

PROPORCION OPTIMA DE MICROFIBRAS EN UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE
MDC-19 DE LA PLANTA ASFALTICA BENITEZ INGENIEROS DE TUNJA



ANDRES FELIPE MARTINEZ BARRERA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

ESPECIALISTA EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS

BOGOTA, 14 DE JUNIO DE 2019

PROPORCION OPTIMA DE MICROFIBRAS EN UNA MEZCLA DENSA EN CALIENTE
MDC-19 DE LA PLANTA ASFALTICA BENITEZ INGENIEROS DE TUNJA



ANDRES FELIPE MARTINEZ BARRERA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de

ESPECIALISTA EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS

TUTOR

Ing. OSCAR RAMIREZ

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERIA

ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DE PAVIMENTOS

BOGOTA, 14 DE JUNIO DE 2019

DEDICATORIAS.

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mi madre y mis hermanos que me han acompañado a lo largo del transcurso de mi formación académica y me brindaron todo su apoyo y su amor incondicional en cada una de las situaciones difíciles por la cuales tuve que pasar, ayudándome a superar cada uno de estos obstáculos. También quiero agradecer a cada uno de los amigos que conocí cursando esta grandiosa carrera, ya que con ellos viví momentos que no se van a olvidar fácilmente. Por último, a los docentes de la Universidad que fueron los que compartieron sus conocimientos con cada uno de los estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre por la colaboración y motivación durante este proceso, así mismo a mis amigos y personas allegadas, que me apoyaron durante el desarrollo de mi trabajo social, a cada uno de los docentes que conocí durante toda mi carrera, por su apoyo, consejos y recomendaciones con las cuales pude desarrollar un buen trabajo.

De igual manera agradezco a mi tía Cecilita que me brindo todo el apoyo al momento de llegar a esta nueva ciudad por motivos laborales y para continuar con el proceso para convertirme en especialista de pavimentos.

Nota de aceptación

Jurado1

Jurado2

BOGOTA (14-06-2019)

TABLA DE CONTENIDO

<i>INDICE DE TABLAS</i>	9
<i>1. INTRODUCCION</i>	10
<i>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i>	12
<i>3. JUSTIFICACION</i>	13
<i>4. OBJETIVOS</i>	15
<i>4.1. OBJETIVO GENERAL</i>	15
<i>4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i>	15
<i>5. MARCO DE REFERENCIA</i>	16
<i>5.1. Marco teórico</i>	16
<i>5.1.1. Asfalto</i>	16
<i>5.1.2. Asfalto modificado</i>	17
<i>5.1.3. Polímeros</i>	18
<i>5.1.3.1 Fibras de polipropileno Sikafiber AD</i>	20
<i>5.1.4. Equipo para el ensayo</i>	21
<i>5.1.5. Granulometría agregados</i>	21
<i>5.1.5.1. Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación</i>	23
<i>5.2. Marco legal</i>	25
<i>5.3. Marco metodológico</i>	26
<i>5.3.1. Tipo de estudio</i>	26

5.3.2.	<i>Población</i>	26
5.3.3.	<i>Procedimiento de ensayo, tabulación y cálculos</i>	26
5.3.3.1.	<i>Cantidad de muestras</i>	26
5.3.3.2.	<i>Preparación de las mezclas</i>	26
5.3.3.3.	<i>Compactación de las mezclas</i>	27
5.3.3.4.	<i>Determinación modulo resiliente</i>	28
6.	<i>RESULTADOS</i>	30
7.	<i>CONCLUSIONES</i>	33
8.	<i>BIBLIOGRAFIA</i>	34

TABLA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ubicación planta asfáltica BENITEZ INGENIEROS</i>	14
<i>Figura 2. Planta asfáltica BENITEZ INGENIEROS</i>	14
<i>Figura 3. Módulo resiliente vs. % fibras. Reyes et al, 2005</i>	19
<i>Figura 4. Deformación plástica vs. % fibras. Reyes et al, 2005</i>	20
<i>Figura 5. Microfibras SIKAFIBER-AD</i>	20
<i>Figura 6. Curva granulométrica mezcla MDC-19 BENITEZ INGENIEROS</i>	23
<i>Figura 7. Molde para probetas Marshall, Normas de Ensayos INVIAS 2012</i>	24
<i>Figura 8. Mezcla de muestra de MDC-19 y microfibras en UMNG - CAMPUS</i>	27
<i>Figura 9. Martillo compactador mecánico del laboratorio UMNG - CAMPUS</i>	28
<i>Figura 10. Briquetas Marshall sin adición de microfibras SIKA</i>	29
<i>Figura 11. Briquetas Marshall con adición de microfibras SIKA</i>	29
<i>Figura 12. Ensayo de tracción indirecta para la medición del modulo resiliente en mezclas asfálticas.</i>	30
<i>Figura 13. Modulo resiliente de briquetas por cada dosificación de microfibra</i>	31
<i>Figura 14. Modulo resiliente y línea de tendencia de briquetas por cada dosificación de microfibra</i>	32

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua, Especificaciones generales de construcción INVIAS 2012.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2. Granulometría MDC-19 producida por BENITEZ INGENIEROS.</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 3. Módulos resilientes obtenidos del ensayo de tracción indirecta para cada dosificación de microfibra.</i>	<i>30</i>

1. INTRODUCCION

Los pavimentos flexibles tienen una superficie de rodadura que cuenta con una combinación de cemento asfáltico y agregados. Estos dos materiales básicos para su construcción, pueden mezclarse en diferentes proporciones y de muchas maneras para formar una superficie de pavimento adecuada para las condiciones de la región o zona en la que se está trabajando. Los pavimentos están diseñados para cumplir los siguientes objetivos:

- 1) Soportar las cargas de los ejes impuestos por el tráfico.
- 2) Proteger la base y subbase de la humedad.
- 3) Conectar comunidades.
- 4) Proporcionar una superficie de conducción estable, lisa y antideslizante.
- 5) Resistencia a la intemperie.

