



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO
DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE
LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COVENIN
TIPO IV REFORZADAS CON FIBRAS DE
POLIPROPILENO TOC FIBRA 500**

Autores:
Silvestrini, Eduardo
C.I: 23579611.
Ruiz, Enrique
C.I: 19425982.

Urb. Yuma II, Calle N° 3, Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (Master) - Fax: (0241) 871239



**REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES
MECANICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COVENIN TIPO IV
REFORZADAS CON FIBRAS DE POLIPROPILENO TOC FIBRA 500**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

Autores: Silvestrini, Eduardo

C.I: 23579611.

Ruiz, Enrique

C.I: 19425982.

Tutor: Ing. Marisabel Gil de León.

San Diego, noviembre de 2015



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Marisabel Gil de León portador de la cédula de identidad N° 9227923, en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Eduardo Silvestrini y Enrique Ruiz, portadores de la cédula de identidad N°23579511 y 19425982, (respectivamente), titulado **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COVENIN TIPO IV REFORZADAS CON FIBRAS DE POLIPROPILENO TOC FIBRA 500** presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los 6 días del mes de noviembre del año dos mil quince

Ing. Marisabel Gil de León.
C.I.: 9227923



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

San Diego, 9 de Junio 2015

ACTA DE REVISIÓN METODOLÓGICA DEL TRABAJO DE GRADO

Quienes suscriben esta Acta, dejan constancia que el Proyecto de Trabajo de Grado: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COVENIN TIPO IV REFORZADAS CON FIBRAS DE POLIPROPILENO TOC FIBRA 500**. Ha sido revisado y, cumpliendo con los requisitos exigidos para su aprobación, recomiendan su tramitación ante el organismo académico correspondiente.

Ing. Marisabel Gil de León

Tutor Académico

Firma

Fecha

Ing. Alicia de Pizzella

Tutor Metodológico

Firma

Fecha

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	P.p.
RESUMEN.	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA	
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Formulación del problema	3
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Justificación del Problema	4
1.5 Alcance	4
II MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes	6
2.2 Bases Teóricas	8
2.2.1 Asfalto	8
2.2.1.1 Composición del asfalto	9
2.2.1.2 Proceso de fabricación	11
2.2.1.3 Características del asfalto	12
2.2.1.4 Ensayos de caracterización	12
2.2.2 Base y Sub-base	19
2.2.3 Carpeta Asfáltica	20
2.2.4 Fallas en Pavimentos flexibles	21
2.2.5 Polipropileno	23
2.2.6 Fibras de polipropileno	24
2.3 Definiciones de términos básicos	24

III	MARCO METODOLÓGICO	
	3.1 Tipo de investigación	26
	3.2 Nivel de investigación	26
	3.3 Población y muestra	27
	3.4 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	27
	3.5 Fases Metodológicas	28
IV	ANALISIS DE RESULTADOS	
	4.1 Fase I. Estimar la cantidad óptima de agregados para obtener una mezcla asfáltica COVENIN tipo VI	30
	4.2 Fase II. Realizar briquetas tipo Marshall con mezcla asfáltica COVENIN tipo IV	37
	4.3 Fase III. Realizar Briquetas tipo Marshall con mezcla asfáltica COVENIN tipo IV incorporando fibras de polipropileno Toc Fibra 500	44
	4.4 Fase IV. Realizar ensayos comparativos de la propiedad Marshall entre ambas mezclas asfálticas	49
	4.5 Fase V. Evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla al incorporar las fibras	53
V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
	Conclusiones	58
	Recomendaciones	59
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	ANEXOS	62

