



## COMPORTAMIENTO DE MEZCLAS SMA CON FIBRA DE CELULOSA, AGREGANDO COMO FILLER POLVO DE MÁRMOL

D.I.C. Julio Roberto Betancourt Chávez<sup>1</sup>, Ing. José Santiago Zepeda Delgado<sup>2</sup>  
Dr. Facundo Cortés Martínez<sup>1</sup>, Dr. Agustín Sáenz López<sup>1</sup>

### Resumen

En décadas recientes, se ha dado gran relevancia al desarrollo de mezclas asfálticas para la construcción de carreteras. La investigación en este ámbito, se ha enfocado en el desarrollo de mezclas para carpetas que cumplan con las exigencias de: mayor duración, menor ahuellamiento al paso de vehículos, significativa repelencia al agua (alta hidrofobicidad), resistencia a la radiación ultravioleta, resistencia a la lluvia, aumento a la adherencia con los neumáticos, mejor adhesión entre el asfalto y el material pétreo, entre otras.

Con base en lo anterior, se desarrolló un trabajo experimental para elaborar mezclas tipo Stone Mastic Asphalt (SMA), teniendo como base: agregados pétreos de la Región Lagunera, cemento asfáltico AC-20 en diferentes porcentajes (5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0), fibras de celulosa (0.5%, 1% y 1.5%) y un 10% del total de los agregados de residuos de mármol (polvo). Los resultados en la prueba Marshall, muestran excelentes valores en los especímenes que se adicionaron con el 1.0% y 1.5% de fibras de celulosa.

Es importante señalar, que se elaboró una mezcla “base” sin fibras de celulosa como parámetro de referencia, resultando que las mezclas con fibras de celulosa, tuvieron un mejor comportamiento en la prueba de estabilidad Marshall.

Palabras clave: Mezcla asfáltica, mezcla SMA, mezclas con fibras.

---

<sup>1</sup> Profesor de tiempo completo en la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura, de la Universidad Juárez del Estado de Durango, campus Gómez Palacio, Durango. jbetancourt@ujed.mx.

<sup>2</sup> Ex alumno de la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura, de la Universidad Juárez del Estado de Durango, campus Gómez Palacio, Durango.



## 1. Introducción

La tecnología en materia asfáltica se ha enfocado al desarrollo de un tipo de carpeta que cumpla con: mayor duración, menor ahuellamiento al paso de vehículos, significativa repelencia al agua (alta hidrofobicidad), resistencia a la radiación ultravioleta, resistencia a la lluvia, aumento al agarre con la llanta, mejor adhesión entre el asfalto y el material pétreo, facilidad para la reparación de baches, etc. Todas estas condiciones, dan como resultado una intensa investigación que ha llevado al desarrollo de nuevos materiales asfálticos, así como, el uso en otras formas con aplicaciones al substrato pétreo.

Al asfalto se le conoce con varios nombres como: asfalto o bitumen, nafta-betunes, betún y cemento asfáltico. Este producto fue conocido alrededor del año 2500 A.C. en Egipto, aunque en esa época no se usaba en la construcción de caminos [1]. En la actualidad existe una gran variedad de aplicaciones; entre las que se puede mencionar: carpetas asfálticas, adhesivos, sellantes, impermeabilizantes, entre otros. Los volúmenes del uso del asfalto son muy grandes, sobre todo en la fabricación de carpetas de rodadura, donde se considera el material más importante. El amplio uso de asfaltos en la construcción de carreteras, se debe en gran medida a su bajo costo, sus propiedades de hidrofobicidad y su relativa resistencia al intemperismo. Una de las maneras de aplicar el asfalto a una mezcla, es a través de altas temperaturas; sin embargo, también puede hacerse en frío por medio de emulsiones comúnmente llamadas "Emulsiones Asfálticas" [2].

A mediados de los años sesenta, se desarrolló en Alemania una técnica de construcción para carpetas asfálticas de alta resistencia como respuesta a las rigurosas exigencias de los neumáticos de clavos [3]. Esta técnica es conocida como aglomerado asfáltico de roca, también conocida como Stone Mastic Asphalt, SMA por sus siglas en inglés. Una de las carreteras más transitadas del mundo se encuentra en Dortmund, Alemania, fue construida en 1980 con SMA y fibras de celulosa, por ella transitan más de 100,000 camiones de carga sin que a la fecha muestre grietas o daños de cualquier otro tipo. Desde entonces el SMA ha demostrado ser un excelente método de construcción de carpetas asfálticas, con gran resistencia, altamente duradera y segura. El sistema SMA es en la actualidad el método estándar de construcción en Alemania y se encuentra registrado en la norma ZTV Asphalt StB '07, [4].