Anteriormente los asfaltos modificados se utilizaron primero en las emulsiones para impermeabilizantes y después se empezaron a utilizar en la pavimentación; en riegos como tratamientos superficiales en frío, y posteriormente se empezó a modificar el cemento asfáltico para utilizarse cuando se requería un asfalto de mejor calidad o mayor resistencia que la que ofrecía un cemento asfáltico normal.

Los asfálticos modificados, son el producto de la separación o incorporación en el asfalto, de un polímero o de caucho molido de neumáticos, que son sustancias estables a lo largo del tiempo y a los diferentes cambios de temperatura que se presentan en las diferentes zonas del mundo, los cuales se le adicionan al asfalto para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación. Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el

material pétreo y el asfalto, conservándola aun en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y por lo tanto a la fatiga y reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores por lo general se aplican directamente al asfalto, antes de mezclarlo con el material pétreo.

Está plenamente comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una gama amplia de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo en la actualidad los grandes volúmenes de tráfico sobre los criterios de diseño vehicular y el exceso de carga, así como el incremento en la presión de inflado de las llantas y condiciones climáticas, hacen que utilizar asfaltos convencionales en la construcción de carreteras actualmente no satisfagan sus expectativas tal como cumplir un determinado periodo de servicio, es decir, menor resistencia al envejecimiento, la poca durabilidad de un camino reflejándose en deformaciones y figuraciones dentro de una carpeta asfáltica, sin embargo estos problemas son causados además por la selección de materiales en los diseños, mal proceso de construcción, mantenimiento y por la baja calidad del ligante y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes (Wulf, 2008).

Uno de los materiales usados para controlar diferentes patologías en el concreto son las microfibras de polietileno, las cuales evitan la fisuración por contracción plástica del concreto las cuales se generan en estado fresco antes de las 24 horas, para este material se utilizan fibras con diámetros entre 0.023 mm a 0.050 mm, las cuales pueden ser monofilamentos o fibriladas. Dado que son usadas frecuentemente en el concreto, se plantea usarlas en mezclas asfálticas para determinar si tienen el mismo efecto de incrementar las propiedades físico – mecánicas de este.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, se han venido presenciando grandes cambios en el tipo y cantidad de flujo vehicular a lo largo de toda la red vial nacional, de igual forma se han evidenciado grandes cambios en las temperaturas debido al calentamiento global que se ha presentado por la contaminación producida por el ser humano, debido a estas complicaciones. Lo anterior se ve reflejado con los diferentes deterioros superficiales y daños estructurales que se han venido manifestando en el pavimento asfáltico, motivo por el cual se requiere aumentar su desempeño ante fenómenos de ahuellamiento, fatiga o daño por humedad, mediante adiciones de materiales que contribuyan en dicho mejoramiento.

Este proyecto de investigación quiere plantear y estudiar el comportamiento del asfalto MDC-19 producido en la planta de asfalto BENITEZ INGENIERIA, adicionándole microfibras de polietileno en diferentes proporciones de acuerdo a su peso.

De acuerdo a este planteamiento se puede llegar a preguntar

¿Cuál es el porcentaje óptimo de microfibras de polietileno para alcanzar el máximo módulo resiliente de una mezcla asfáltica MDC-19 fabricada en la planta BENITEZ INGENIERIA?

3. JUSTIFICACION

En el campo de la ingeniería civil, se busca implementar diferentes métodos para la construcción y desarrollo de obras de infraestructura que sean satisfactorias y seguras para la comunidad, además de que sean duraderas a lo largo del tiempo. Es por esto que se ha estado experimentando y llevando a cabo combinaciones de diferentes materiales y compuestos que puedan ayudar a lograr una vida útil más larga de los materiales de construcción.

Dado que las vías, son una de las arterias principales de comunicación y transporte para el ser humano, se han implementado diferentes maneras en cuanto a la construcción y composición de la estructura de pavimento que sea capaz de lograr soportar los esfuerzos producidos por el tránsito que circula sobre ella, así como las diferentes variaciones de climas que se presentan en todo el mundo, es por este motivo que se han venido desarrollando pavimentos con diferentes compuestos que son productos del caucho y polímeros, en donde se ha evidenciado que mejora significativamente la resistencia de este material de construcción.

Alcance:

Con este proyecto se busca determinar cuál es la proporción óptima de microfibras de polietileno en una mezcla MDC-19, con el fin de ampliar la variedad de productos de alto módulo de la planta y así optar por ofrecer este servicio para lugares con altos niveles de tráfico, así como lugares con climas con temperaturas elevadas y variables.

Delimitación Geográfica:

La planta de asfalto BENITEZ INGENIEROS, se encuentra ubicada en el km 2 en la vía que conduce de la ciudad de Tunja hacia Villa de Leyva.