INDICE DE FIGURAS
CONTENIDO

FIGURA	Pág.
1 Porcentajes límites de agregados de la mezcla COVENIN tipo IV	35
2 Gráfica estabilidad Marshall-porcentaje de cemento asfáltico	40
3 Gráfica densidad-porcentaje de cemento asfáltico	41
4 Gráfica flujo Marshall-porcentaje de cemento asfáltico	41
5 Gráfica porcentaje de vacíos totales-porcentaje de cemento asfáltico	42
6 Gráfica porcentaje de vacíos agregado mineral-porcentaje de cemento asfáltico	42
7 Gráfica porcentaje de vacíos llenados-porcentaje de cemento asfáltico	43
8 Gráfica estabilidad Marshall-porcentaje de fibras	46
9 Gráfica densidad-porcentaje de fibras	47
10 Gráfica flujo Marshall-porcentaje de fibras	47
11 Gráfica porcentaje de vacíos totales-porcentaje de fibras	48
12 Gráfica porcentaje de vacíos agregado mineral-porcentaje de fibras	48
13 Gráfica de vacíos llenado-porcentaje de fibras	49
14 Gráfico comparativo de estabilidad Marshall con las mezclas asfálticas estudiadas	50
15 Gráfico comparativo de densidad con las mezclas asfálticas estudiadas	51
16 Gráfico comparativo de flujo Marshall con las mezclas asfálticas estudiadas	51
17 Gráfico comparativo porcentaje de vacíos totales con las mezclas asfálticas estudiadas	52
18 Gráfico comparativo de porcentaje vacíos agregados mineral con las mezclas asfálticas estudiadas	52

19	Gráfico comparativo de vacíos llenados con las mezclas asfálticas estudiadas	53
20	Gráfico comparativo de estabilidad Marshall con las dosificaciones de fibra estudiadas para la mezcla asfáltica	54
21	Gráfico comparativo de densidad con las dosificaciones de fibra estudiadas para la mezcla asfáltica	55
22	Gráfico comparativo de flujo Marshall con las dosificaciones de fibra estudiadas para la mezcla asfáltica	55
23	Gráfico comparativo de vacíos totales con las dosificaciones de fibra estudiadas para la mezcla asfáltica	56
24	Gráfico comparativo de vacíos agregados minerales con las dosificaciones de fibra estudiadas para la mezcla asfáltica	56
25	Gráfico comparativo de vacíos llenados con las dosificaciones de fibra estudiadas para la mezcla asfáltica	57

INDICE DE TABLAS

CONTENIDO

TABLA		Pág.
1	Tabla de ensayos granulométricos de piedra N°1 proveniente de Aslaca	31
2	Tabla de ensayos granulométricos de polvillo proveniente de Maco-Maco	32
3	Tabla de ensayos granulométricos de arena proveniente de Vaciabla, San Diego	32
4	Tabla de combinación granulométrica con promedio granulométricos de las muestras	34
5	Tabla de ensayos de pesos específicos de los agregados	36
6	Tabla de promedio de pesos específicos de los materiales, distribuidos Con las proporciones utilizada para la mezcla asfáltica	37
7	Propiedades Marshall para la obtención de la cantidad óptima de Cemento asfáltico	39
8	Resumen de propiedades Marshall para la obtención de cantidad óptima de cemento asfáltico	43
9	Ensayo de briquetas con la cantidad óptima de cemento asfáltico	44
10	Ensayo de mezcla asfáltica COVENIN tipo IV, con porcentaje óptimo de cemento asfáltico e incorporación de fibras de polipropileno Toc Fibra500	45
11	Resumen de propiedades Marshall en mezcla asfáltica con la incorporación de fibras de polipropileno Toc Fibra 500	46
12	Tabla comparativa entre la mezcla asfáltica convencional COVENIN tipo IV y la mezcla asfáltica con la incorporación de fibras de polipropileno	50