Los primeros trabajos de investigación y aplicación fueron desarrollados en 1968, por la empresa de pavimentos Strabag en colaboración con J. Rettenmaier & Söhne empresa líder en fibras, quienes buscaban una mezcla con la mayor resistencia posible al desgaste para reducir la acción negativa de los neumáticos con clavos, utilizados para poder circular en las condiciones extremas de la época invernal. Una vez retirado el hielo, estos clavos producían daños sobre la capa de rodadura, siendo necesaria una reparación de la carpeta al finalizar el invierno; posteriormente se comprobó que estas mezclas presentaban una mayor durabilidad que las convencionales, lo cual llevo a que se normaran y se incluyeran dentro de las especificaciones alemanas en el año de 1984 [5].



Las mezclas SMA se concibieron con objetivos claros y bien definidos: incrementar la durabilidad, seguridad y estabilidad de las vías de comunicación terrestres, así como, generar ahorros en su construcción. La resistencia de la mezcla se logra a través de una estructura granular de contacto entre las partículas gruesas, rellenas con un mástico rico en ligante y estabilizado con fibras, los pavimentos que resultan son altamente resistentes a: deformaciones permanentes, fisuras por fatiga, envejecimiento y son menos susceptibles a la acción del agua, [3].

El SMA es un método de construcción probado en Alemania, Europa Y Asia; en Estados Unidos desde 1991 y en México desde 1995, a la fecha existen diversos estudios comparativos y tramos carreteros (ver Figura 1) con este tipo de mezclas, presentando un buen comportamiento, confirmando su duración, costo y mantenimiento para el que fueron concebidos.

En 1987, E.U. invirtió 150 millones de dólares en investigación de pavimentos flexibles asfálticos bajo el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras SHRP por sus siglas en inglés. Más tarde con el programa “Superpave” investiga las mezclas nacidas en Alemania conocidas como mezclas tipo SMA con fibras de celulosa. Ya que existía una diferencia considerable en los parámetros de diseño, mientras que las carreteras de Europa se planeaban con una expectativa de vida de 40 años con una carga permitida de 11,000 kg por eje, en Estados Unidos la expectativa de duración era de 20 años con una carga de 9,000 kg por eje. Terminando por utilizar esta técnica (SMA) en algunos tramos carreteros de los Estados Unidos. Hoy en día los pavimentos construidos a partir de SMA son también usados por países desarrollados de Asia. Prueba de ello Filipinas, Taiwán, Hong Kong, Corea del sur, Japón y China, lo utilizan en vialidades importantes [6].



Figura 1.- Pavimento asfáltico tipo SMA. (Fuente: e-asfalto).

Muchos son los avances que se han logrado en el desarrollo científico y tecnológico de mezclas asfálticas (mediante el uso de varios métodos en países desarrollados), incluso se puede decir que en Latinoamérica México es el país más adelantado en éste aspecto; sin embargo, a pesar de éste avance se mantiene un enfoque orientado a las mezclas en caliente de granulometría densa, dejando de



lado la posibilidad de utilizar otras técnicas afines como lo son: las mezclas asfálticas de granulometría discontinua, en este caso SMA.

### **1.1. Importancia de las mezclas SMA**

Este tipo de mezclas tienen un elevado costo inicial, sin embargo, esto se minimiza con el tiempo, ya que tienen excelentes prestaciones, requieren niveles mínimos de conservación, ofrece excelentes propiedades de conducción, combina alta estabilidad con una duración mayor, permite mayor adherencia por lo tanto mejora la seguridad al conducir, es resistente al desgaste y al deterioro causado por neumáticos y condiciones extremas [7]. Actualmente en México este tipo de mezclas están siendo introducidas por las dependencias gubernamentales, tales como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

El sistema SMA con fibra de celulosa contiene una proporción muy elevada de agregados dentro de un mastico rico en ligante. La estructura del soporte es un esqueleto mineral de agregados relleno de asfalto de alta viscosidad lo que da lugar a un aglomerado asfáltico de larga duración presentando vialidades que han permanecido por más de 40 años. La resistencia del esqueleto de los agregados está asegurada por la transferencia de carga "grano a grano". El ligante de asfalto reforzado con una fibra tiene la misión de asegurar la larga duración de la unión de las partículas de agregados pétreos y de protegerlas contra las fuerzas originadas por frenadas y aceleraciones. La estructura compacta de los agregados, tiene un acabado rugoso que permite un buen agarre y evita el acuaplaneo. Además son altamente resistentes a las deformaciones permanentes, fisuras por fatigas, al envejecimiento y son menos susceptibles a la acción del agua [3].