Figura 1. Ubicación planta asfáltica BENITEZ INGENIEROS



Figura 2. Planta asfáltica BENITEZ INGENIEROS

Delimitación de tiempo:

Este proyecto se delimito a un periodo de 4 meses a partir del mes de enero del año 2019, en donde se inició con la consecución de los materiales por parte de la planta asfáltica y posteriormente a realizar los ensayos de laboratorio en el Campus de la Universidad Nueva Granada y la sede en la ciudad de Bogotá

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la proporción óptima de microfibras de polietileno que permita el mejoramiento del módulo resiliente de una mezcla MDC-19 producida en la planta asfáltica BENITEZ INGENIERIA de Tunja.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar mediante ensayos de laboratorio los módulos de la mezcla asfáltica antes y después de adicionar una proporción de microfibras con respecto al peso de la mezcla.

- Comparar el módulo resiliente de mezclas asfálticas en caliente con granulometría MDC-19 del INVIAS, con y sin adición de fibras producida en la planta asfáltica BENITEZ INGENIERIA de Tunja.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1. Marco teórico

Para este proyecto, se hace necesario que se defina el concepto de asfalto y microfibra de polietileno desde los puntos de vista de varios autores, los cuales aportan la base teórica para llegar al cumplimiento de los objetivos planteados.

5.1.1. Asfalto

El asfalto, conocido como bitumen o cemento asfáltico, se obtiene como el producto de fondo de la destilación del petróleo, aunque se puede extraer de lagos asfálticos. Su color es negro, su aspecto es viscoso y al ser ligante permite mantener la adhesión de diversas partículas que se le adicionen, (Lesueur, 2009).

Según Molenaar, 2011 expone que:

Otra propiedad sobresaliente es su impermeabilidad, dado su carácter hidrofóbico, razón por la cual se emplea en construcción; también se usa en diversas aplicaciones en el campo de los petroquímicos, sin embargo, su principal uso es como insumo en la construcción de carreteras.

Los asfaltos tienen una composición química muy compleja y variable, que depende del crudo del cual se deriva, y del proceso de refinación al cual está sujeto.

Su composición promedio generalmente está dentro de los siguientes límites (% en peso): carbono 80-87 %, nitrógeno 0-1 %, hidrógeno 9-11 %, azufre 0.5-7 %, oxígeno 2-8 %, metales 0-0.5 % (hierro, níquel, vanadio, y calcio. La estructura molecular varía ampliamente en tamaño y tipo de enlaces químicos.

Así mismo, para Velázquez, 1977,

El asfalto es un material de particular interés para el ingeniero porque es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero. Es una sustancia plástica que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina usualmente. Además, es altamente resistente a la mayor parte de los ácidos, álcalis y sales. Aunque es una sustancia sólida o semisólida a temperaturas atmosféricas ordinarias, puede licuarse fácilmente por la aplicación al calor, por la acción de disolventes de volatilidad variable o por emulsificación.

5.1.2. Asfalto modificado

Los asfaltos modificados son el producto de la disolución o incorporación de un aditivo modificador (polímero o no polímero), que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades como: susceptibilidad a la temperatura, intervalo de plasticidad, cohesión, respuesta elástica, resistencia al agua y al envejecimiento.

Los modificadores aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos como la fatiga; reducen el agrietamiento, la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de la temperatura. Estos modificadores son adicionados al asfalto antes de mezclarlos con el material pétreo. (Heshmat, 1997).

Los ligantes modificados han demostrado capacidad para mejorar el comportamiento de los tradicionales, dando la oportunidad de adecuarlos a unas condiciones específicas de respuesta en los proyectos. (Arenas Lozano, H. L., 2011).

La incorporación de un polímero a un betún es un proceso complejo. Puede

decirse que, en una primera etapa, el polímero se dispersa en la masa del betún, pero sin ejercer efectos importantes sobre sus propiedades. Posteriormente, las partículas de polímero absorben

aceites de los máltenos, hinchándose de una manera importante, para dispersarse finalmente en forma molecular, siendo en esta etapa cuando realmente tienen lugar los cambios reológicos más significativos sobre el asfalto (Forigua José, Pedraza Elkin, 2014).

5.1.3. Polímeros

Existen diferentes tipos de polímeros: naturales y artificiales.

Algunos de estos materiales son: el almidón, las proteínas, la celulosa, el algodón, las pieles, las fibras sintéticas, los plásticos, los cauchos, las pinturas, los adhesivos, los icopores, etc. En el año de 1926 Herman Staudinger presentó en una reunión anual de físicos y ambientalistas alemanes sus descubrimientos sobre algunos de estos materiales. Su obtención se inició por la deshidrogenación del caucho natural. Staudinger atribuyó el alto peso molecular de estas sustancias a su constitución por cadenas largas de átomos unidas por enlaces covalentes. A estas pequeñas unidades las designó monómeros, y a la estructura resultante polímero.

El mayor desarrollo de los polímeros se llevó a cabo durante la Segunda Guerra Mundial. Fue en este momento cuando se obtuvo el caucho sintético. La vulcanización del caucho natural llevada a cabo en América y Asia, y la realizada para la fabricación de las llantas de los vehículos, eran conocidas en el mundo entero, pero su acceso a Alemania durante la guerra presentaba serias dificultades y fue este el motivo principal para el desarrollo de nuevas tecnologías por parte de los alemanes. Carothers había obtenido en Estados Unidos un caucho sintético a partir del Cloropreno (2-cloro 1,3 butadieno). En 1956 Ziegler y Natta recibieron el premio Nobel de Química por la obtención del polipropileno isotáctico, de altísima comercialización en el mundo actual. Los siguientes años desarrollaron materiales como polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo o poliestireno y sus copolímeros (Figuerola y Reyes, 2005).