13	Evaluación del comportamiento de propiedades Marshall expresado en porcentaje	54
----	---	----

INDICE DE ANEXOS

CONTENIDO

ANEXO		Pág.
1	Propiedades de las fibras de polipropileno Toc Fibra 500	62
2	Agregados de mezcla asfáltica	63
3	Horno utilizado para secar los agregados	63
4	Calentamiento de los agregados para mezclar con el cemento asfáltico	64
5	Martillo Marshall y molde Marshall 4'' utilizado	64
6	Temperatura con la cual se compacto la briqueta	65
7	Briquetas realizadas para determinar el porcentaje de cemento asfáltico Ideal	65
8	Briquetas con 4.0% de cemento asfáltico	66
9	Briquetas con 5.0% de cemento asfáltico	66
10	Briquetas con 5.5% de cemento asfáltico	67
11	Briquetas sumergidas en agua a 60°C	67
12	Prensa Marshall para la medición de estabilidad y flujo	68
13	Briquetas después de realizarle el ensayo de estabilidad y flujo	68
14	Mezcla asfáltica incorporándole las fibras de polipropileno	69
15	Norma ASTM-1559 Método Marshall	69



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES
MECANICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS COVENIN TIPO IV
REFORZADAS CON FIBRAS DE POLIPROPILENO TOC FIBRA 500.**

Autores: Eduardo Silvestrini
Enrique Ruiz
Tutor: Ing. Marisabel Gil de León
Fecha: Junio de 2015

RESUMEN

El presente trabajo especial de grado tiene como finalidad evaluar el comportamiento de mezclas asfálticas reforzadas con fibras de polipropileno, con el fin de conocer si el uso de fibras , influye en la mejora de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, de este modo puede proporcionarse una alternativa para pavimento flexibles que al igual que los pavimentos realizados con mezclas asfálticas convencionales, garantice la durabilidad y el apoyo ideal que debe tener una vialidad a lo largo de su vida útil.

Descriptores: Refuerzo, Propiedades, Pavimentos Flexibles.

INTRODUCCIÓN

Las vías terrestres han servido como vías comunicativas desde hace muchos años, uniendo de esta manera pueblos, ciudades, países y hasta continentes, lo que las hace de suma importancia para el desarrollo y avance de la humanidad. Sin embargo, con el pasar del tiempo, el deterioro puede hacerse notar debido al uso de las mismas, lo que ocasiona que constantemente sean aplicadas diferentes técnicas de para incrementar la durabilidad y el éxito de las vías.

Esta última idea se pone en práctica a través de la presente propuesta, en la cual, se pretende observar el comportamiento de pavimentos flexibles al ser reforzados con fibras de polipropileno, buscando eliminar o llevar a su mínima expresión aquellos factores que puedan incidir de manera negativa la calidad de la mezcla, de tal manera que se pueda ofrecer a la sociedad una alternativa de pavimento que garantice que las vías terrestres sean más duraderas y seguras.

Para alcanzar los objetivos propuestos, se estructuró el proyecto de la siguiente manera:

Capítulo I. El problema: donde se hace referencia de forma clara y precisa sobre el planteamiento del problema a estudiar, los objetivos que esperan alcanzar, la formulación y justificación del problema, el alcance del proyecto y sus limitaciones.

Capítulo II. Marco teórico: el cual hace referencia a las bases teóricas, antecedentes, y términos básicos, en los que se fundamenta el proyecto de investigación.

Capítulo III. Marco metodológico: donde se describe claramente de manera clara y precisa la metodología que sigue el proyecto, el tipo, el nivel, y el diseño de la investigación, tomando en cuenta las técnicas e instrumentos de recolección de datos, indicando la importancia y los factores que constituyen el trabajo investigativo.

Capítulo IV. Análisis de resultados: donde se reflejan los resultados obtenidos.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones: donde se hace referencia en forma clara y precisa las conclusiones obtenidas en el estudio a realizar y las recomendaciones del mismo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Las vías de comunicación son parte primordial para el desarrollo económico y social de la nación, ya que no sólo facilitan la comercialización de bienes, sino también, generan inversión nacional y extranjera para el país, lo que permite mejorar el mercado local, logrando así, acceso a todos los servicios; por lo que éstas deberían de mantenerse siempre en buenas condiciones.