En México, donde el aumento inesperado de volúmenes de carga y tránsito ha sometido a esfuerzos adicionales al Sistema de Carreteras, la fuerza de reserva de un pavimento del tipo SMA con fibra de celulosa prolongaría la vida de las carreteras existentes, retardando costosas modificaciones y mejoras a las bases y las superficies de rodamiento.

La construcción de pavimentos con el sistema SMA aumenta la productividad en la construcción y reduce significativamente los trabajos de mantenimiento.

### **1.2. Características de las mezclas tipo SMA**

Los principios fundamentales del diseño consideran: un esqueleto mineral de elevado rozamiento interno, un alto contenido de mastico rico en ligante y la presencia de un aditivo estabilizante que reparte y evita el escurrimiento del ligante. El esqueleto mineral proporciona una granulometría discontinua con un alto porcentaje de áridos gruesos (>70 %) lo que permite ese contacto árido-árido, para hacer la mezcla impermeable se rellenan los huecos con una masa de filler y ligante que logran que este tipo de mezclas mantengan un bajo contenido de huecos [3]

Otra de sus características, es la alta incorporación del ligante que varía entre el 6.0 y el 7.5 % en masa del total de la mezclas, ésta forma una capa gruesa alrededor



de los áridos, para prevenir su escurrimiento con las altas temperaturas se adicionan fibras que lo mantienen estable.

Entre los agentes estabilizadores, se encuentran los polímeros, aditivos a base de polvos y las fibras que pueden ser sintéticas, minerales o de origen vegetal, las cuales son de mayor afinidad con el asfalto. En condiciones adecuadas la envoltura de la fibra es fácil y completa, no se rompe fácilmente durante el mezclado tiene una superficie irregular lo que facilita el entrelazado tridimensional. [8].

### 1.3. Objetivo

Desarrollar una mezcla tipo SMA que cumpla con la normativa mexicana.

## 2.- Materiales y métodos

El diseño resultante, fue obtenido en base a los materiales presentes en la Región Lagunera y con fibra de celulosa Viatop Premium proporcionada por la empresa SURFAX. Se analizaron granulométricamente los materiales pétreos (arena triturada y grava  $\frac{3}{4}$ " ) procedentes del banco de materiales CRIBISSA, ubicado en la ciudad de Lerdo Durango, para ajustarlos a la banda granulométrica (huso granulométrico) de la normativa SCT que aplica para éste tipo de mezclas. Asimismo se utilizó residuos de mármol (polvo) de la empresa "Mármoles Parra", el cual es producto del corte y pulido de losetas de mármol. Cabe hacer mención que se utilizó un 10% en todas las mezclas elaboradas con fibra.

Las mezclas de diseño, se elaboraron utilizando cemento asfáltico 20 (AC-20), variando el contenido de fibras de celulosa en diferentes porcentajes (0.5, 1.0, 1.5), tratando de obtener el contenido de asfalto óptimo con el cual se obtenga el menor escurrimiento posible.

Se elaboraron sesenta especímenes (briquetas) estándar, con altura de 64 mm ( $2\frac{1}{2}$ " ) y 102 mm (4" ) de diámetro, para realizar los ensayos requeridos por el método Marshall, [9].

Se analizaron los resultados de las pruebas realizadas a las briquetas, para determinar el contenido de asfalto óptimo que presente el menor flujo y la mayor estabilidad del espécimen.

Para la elaboración de las mezclas, se consideró como parámetros de referencia los indicados para mezclas SMA en la normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes [10]. Estos parámetros se pueden observar en la tabla 1.



Tabla 1.- Criterios de diseño para mezclas asfálticas tipo S.M.A. diseñadas bajo la metodología Marshall, Fuente: Normativa SCT.