El polipropileno es un termoplástico que se obtiene de la polimerización del propileno, que es un derivado del petróleo. Existen tres subgrupos de clasificación (Homopolímero, copolímero y copolímero de alta densidad). Estos materiales poseen características tales como su alta resistencia a disolventes, fácil de moldear, alta resistencia a la fractura, estabilidad térmica y propiedades termoplásticas. El efecto en las mezclas de concreto hidráulico y asfalto, radica principalmente en la creación de micro y macroestructuras, las cuales dan como resultado un incremento en las propiedades mecánicas y dinámicas de las mezclas. Estudios realizados han establecido que existe una mejora en la fatiga y un incremento en la resistencia. (IDU, 2015)

Estudio desarrollado por la Universidad Militar Nueva Granada y cuyo objetivo principal era establecer la influencia de fibras de polipropileno en el comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica cerrada. Para el estudio se fabricaron probetas Marshall a diferentes niveles de compactación (50 y 75 golpes por cara) y se introdujeron fibra de polipropileno a diferentes porcentajes (0 a 0.75 %). Los ensayos realizados para caracterizar las mezclas fueron módulo resiliente y ahuellamiento. En las figuras 3 y 4, se observa el efecto de las fibras en la respuesta dinámica de los materiales y se resalta que para un 0.6% de adición, irrelevante la frecuencia del ensayo, el módulo resiliente se incrementa hasta un 100%. Referente a la deformación plástica, los mejores resultados se observan para la adición de fibras entre 0.6% y 0.75%. Se resalta, que para valores superiores a 0.75% de adición, la tendencia de las curvas es desfavorable (Reyes, Troncoso y Reyes, 2005).

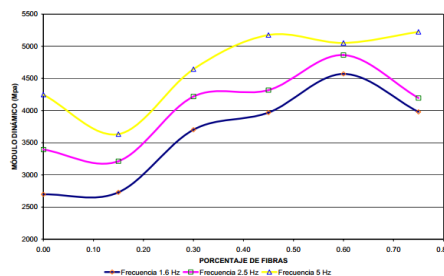


Figura 3. Módulo resiliente vs. % fibras. Reyes et al, 2005

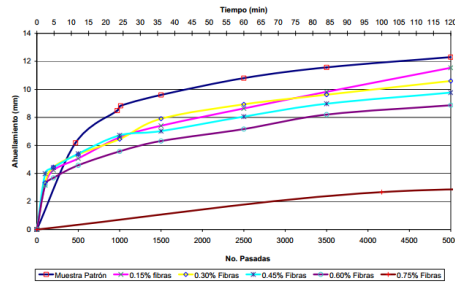


Figura 4. Deformación plástica vs. % fibras. Reyes et al, 2005

Empresas multinacionales han desarrollado y patentado múltiples productos que permiten mejorar las propiedades de las mezclas de concreto asfáltico e hidráulico, dando como resultado incrementos en su resistencia mecánica y dinámico. Entre esos productos se pueden enunciar los siguientes:

5.1.3.1 Fibras de polipropileno Sikafiber AD

Fibras de polipropileno denominadas microfibras debido a su tamaño, utilizada en concreto hidráulico en estado fresco y cuya función principal es evitar la fisuración por retracción térmica. Su dosificación esta entre 0.03% y 0.15% del peso de la masa de concreto. Estudios realizados por la Firma comercializadora, han podido demostrar que colocar estas fibras en el concreto permite reducir los anchos de las fisuras, la cantidad de las mismas y el agrietamiento de las losas.



Figura 5. Microfibras SIKAFIBER-AD

5.1.4. Equipo para el ensayo

- 6) Juego de elementos para ensayo Marshall, que incluye molde de compactación especial de 4 pulgadas de diámetro y 3 de altura con su collar de extensión, martillo de compactación con una zapata circular de 3 y 7/8 pulgadas de diámetro, peso de 10 libras y altura de caída de 18 pulgadas, pedestal de compactación firmemente anclado al piso, prensa de ensayo y mordazas para ensayo con sus guías.
- 7) Otros elementos tales como calentadores, termómetros, estufa, bandejas metálicas, baño María, extractores de muestras, etc.

5.1.5. Granulometría agregados

- 8) En la mezcla asfáltica realizada por la planta de asfalto BEINCO, se realiza una gradación del material granular que cumpla con los parámetros para una mezcla MDC-19 según la especificación del art. 450-13 del INVIAS. Esta gradación se realiza mediante tamizado, en donde se determina cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas de los agregados gruesos y finos.
- 9) Este método consiste en tomar una muestra de agregado seco, de masa conocida, la cual se separa a través de una serie de tamices de abertura progresivamente más pequeñas, con el fin de determinar la distribución de los tamaños de sus partículas.

TIPO DE MEZCLA		TAMIZ (mm / U.S. Standard)									
		37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.00	0.425	0.180	0.075
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
		% PASA									
DENSA	MDC-25		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-19			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-10					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10
SEMIDENSA	MSC-25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
	MSC-19			100	80-95	65-80	40-55	24-38	9-20	6-12	3-7
GRUESA	MGC-38	100	75-95	65-85	47-67	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
	MGC-25		100	75-95	55-75	40-60	28-46	17-32	7-17	4-11	2-6
ALTO MÓDULO	MAM -25		100	80-95	65-80	55-70	40-55	24-38	10-20	8-14	6-9
TOLERANCIAS EN PRODUCCIÓN SOBRE LA FÓRMULA DE TRABAJO (±)		4%					3%			2%	

Tabla 1. Franjas granulométricas para mezclas asfálticas en caliente de gradación continua, Especificaciones generales de construcción INVIAS 2012.