En Venezuela, las vías de tránsito terrestre actuales fueron construidas hace mucho tiempo, por lo tanto, no están diseñadas para el volumen y las cargas que generan el tráfico actual, por lo que es necesario implementar una red mucho más eficiente, resistente y segura que sea capaz de soportar esta demanda de tránsito actual.

El deterioro de las vías en el país también tiene que ver con los problemas políticos que atraviesa actualmente, con la centralización y la eliminación de los peajes que de ahí se obtenían los recursos para el mantenimiento preventivo de las vías y su rehabilitación.

También, el deterioro de las vías tiene un impacto socio-económico, ya que en el país no hay divisas para importar los materiales necesarios para su mantenimiento o restauración, ocasionando averías en los vehículos de los usuarios que transitan por dichas vías.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo se puede mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas COVENIN tipo IV?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas COVENIN tipo IV reforzadas con fibras de polipropileno Toc Fibra 500.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estimar la cantidad óptima de agregados para obtener una mezcla asfáltica COVENIN tipo IV.
- Elaborar briquetas tipo Marshall con mezcla asfáltica COVENIN tipo IV convencional.
- Elaborar briquetas tipo Marshall con mezcla asfáltica COVENIN tipo IV incorporando fibras de polipropileno Toc Fibra 500.
- Elaborar ensayos comparativos de las propiedades Marshall entre ambas mezclas asfálticas.
- Evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla al incorporar las fibras.

1.4 Justificación del problema

El tiempo de construcción de las vías en Venezuela supera los 50 años, el gran número de vehículos de carga pesada que transitan diariamente y la falta de mantenimiento de la misma han hecho que se haya deteriorado considerablemente.

Por lo tanto, si esta hipótesis es cierta, se pueden lograr pavimentos flexibles de mayor calidad y más duraderos, con un mejor nivel de eficiencia.

1.5 Alcance

El proyecto se realizará en el estado Carabobo, municipio San Diego, en el Fundo Indio Maco-Maco. La mezcla asfáltica se realizará con cemento asfáltico tipo A-30, piedra proveniente de la cantera Aslaca, polvillo de la cantera Maco-Maco y la arena de la cantera Vaciable. La fibra utilizada serán las Toc Fibra 500, fabricados por Toxement.

Se realizarán ensayos solo para probetas tipo Marshall (101,6mm de diámetro, 63,5mm de altura), solo se realizarán ensayos bajo la norma Marshall (estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos totales, porcentaje de vacíos de agregados minerales y porcentaje de vacíos llenados).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrollan los principales fundamentos teóricos de esta investigación para que se tenga un mejor entendimiento de la misma.

2.1 Antecedentes

En esta sección se citarán algunos trabajos relacionados con el tema a desarrollar, como respaldo de esta investigación.

Martínez C. y Fonseca C., en su trabajo de grado titulado **“Empleo de fibras en la elaboración de mezclas asfálticas para pavimentos de graduación abierta”** realizado en Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), (2010). Esta investigación tuvo como finalidad proponer nuevas mezclas asfálticas que mediante el empleo de fibras en la elaboración de la mezcla, presenten un buen comportamiento frente a deterioros tales como las deformaciones plásticas permanentes, agrietamientos por fatiga, agrietamientos por fatiga térmica, envejecimiento y oxidación de la película delgada de cemento asfáltico que envuelve el material pétreo; todos estos causados por la acción de los agentes atmosféricos, la mala calidad de los materiales que se emplean y el hecho de no tener en consideración las condiciones climáticas del lugar en el que va a ser colocada la mezcla asfáltica. Para esto se realiza un estudio experimental en laboratorio empleando dos tipos de mezclas: una con una granulometría densa, siendo la utilizada durante muchos años en nuestro país y otra, una mezcla abierta; se emplean, además, dos tipos de cementos asfálticos, uno convencional y otro modificado con 2% de polímero SBS y tres tipos de fibras, adoptándose para esto el ensayo de tensión indirecta y conduciéndose bajo dos condiciones de prueba, en seco y bajo condiciones de humedad con la finalidad de ver el efecto que tiene el agua en el comportamiento de la mezcla. En esta investigación se descubrió que mediante la adición de fibras se tiene en la mezcla una mejor