Característica	Requisito
Golpes por cara con el martillo Marshall	50
Vacíos en la mezcla asfáltica (VMC) % mínimo	4.0
Vacíos ocupados por el asfalto (VFA) %	75-82
Vacíos en el agregado mineral (VAM) % mínimo	17
Contenido de las fibras de celulosa, % en peso de la mezcla mínimo	0.3
Resistencia retenida a la tracción indirecta (TSR) % mínimo	80
Escurecimiento de asfalto a temperatura de producción % máximo	0.3
Contenido de cemento asfáltico % en peso de la mezcla mínimo	6.0

Con base en la norma N-CMT-4-04/08 SCT, se procedió a obtener las características de los agregados y su granulometría para comparar los resultados obtenidos con los parámetros de referencia establecidos, ver Tabla 2. Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango, campus Gómez Palacio, Durango México.

Tabla 2. Requisitos de calidad del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría discontinua tipo S.M.A. Fuente: Normativa SCT.

GRAVA		
Desgaste de los ángeles % máximo		25
Partículas alargadas y lajeadas % máximo		25
Intemperismo acelerado % máximo	En sulfato de sodio	15
	En sulfato de magnesio	20
Partículas trituradas % máximo	Una cara	100
	Dos caras	90
Absorción porcentaje máximo		2
Desprendimiento por fricción % máximo		10
ARENAS Y FINOS		
Equivalente de arena % mínimo		55
Índice plástico % máximo		no plástico
Azul de metileno mg/g máximo		12

Posteriormente se calculó el porcentaje de asfalto con base en el método del Instituto Americano del Asfalto [8], ver ecuación 1.

$$P = 0.035 a + 0.045 b + kc + K \dots\dots\dots(ec.1)$$

Donde:

P = Porcentaje de cemento asfáltico respecto al peso de la mezcla

a = Porcentaje de agregado retenido en el tamiz N° 10

b = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 10 y se retiene en el tamiz N° 200

c = Porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200

k = Toma los siguientes valores:

0.20 Cuando el porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200 varía del 11% al 15%

0.18 Cuando el porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200 varía del 06% al 10%

0.15 Cuando el porcentaje de agregado que pasa sobre el tamiz N° 200 es menos del 05%

K = Varía de 0 a 2, dependiendo del grado de absorción de los pétreos.

Alta absorción: K = 2

Como parte de la etapa de experimentación, se elaboraron 60 pastillas Marshall con un peso de 1100 gr cada una, las cuales se agruparon de la siguiente manera:

- ❖ Grupo uno: 5 conjuntos de 3 pastillas cada uno, con un contenido de fibra de celulosa del 0.0 % en peso y variando el contenido de asfalto entre 5.0 y 7.0 %, en intervalos de 0.5 %.
- ❖ Grupo dos: 5 conjuntos de 3 pastillas cada uno, con un contenido de fibra de celulosa del 0.5 % en peso y variando el contenido de asfalto entre 5.0 y 7.0 %, en intervalos de 0.5 %.
- ❖ Grupo tres: 5 conjuntos de 3 pastillas cada uno, con un contenido de fibra de celulosa del 1.0 % en peso y variando el contenido de asfalto entre 5.0 y 7.0 %, en intervalos de 0.5 %.
- ❖ Grupo cuatro: 5 conjuntos de 3 pastillas cada uno, con un contenido de fibra de celulosa del 1.5 % en peso y variando el contenido de asfalto entre 5.0 y 7.0 %, en intervalos de 0.5 %.

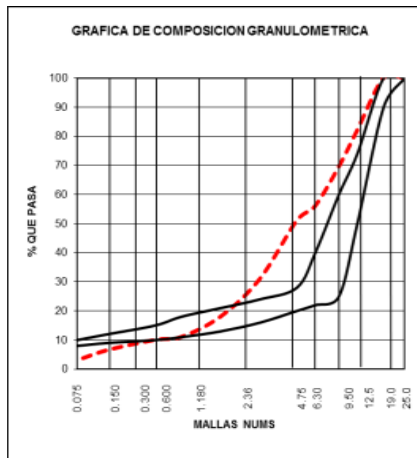
Cada una de las probetas fue compactada con 50 golpes por cara con el pisón Marshall estándar.

Posteriormente se realizaron los ensayos necesarios, para conocer los parámetros señalados en la norma N-CMT-4-05-003/08 (SCT), incluyendo la prueba de Tracción Indirecta y la prueba de escurrimiento por el método Shellenberg [11], se compararon los resultados para establecer la mejor opción de las mezclas propuestas.