Una vez verificada la norma y realizados los procedimientos de laboratorio, se obtiene la franja granulométrica que entra dentro de los parámetros de la norma INVIAS.

DESCRIPCION :	Mezcla asfáltica tipo MDC-19		
FECHA Ensayo:	4-abr-19	FECHA Informe:	4-abr-19
PROCEDENCIA:	Planta de asfalto Vereda tras el alto		
PESO SECO [grs]:	Antes de lavar=	1196.0	Después de Lavar= 1126.2

TAMIZ	Diámetro n: U.S. ^a	Peso Tamiz	Peso Tamiz + muestra	Retenido			Porcentaje que pasa			
				Peso Muestra	Porcentaje	Acumulado	Final	I.N.V. MDC -19		
Nº	mm	grs	grs	grs	%	%	%	450.0		
1"	25	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	100.00	100	100	
3/4"	19	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	100.00	100	100	
1/2"	12.5	0.0	92.1	92.1	7.70	7.70	92.30	80	95	
3/8"	9.5	0.0	141.6	141.6	11.84	19.54	80.46	70	88	
4	4.75	0.0	333.5	333.5	27.88	47.42	52.58	49	65	
10	2	0.0	144.9	144.9	12.12	59.54	40.46	29	45	
40	0.425	0.0	208.6	208.6	17.44	76.98	23.02	14	25	
80	0.18	0.0	154.1	154.1	12.88	89.87	10.13	8	17	
200	0.075	0.0	48.8	48.8	4.08	93.95	6.05	4	8	
fondo	fondo	0.0	1.2	1.2	6.05	100.00	0.00			
				1124.8						

Tabla 2. Granulometría MDC-19 producida por BENITEZ INGENIEROS.

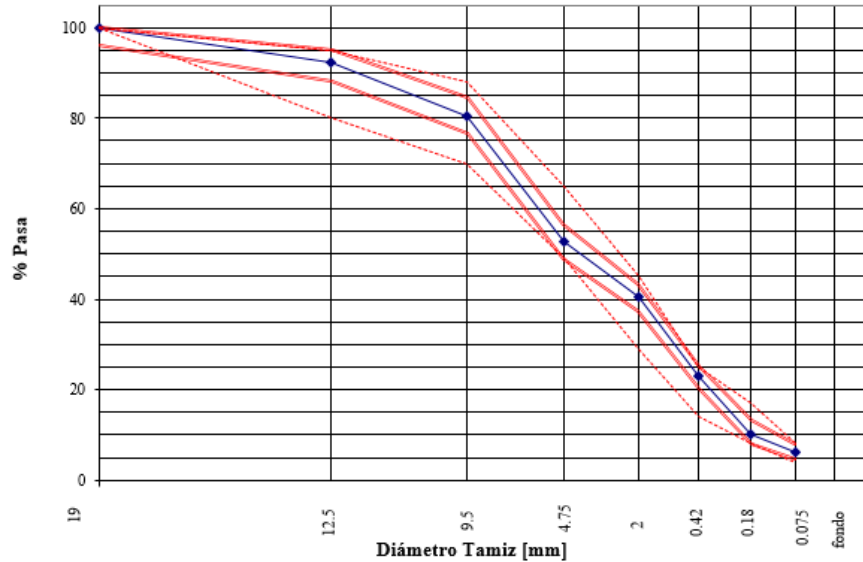


Figura 6. Curva granulométrica mezcla MDC-19 BENITEZ INGENIEROS

5.1.5.1. Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación

Determinación de las temperaturas de mezcla y compactación – La temperatura a la cual se debe calentar el cemento asfáltico para elaborar las mezclas será la requerida para que presente una viscosidad de 170 ± 20 cP (0.17 ± 0.02 Pa.s). La temperatura a la cual se deberá realizar la compactación de las probetas será la correspondiente a una viscosidad del cemento asfáltico de 280 ± 30 cP (0.28 ± 0.03 Pa.s).

Dispositivo para moldear probetas – Molde cilíndrico con un collar de extensión y una placa de base plana. Sus formas y dimensiones se muestran en la Figura 748 - 1.

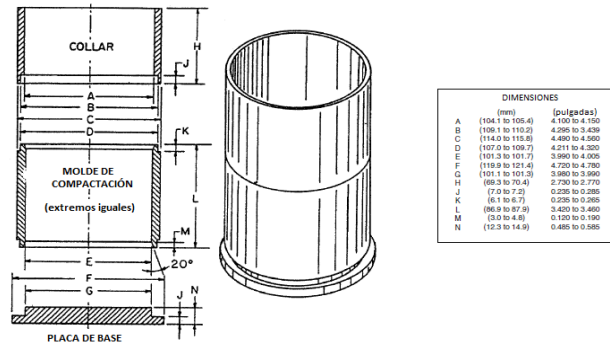


Figura 7. Molde para probetas Marshall, Normas de Ensayos INVIAS 2012

Extractor de probetas – Elemento de acero en forma de disco, con diámetro de 100 mm (3.95") y 12.7 mm (½") de espesor, utilizado para extraer la probeta compactada del molde con la ayuda del collar de extensión. Se requiere un elemento adecuado para transferir la carga a la probeta (gato hidráulico o mecánico), sin deformarla durante el proceso de extracción.