redistribución de esfuerzos, que además las fibras arman las mezclas confiriéndole mayor cohesión y tenacidad gracias a su elasticidad, resultando combinaciones más flexibles con una mayor resistencia al impacto y a los efectos abrasivos del tráfico.

Así mismo, Corona A. y Milady J., en su trabajo de grado titulado ‘**Diseño de mezclas asfálticas polimerizadas**’. Realizado en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto Venezuela, 2001. El presente trabajo está enmarcado en la modalidad de campo con carácter documental y experimental. El estudio está orientado a producir mezclas asfálticas en caliente polimerizadas que cumplan con las especificaciones para ser utilizadas en pavimentación. Los ensayos se realizaron siguiendo criterios establecidos en trabajos anteriores y a través del método Marshall. Se determinó que con uno (1.0%) por ciento de polímetro, la mezcla presenta un considerable aumento de estabilidad manteniéndose dentro de los rangos establecidos por las especificaciones y otras propiedades. Sin embargo, lo concerniente a flujo, resulto por debajo de lo especificado, lo cual amerita estudios posteriores para tener suficientes datos estadísticos.

Igualmente, Reyes J. y Troncoso J., en su trabajo de grado titulado ‘**Comportamiento mecánico y dinámico de una mezcla asfáltica con adición de fibras**’. Realizado en la Facultad de Ingeniería Universidad Militar Nueva Granada Bogotá D.C Colombia, 2005. El artículo refiere el análisis experimental en el laboratorio, del efecto de la adición de fibras de polipropileno por vía seca (reemplazo de material granular por fibra) sobre las propiedades mecánicas y dinámicas de una mezcla. Los resultados muestran un efecto positivo de las fibras en la modificación de la mezcla asfáltica. El modulo dinámico aumenta en un 45% promedio en un porcentaje de adición de 0.60%; la deformación permanente disminuye en 27.6% para una adición de fibras de 0.60% y 48.8% para la adición de fibras de 0.75%, respectivamente. Este comportamiento refleja otra alternativa eficaz para mejorar la mezcla asfáltica, aumentando la resistencia a la disgregación por efecto abrasivo del tráfico y retardando el inicio y propagación del agrietamiento por ahuellamiento.

Finalmente, Francisco F., en su trabajo de grado titulado “**Analizar las ventajas y desventajas en el uso de asfalto modificado con diversos polímeros como alternativa para la construcción y conservación de carreteras**”, Realizado en la Universidad José Antonio Páez, Valencia Venezuela. 2011. El propósito de la presente investigación fue analizar las ventajas y desventajas del uso de asfaltos modificados con diversos polímeros como alternativa para la construcción y conservación de carreteras. La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. La investigación se enmarca dentro del proyecto de investigación científica de tipo descriptivo y bajo la modalidad y diseño bibliográfico. Se realizó la recolección de datos mediante la indagación de documentos bibliográficos. Finalmente, la propuesta tiene como objetivo presentar información acerca de las ventajas y desventajas del uso del material asfáltico modificado para una mayor durabilidad de las carreteras, las cuales ocupan un lugar muy importante dentro de la infraestructura debido a que contribuyen al desarrollo del país.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Asfaltos