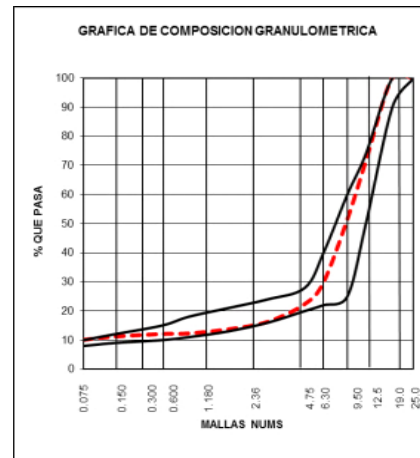


### 3.- Resultados y discusión.

Como resultado del análisis granulométrico, se comprobó que ninguno de los materiales por sí solo cumple con los porcentajes de diseño de la mezcla, ya que no resultaron dentro de la zona delimitada en las gráficas, por lo que se procedió a hacer iteraciones variando los porcentajes entre cada uno de los materiales, hasta cumplir con la curva de diseño.



a)



b)

Figura 2. Composición granulométrica a).- 50% Grava y 50% polvillo, b).- 80% Grava, 10% polvillo y 10% filler (polvo de mármol).

A continuación se muestran las características de los agregados, se observa en la Tabla 3 que cumple con todos los parámetros de referencia señalados en la norma mexicana de referencia [12].





Tabla 3.- Características de los agregados.

PRUEBA	MATERIAL				NORMA SCT	
	GRAVA 3/4	GRAVA 1/2"	POLVILLO 3/16	FILLER	MÍNIMO	MÁXIMO
Desgaste de Los ángeles	23 %	22 %	23 %	N/A		25%
Resistencia a Los sulfatos	9%	9%	N/A	N/A		15 %
Gravedad específica y absorción	2.66 0.6 %	2.66 0.6 %	N/A	N/A		2%
Gravedad específica y absorción	N/A	N/A	2.68 0.6 %	2.7 1.6 %		2.0%
Equivalente de Arena	N/A	N/A	63 %	N/A	55 %	
Índice de partículas Alargadas y lajeadas	18 % 16 %	18 % 16 %	N/A	N/A		25 % 25 %
Índice de caras fracturadas	100 %	100 %	N/A	N/A		100 %

Con respecto al asfalto, después de realizar las pruebas necesarias se comprobó que cumple con los parámetros de calidad señalados en la norma [13] ver Tabla 4.

Tabla 4.- Características del asfalto.

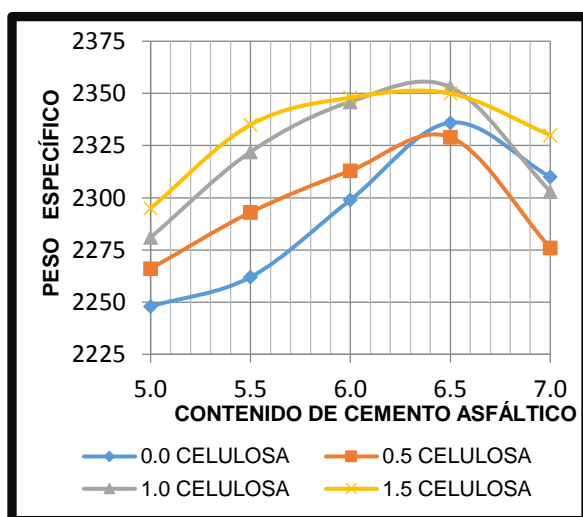
Característica	Cemento asfáltico AC-20 normal	Normas	
		Mínimo	máximo
Viscosidad saybolt-furol a 135° c, s.	136	120	
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 s. 0.1 mm	68	60	
Punto de inflamación Cleveland, °C	245	232	
Solubilidad %	99.5	99	
Del residuo de la prueba de la película delgada			
Ductilidad a 25 °C y 5 cm/m, cm	59	50	
Penetración retenida a 25 °C %	58	54	
Perdida de calentamiento %	0.32		0.5

El porcentaje de asfalto, se obtuvo sustituyendo los valores de la ecuación 1 quedando:

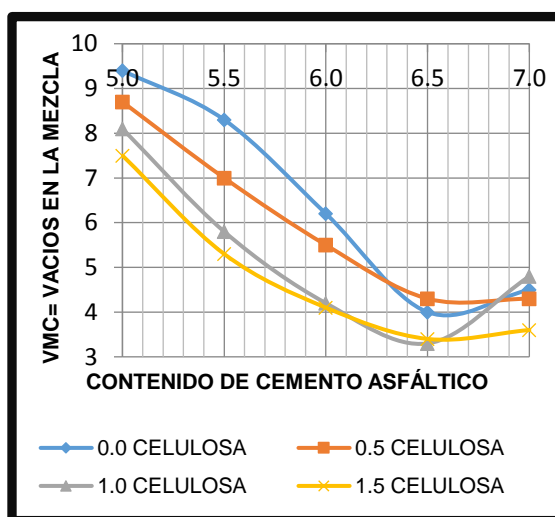
$$P = 0.035(84) + 0.045(6) + 0.20 + 0.18$$

$$P = 5.39\% \approx 6.0\%$$

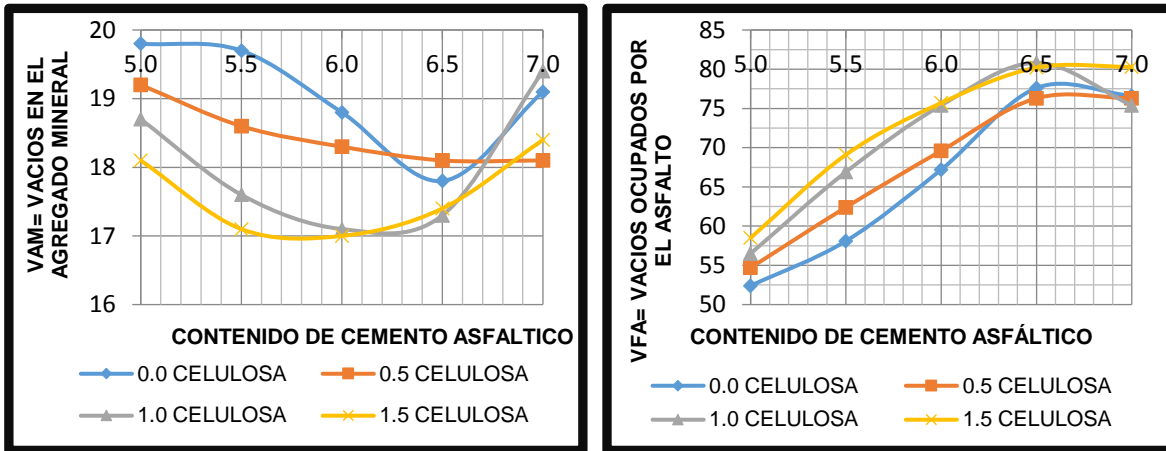
Con los datos obtenidos anteriormente, se procedió a calcular los pesos volumétricos de las pastillas de ensaye y sus vacíos, en las Figura 3 se aprecian los resultados obtenidos.



a)



b)



c)

d)

Figura 3. Comportamiento volumétrico de las mezclas a).- PE vs % de C.A., b).- VMC vs % de C.A., c) VAM vs % de C.A., d) VFA vs % de C.A.

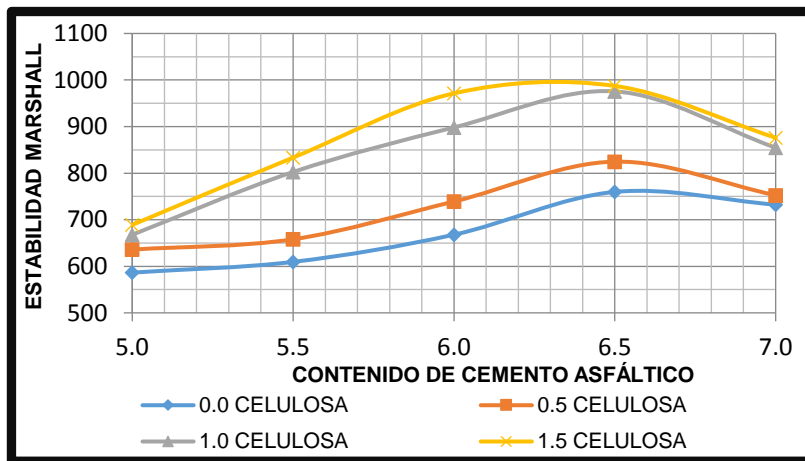


Figura 4. Comportamiento de las mezclas, estabilidad Marshall.