Pedestal de compactación – Pieza prismática de madera de base cuadrada, de 203.2 mm de lado y 457.2 mm de altura (8" × 8" × 18"), provista en su cara superior con una platina cuadrada de acero de 304.8 mm de lado y 25.4 mm de espesor (12" × 12" × 1"), firmemente sujeta al pedestal. La madera será roble, pino amarillo u otra clase, con una densidad seca de 670 a 770 kg/m³ (42 a 48 lb/pie³). El conjunto se debe fijar firmemente a una base de concreto mediante soportes en escuadra

Sujetador para el molde – Dispositivo con resorte de tensión, diseñado para centrar rígidamente el molde de compactación sobre el pedestal. En los quipos que tienen varios compactadores, los sujetadores no se encuentran necesariamente centrados. El sujetador debe sostener en su posición el molde, el collar y la placa de base durante la compactación de la probeta.

5.2. Marco legal

En Colombia, la construcción, rehabilitación, mejoramiento y conservación de infraestructura vial (puentes y carreteras) está normalizada por el INVÍAS, Legislación vigente en Colombia así:

- Artículo 414 – 13: En el cual se habla acerca del Suministro de cemento asfáltico modificado con polímeros.
- Artículo 450 – 13: Mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (Concreto asfáltico).

5.3. Marco metodológico

5.3.1. Tipo de estudio

Se realizó un estudio cuantitativo, en donde se analizaron los resultados obtenidos a partir de la máquina de tracción indirecta para obtención de módulos resilientes en asfaltos, con el cual se determinó el porcentaje óptimo para la obtención del mayor módulo resiliente.

5.3.2. Población

Las muestras que se estudiaron para obtener estos datos, fue de 18 briquetas Marshall, dentro de las cuales se tuvieron 3 briquetas de control y posteriormente se elaboraron 3 briquetas con porcentajes de 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% y 0.5% respectivamente.

5.3.3. Procedimiento de ensayo, tabulación y cálculos

5.3.3.1. Cantidad de muestras

10) Para cada proporción de microfibras (0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% y 0.5%) se prepara la mezcla asfáltica con una granulometría de agregados y un contenido de asfalto determinados por la planta asfáltica, los cuales deben cumplir las especificaciones correspondientes de cada uno de ellos. Se realizarán 3 briquetas por cada porcentaje de microfibras adicionadas a estas.

5.3.3.2. Preparación de las mezclas

En varias bandejas taradas, separadas para cada fracción de la muestra, se pesan sucesivamente las cantidades de cada porción de agregados, previamente calculadas de acuerdo con la gradación necesaria para la fabricación de una o más probetas, de forma que cada probeta resulte con una altura de 63.5 ± 2.5 mm ($2 \frac{1}{2} \pm 0.1$ ") (aproximadamente

1200, 2400 o 3600 g para 1, 2 o 3 probetas). Los agregados se calientan en una placa de calentamiento o en el horno a una temperatura mayor que la establecida para la mezcla, pero sin excederla en más de 28° C (50° F). Posteriormente, se transfieren al recipiente de mezclado donde se mezclan en seco durante unos 5 s y, a continuación, se forma un cráter en su centro, dentro del cual se vierte la cantidad requerida de asfalto, debiendo estar ambos materiales en ese instante a temperaturas comprendidas dentro de los límites establecidos para el proceso de mezcla.



Figura 8. Mezcla de muestra de MDC-19 y microfibras en UMNG - CAMPUS

5.3.3.3. Compactación de las mezclas

Martillos de compactación de mango fijo (tipo 3) – Operados mecánicamente, provistos de un contrapeso ubicado en la parte superior de la máquina que evita el efecto de rebote sobre la muestra y de una base con un dispositivo que le proporciona rotación continua. Su cara de compactación es circular e inclinada. El martillo tiene una masa total de 4.54 ± 0.01 kg (10 ± 0.02 lb) y una altura de caída libre de 457.2 ± 1.5 mm (18 ± 0.06 "). La rotación de la

base y la frecuencia de golpeo del martillo deben ser de 18 a 30 rpm y 64 ± 4 golpes/minuto, respectivamente.



Figura 9. Martillo compactador mecánico del laboratorio UMNG - CAMPUS

5.3.3.4. Determinación modulo resiliente

El ensayo de tensión indirecta con cargas repetidas para determinar el módulo resiliente de mezclas asfálticas se lleva a cabo aplicando cargas de compresión con ondas de forma de medio seno verso. La carga se aplica verticalmente sobre un plano diametral de un espécimen cilíndrico de concreto asfáltico. Se miden las deformaciones recuperables horizontal y vertical resultantes y, a partir de ellas, se calculan valores de la relación de Poisson resiliente. Posteriormente, se calculan valores del módulo resiliente a partir de la relación de Poisson. De la interpretación de los datos de deformación resultan dos valores del módulo resiliente: uno, llamado módulo resiliente instantáneo, que se calcula empleando la deformación recuperable que ocurre instantáneamente durante la parte de descarga de un ciclo; el otro, llamado módulo resiliente total, se calcula empleando la deformación recuperable total, que incluye tanto la recuperable instantánea, como la recuperable dependiente del tiempo, que continúa durante la descarga y el resto del período de reposo de un ciclo.



