale des Routes et des Aerodromes du 1994. Arras Francia.
- CARRETERAS. Revista Técnica de la Asociación Española de la carretera, 4ª Época N° 85 Septiembre - Octubre 1996 Pg. 63-80.
- ELSAMEX. Sistemas de pavimentación con betunes modificados. Revista Rugodrén. Parque empresarial Barajas Park, C/ San Severo, 18-28042 Madrid.
- FELTRER R., L.M. Y TOMÁS R. Conservación de la capacidad de desagüe en pavimentos drenantes. Madrid; Revista Rutas de la Asociación Técnica de Carreteras N° 55 Julio - Agosto, 1995.
- HERNÁNDEZ, Grisela. Informe Geológico y Plan de Manejo Ambiental de la Concesión 8151 ubicada en el Municipio de Santafé de Bogotá en jurisdicción de la Alcaldía de Usme. Ingeniesa S. A.
- IBAÑEZ BOSCH, Manuel. Encuesta de opinión sobre pavimentos drenantes. Madrid; Revista Rutas de la Asociación Técnica de Carreteras N° 53 Marzo - Abril, 1995.
- INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO ICP, EMPRESA COLOMBIANA DE PETRÓLEOS ECOPETROL. Los asfaltos Colombianos. 1997.
- MORILLO ROCHA, Diego. Reflexiones sobre la utilización en España de algunas mezclas drenantes. Madrid; Revista Rutas de la Asociación Técnica de Carreteras N° 52 Enero - Febrero, 1995.
- NORMAS TÉCNICAS ESPAÑOLAS: NLT-126/84, NLT-127/84, NLT-182/84, NLT-354/91, NLT-176/92, NLT-174/93, NLT-180/93, NLT-130/84, NLT-122/84, NLT-123/84, NLT-124/84, NLT-125/84, NLT-159/86, NLT-181/88, NLT-185/84, NLT-186/85, NLT-327/88, NLT-149/91, NLT-328/91, NLT-329/91, NLT-358/90, NLT-128/91, NLT-352/86, NLT-124/84.
- SÁNCHEZ SABOGAL, Fernando. Pavimentos, teoría, diseño, geología, estudio económico y fallas. Instituto Nacional de Vías. Santafé de Bogotá.
- SOCIEDAD COLOMBIANA DE INGENIEROS, Primeras jornadas de pavimentos y mantenimiento vial. Santafé de Bogotá D. C. Marzo de 1996.
- TORRES MUÑOZ, Alicia. Metodología del Trabajo Científico Aplicada a la Ingeniería Civil. Inédito. Santafé de Bogotá. Universidad Militar Nueva Granada. Facultad de Ingeniería Civil. 1993.