En la Figura 3, se observa que algunas mezclas cumplen con lo establecido en la normativa mexicana, sin embargo, hay algunos parámetros que están fuera de la especificación, por lo tanto se eligieron sólo las mezclas con las mejores características para someterlas a las pruebas de tracción indirecta y la prueba de escurrimiento.

En la Figura 4 se observa que las mezclas con mejor comportamiento en la estabilidad Marshall son las que tienen 1 y 1.5 % de fibras de celulosa. A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos para definir las mezclas con mejor comportamiento.

Tabla 5.- Resumen de los resultados obtenidos.

GRUPO	C.A.	% FIBRA	VCA	VMP	VMC >4	VAM >17	VFA 75-82	ESTAB. >816	FLUJO 2-3.5	OBSERVACIONES
G1C1	5.0	0.0	10.392	80.2	9.4	19.8	52.4	586	2.5	VFA <, EST <
G1C2	5.5	0.0	11.448	80.3	8.3	19.7	58.1	609	3.3	VFA <, EST <
G1C3	6.0	0.0	12.632	81.2	6.2	18.8	67.2	668	3.9	VFA <, EST <, FL >
G1C4	6.5	0.0	13.844	82.2	4.0	17.8	77.6	760	4.3	EST <, FL >
G1C5	7.0	0.0	14.672	80.9	4.5	19.1	76.6	732	4.0	EST <, FL >
G2C1	5.0	0.5	10.477	80.8	8.7	19.2	54.7	636	2.4	VFA <, EST <
G2C2	5.5	0.5	11.607	81.4	7.0	18.6	62.4	658	2.5	VFA <, EST <
G2C3	6.0	0.5	12.713	81.7	5.5	18.3	69.6	739	2.9	VFA <, EST <
G2C4	6.5	0.5	13.801	81.9	4.3	18.1	76.3	825	3.3	
G2C5	7.0	0.5	13.801	81.9	4.3	18.1	76.3	752	2.9	EST <
G3C1	5.0	1.0	10.544	81.3	8.1	18.7	56.5	668	2.8	VFA <, EST <
G3C2	5.5	1.0	11.751	82.4	5.8	17.6	66.9	803	3.0	VFA <, EST <
G3C3	6.0	1.0	12.893	82.9	4.2	17.1	75.4	898	3.7	FL >
G3C4	6.5	1.0	13.941	82.7	3.3	17.3	80.8	976	4.1	VMC <, FL >
G3C5	7.0	1.0	14.625	80.6	4.8	19.4	75.4	855	3.2	
G4C1	5.0	1.5	10.612	81.9	7.5	18.1	58.5	689	3.1	VFA <, EST <
G4C2	5.5	1.5	11.817	82.9	5.3	17.1	69.1	833	3.1	VFA <, EST <
G4C3	6.0	1.5	12.903	83.0	4.1	17.0	75.7	971	3.3	
G4C4	6.5	1.5	13.925	82.6	3.4	17.4	80.2	987	3.4	VMC<
G4C5	7.0	1.5	14.802	81.6	3.6	18.4	80.3	876	3.4	VMC<

Como se observa en la Tabla 5, varias mezclas cumplieron con diversos parámetros y fallaron en algunos otros, por lo que se eliminaron las mezclas que no cumplen con los parámetros señalados en la norma N-CMT-4-05-003/16 SCT. Quedando solamente las mezclas: G2C4, G3C5 y la G4C3, las cuales se sometieron al ensaye de tracción indirecta, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 6.



Tabla 6.- Resultados del ensaye de Tracción Indirecta.

GRUPO	C.A.	% FIBRA	TSR SECO	TSR SAT	% TSR	OBSERVACIONES
G2C4	6.5	0.5	947	696	73.5	TSR <
G3C5	7.0	1.0	1052	869	82.6	CUMPLE
G4C3	6.0	1.5	1011	821	80.6	CUMPLE

Dado que las mezclas G3C5 y la G4C3 cumplen con la normativa en mención (ver Tabla 6), se calculó finalmente el valor del porcentaje de escurrimiento a dichas mezclas, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7.- Resultados de la prueba de escurrimiento.

Grupo	% C.A.	% Fibra	TOTAL	Escurremient to	%	Observaciones
G3C5	7.0	1.0	1026.50 GR	2.64 GR	0.257	CUMPLE
G4C3	6.0	1.5	1041.26 GR	2.18 GR	0.209	CUMPLE

Se observa en la Tabla 7, que las dos mezclas que se sometieron a la prueba de escurrimiento cumplen con los parámetros establecidos.