Figura 10. Briquetas Marshall sin adición de microfibras SIKA



Figura 11. Briquetas Marshall con adición de microfibras SIKA

6. RESULTADOS

El comportamiento del módulo resiliente de las mezclas asfálticas con granulometría MDC-19, modificadas con fibras de polipropileno Sikafiber AD dosificadas a diferentes porcentajes y ensayadas a una frecuencia de 10 Hz y una temperatura de 20°C, se analizarán a continuación. Se resalta que se ejecutaron seis ensayos para la obtención de los módulos, de los cuales cinco fueron con dosificaciones de fibra y que el análisis se realizará con el promedio de los resultados.



Figura 12. Ensayo de tracción indirecta para la medición del modulo resiliente en mezclas asfálticas.

TEMPERATURA (°C)	20				
FRECUENCIA (Hz)	10				
DESCRIPCION	% ADICIONADO	PROMEDIO MODULOS	MODULO BRIQUETA 1	MODULO BRIQUETA 2	MODULO BRIQUETA 3
MEZCLA MDC-19 SIN ADICION	0%	5216.9	5150.3	5209.8	5290.5
MEZCLA MDC-19 CON 0.1%	0.1%	6463.5	6521.4	6428.5	6440.5
MEZCLA MDC-19 CON 0.2%	0.2%	6851.2	6880.3	6823.1	6850.2
MEZCLA MDC-19 CON 0.3%	0.3%	7000.2	7058.3	6950.2	6992.2
MEZCLA MDC-19 CON 0.4%	0.4%	5217.8	5201.4	5250.7	5201.4
MEZCLA MDC-19 CON 0.5%	0.5%	4731.4	4701.1	4842.2	4650.8

Tabla 3. Módulos resilientes obtenidos del ensayo de tracción indirecta para cada dosificación de microfibra.

El módulo resiliente promedio de mezclas asfálticas con granulometría MDC-19 de la planta BEINCO, con y sin adición de fibras a diferentes porcentajes, se evidencia que para las tres briquetas Marshall para el ensayo por cada proporción, existe un incremento del módulo al adicionar 0.1%, 0.2% y 0.3% de fibra. Por otra parte, las dosificaciones de 0.4% y 0.5%, presentan disminuciones del módulo, al punto en el que la proporción de 0.4% iguala al módulo de la mezcla sin adición de microfibras y el módulo de la proporción 0.5% se reduce su modulo en un 9%.

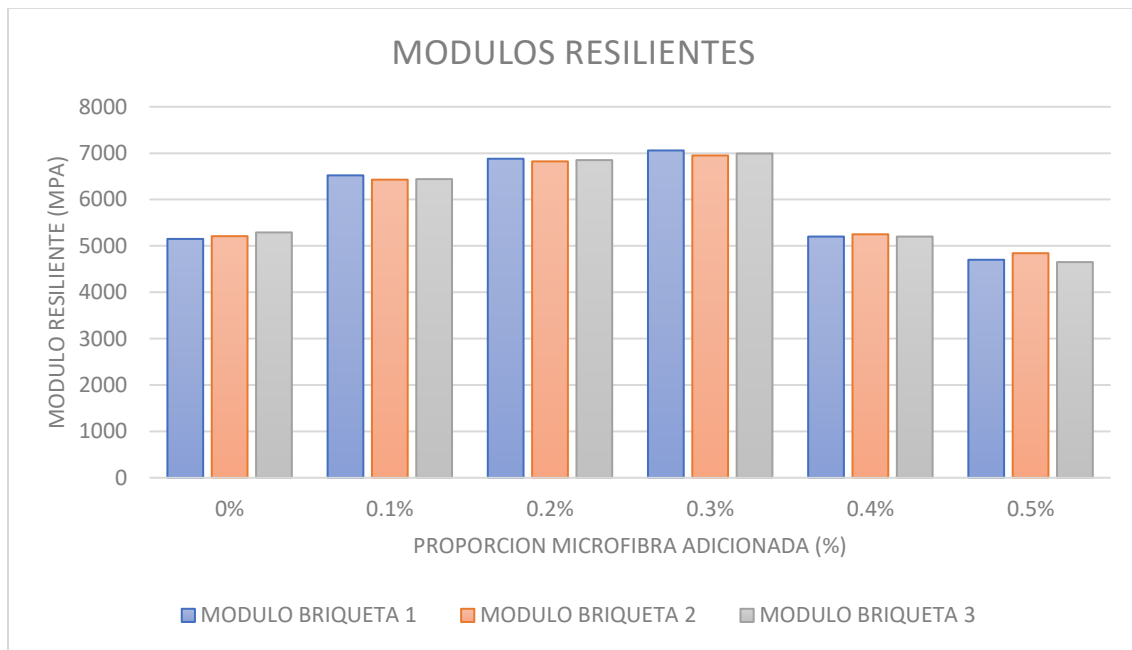


Figura 13. Modulo resiliente de briquetas por cada dosificación de microfibra

A partir de estos resultados obtenidos, se puede determinar cuál será la proporción óptima para obtener el mayor modulo resiliente a partir de la siguiente formula obtenida por medio de la línea de tendencia generada al graficar los valores de los módulos resilientes promedio.