#### 4.- Conclusiones

Como se pudo observar en los resultados obtenidos inicialmente, varias mezclas cumplieron con algunos parámetros y fallaron en otros. Mediante las pruebas de tracción indirecta y la de escurrimiento, se determinó cuales mezclas cumplen con todos los parámetros señalados en la norma N-CMT-4-05-003/16 SCT, a continuación se mencionan las mezclas seleccionadas:

G3C5 Mezcla asfáltica con el 1.0 % de fibra de celulosa y contenido de cemento asfáltico de 7.0 %.

G4C3 Mezcla asfáltica con el 1.5 % de fibra de celulosa y contenido de cemento asfáltico de 6.0 %.

La elección la mezcla de diseño, dependerá de lo que se busque en cada proyecto en específico y de acuerdo a la relación costo beneficio. Es decir, si bien es cierto, una de las mezclas lleva menos fibra pero requiere más asfalto; mientras que la otra con mayor porcentaje de fibra demanda un menor porcentaje de asfalto.



Asimismo, se presenta una considerable variación en lo que respecta a la estabilidad Marshall, pues la primera mezcla presenta un valor de 855 kg y la segunda 971 kg, dato muy importante en la elección de la mezcla de diseño.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos estarán limitados por la presencia de materiales similares, de lo contrario se pueden presentar variaciones significativas en las características de la mezcla.

Los autores agradecen las facilidades otorgadas por las autoridades y el personal del Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Campus Gómez Palacio, Durango. Asimismo, al Programa de Fortalecimiento a la Calidad Educativa P/PFCE-2016-10MSU0010C-11, por los recursos otorgados para la elaboración y presentación de este trabajo.

## 5.- Bibliografía.

- 1.- Comunicación técnica, Historia del asfalto, [http://www.e-asphalt.com/orig\\_asf/historia\\_del\\_asfalto.htm](http://www.e-asphalt.com/orig_asf/historia_del_asfalto.htm), consultado el 5 de marzo de 2017.
- 2.- Garber N., Hoel L., (2005). *Ingeniería de tránsito y carreteras*, (capítulo 19, pág. 914) México, Editorial Thomson.
- 3.- Miranda L., Lanchas S., Nuñez R., (2005). *Las mezclas SMA normalizadas en Europa, con experiencias en diferentes aplicaciones en el mundo*. Asfalto y Pavimentación. Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas.
- 4.- Castillo E., (2014). *Propuesta de una mezcla templada tipo S.M.A. con Viatop 66*. (Tesis de licenciatura). Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, México.
- 5.- Barrera Cervantes C.E. (2008). *Diseño y construcción de pavimentos tipo Stone Mastic Asphalt en México*. (Tesis de Maestría). Programa de Maestría y Doctorado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- 6.- Surfax S.A. de C.V. (2017). *Mezclas SMA, calidad, seguridad y ahorro*. Informe Técnico. [http://www.surfax.com.mx/new\\_site/descargas.php](http://www.surfax.com.mx/new_site/descargas.php). Consultado el 15 de abril de 2017.
- 7.- Rubio B., et al, (2012). *Diseño de mezclas S.M.A., como capa de rodadura e intermedia para su uso en España*. VII Jornada Nacional. Comunicación 33. Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas.
- 8.- Lanchas S. et al, (2013). *Fibras de celulosa aditivadas para mezclas tipo SMA con propiedades mejoradas*. VIII Jornada Nacional. Comunicación 14. Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas.
- 9.- AASHTO T245. (2011) *Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus* (Withdrawn 1998).
- 10.- N-CMT-4-05-003/16 (2016) *Características de los Materiales, Materiales para Pavimentos. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas. Calidad de mezclas asfálticas para carreteras*. Normativa SCT.
- 11.- UNE-EN 12697-18 (2006). *Bituminous mixture. Test methods for hot mix asphalt*. Part 18: binder drainage.
- 12.- N-CMT-4-04/08 (2008) *Características de los Materiales, Materiales para Pavimentos, materiales pétreos para mezclas asfálticas*. Normativa SCT.
- 13.- N-CMT-4-05-001/06 (2006). *Características de los Materiales, Materiales para Pavimentos, Materiales Asfálticos Aditivos y Mezclas, Calidad de Materiales Asfálticos*. Normativa SCT.