$$y = -3E + 08x^2 + 1E + 06x + 5310.7$$

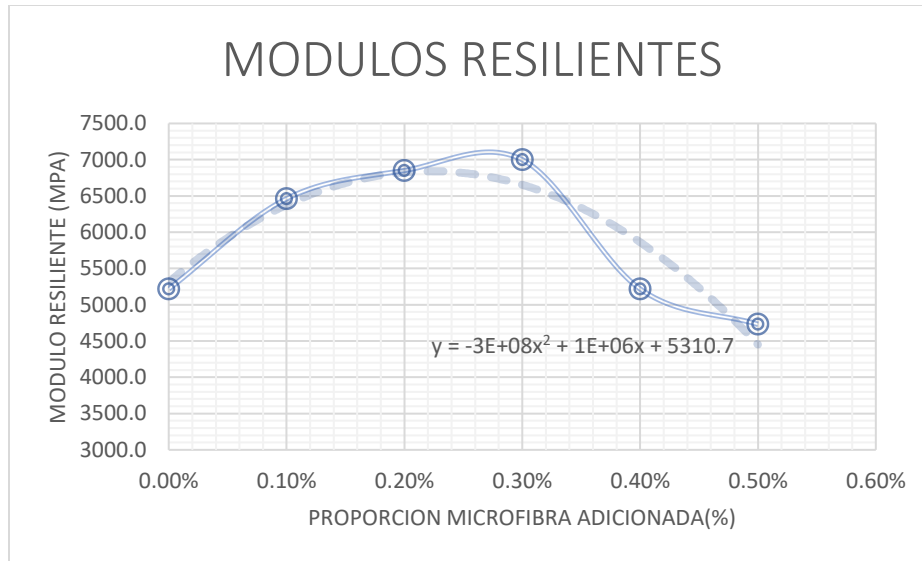


Figura 14. Modulo resiliente y línea de tendencia de briquetas por cada dosificación de microfibra

Partiendo de la ecuación y gráfica anterior, se obtiene que para el mayor módulo resiliente en esta mezcla asfáltica producida por la planta BEINCO, se deber usar una proporción de 0.21% de microfibra Sikafiber AD.

Realizando una comparación de los módulos más altos se determinó que con una proporción del 0.2% se obtiene un aumento aproximado de 30% con respecto a la mezcla sin adición de microfibras, lo cual es una muestra de que este es un buen material para la modificación de mezclas asfálticas.

7. CONCLUSIONES

- 1) A partir de los resultados obtenidos mediante el ensayo de tracción indirecta, se pudo determinar que la proporción en peso óptima de microfibras Sikafiber AD para el aumento del módulo resiliente en una mezcla densa en caliente tipo MDC-19, producida por la planta asfáltica BEINCO debe ser del 0.21%
- 2) Se pudo determinar que las proporciones que aumentan el módulo resiliente de la mezcla densa en caliente MDC-19 producida en la planta BEINCO, son las de 0.1%, 0.2% y 0.3%, por lo que en caso de requerir una mezcla modificada se puede optar por estas proporciones, sin embargo, como quedo especificado anteriormente el óptimo de microfibras es de 0.21%, por lo que se haría innecesario usar más de este porcentaje para aumentar el módulo resiliente de la mezcla.
- 3) Debido a que solo se emplearon una temperatura y una frecuencia para la realización del ensayo de tracción indirecta, se recomienda realizar el mismo ejercicio modificando estas variables, con el fin de verificar cuales son los cambios de los módulos y si estos siguen incrementando.
- 4) Por medio de la adición de microfibras de la marca Sika, se determinó un aumento máximo en el módulo resiliente del 31% con respecto a las muestras sin adición de este material, por lo que se puede presentar una alternativa de producción en la planta asfáltica BEINCO, ya que se puede alcanzar mayores módulos con una proporción bastante pequeña.
- 5) Dado que los ensayos se realizaron sin estabilizantes químicos para mejorar la adherencia entre las microfibras y la mezcla asfáltica, se recomienda reproducir la misma prueba usando estos químicos para evaluar su comportamiento ya que debe aumentar el módulo resiliente de la mezcla.

8. BIBLIOGRAFIA

- 1) Arenas Lozano, H. L. (2011). Tecnología del cemento asfáltico. 5a ed. Bogotá: Faid Editorial.
- 2) Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de fibras, Revista ciencia e ingeniería neogranadina. (2005). Oscar Javier Reyes Ortiz, Juan Ricardo Troncoso Rivera y Fredy Alberto Reyes Lizcano.
- 3) Especificaciones generales de construcción de carreteras y normas de ensayo para materiales de carreteras. 2007. Instituto Nacional de Vías – INVIAS.
- 4) Figueroa, Reyes., Asfaltos modificados con Poliestireno. Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia, 2005.
- 5) Forigua José, Pedraza Elkin (2014). Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos. Bogotá.
- 6) Heshmat A. (1997). Polymer Modifiers for Improved Performance of Asphalt Mixture. En: Usmani, A. M. (ed). Asphalt science and technology. New York: Marcel Dekker, Inc, pp. 197-220.
- 7) Instituto de Desarrollo Urbano, Mezclas Asfálticas en Caliente con Asfaltos Modificados con Caucho por Vía Húmeda, Sección 560-15, IDU, 2015.
- 8) Lesueur D., "The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification", Adv. Colloid Interface Sci. 145 (2009) 42-82
- 9) Molenaar, A. A. A., Mohajeri, M., & Van de Ven, M. F. C. (2011). Design of Recycled Asphalt Mixtures. En AAPA International Flexible Pavements Conference, 14th, 2011, Sydney, New South Wales, Australia.

- 10) Sika informaciones técnicas de concreto reforzado con fibras. (2010) SIKA. ISSN 0122-0594.
- 11) Wulf F. (2008). Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, 2008.