La norma internacional American Society for Testing and Materials ASTM define el asfalto como “un material cementante de coloración marrón a negra, de consistencia sólida o semisólida, cuya constitución principal son bitúmenes que existen en forma natural o se obtienen por procesamiento de petróleo”. Desde épocas muy antiguas el asfalto ha sido empleado como combustible, material de construcción y medicina, entre otros. La palabra Asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiría, en las orillas del Tigris superior, entre los años 1400 y 600 A.C. De aquí la palabra "Sphalto" que significa "lo que hace caer". Los antiguos egipcios lo usaron como material impermeabilizante, así como también para otras aplicaciones como el relleno del cuerpo en trabajos de momificación usando el betún, práctica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 A.C. (4). El betún natural fue descubierto por Cristóbal Colón a mediados del siglo XVI, en la Isla de Trinidad. Posteriormente, Sir

Walter Raleigh tomó posesión del Lago de Betún para la Corona Británica. Fue después de 1870 que se comenzó el uso del asfalto natural en Estados Unidos para la formación de carreteras. La aparición de Venezuela en este campo fue a finales del siglo XIX, después de descubiertas las grandes reservas de crudo en el país. Ya en 1873 el Gobierno le otorga a H. R. Hamilton y a J. A. Philips la concesión para explotar el gran Lago de Asfalto Natural de Guanoco, ubicado en el Estado Sucre (4). A partir de aquí, comenzó la explotación del asfalto en Venezuela, siendo hoy en día un gran exportador de esta materia prima.

2.2.1.1 Composición del asfalto

- **Química**

El asfalto está compuesto por una combinación de hidrocarburos, lo que le da sus propiedades y comportamiento característico. Los componentes principales son el carbono y el hidrógeno, teniendo en menor medida azufre y pequeñas trazas de oxígeno, nitrógeno y metales como el vanadio y el níquel (1) (5). Si el asfalto se coloca en un solvente no polar como el pentano, hexano o heptano, es posible dividir este elemento en dos grandes mezclas complejas. La fracción insoluble son los asfáltenos y estos le dan al asfalto su color y dureza (similar a un polvo grueso de grafito). Por otro lado está el grupo soluble denominado máltenos; estos son líquidos viscosos compuestos de resinas, parafinas y aromáticos que le dan las cualidades adhesivas (pegajosidad) y de aceites que sirven como medio de transporte de estos elementos. De aquí, la clasificación cromatografía llamada SARA (saturados, aromáticos, resinas y asfáltenos).

La proporción de asfáltenos y máltenos puede variar dentro de la composición y actualmente no se tiene ninguna prueba de la estructura que toman estos elementos en el asfalto, debido principalmente a que la composición química y su comportamiento final es todavía incierto. Sin embargo, se tienen dos consideraciones principales. Uno de los modelos fue descrito por primera vez por Nellensteyn en 1924 y mejorado posteriormente por Pfeirffer en 1940. Ellos

explican que el asfalto es una mezcla coloidal compuesta por dos fases miscelares; una primera fase dispersa en donde se encuentran los asfáltenos y otra fase continua donde están los máltenos.

Toda esta descripción se basó en el hecho de que el asfalto presenta exudación de aceites y se comporta como un fluido no-newtoniano. Dentro de este sistema, los máltenos tienen la función de homogeneizar el sistema mientras que los asfáltenos le van quitando la propiedad no newtoniana a medida que aumenta su proporción.

El segundo modelo plantea que el asfalto está constituido por una sola fase que se basa en una mezcla de gran cantidad de moléculas polares y no polares que forman agrupaciones y redes dispersas por el asfalto. Estas uniones son enlaces débiles como fuerzas de Van Der Waals y puentes de hidrógeno. Las propiedades elásticas las da la parte polar del sistema que forman una red y la no polar da las características viscosas al asfalto.

- **Física**

La razón por la que el asfalto sea el principal material de uso en la construcción de carreteras es su gran versatilidad, siendo las características de mayor importancia las descritas a continuación.

- Durabilidad: Esta propiedad se determina ya en el uso final del asfalto, indica qué tanto puede mantener un asfalto las propiedades originales.
- Adhesión y Cohesión: Es la capacidad que tiene el asfalto de cumplir su función de unión de los agregados en la mezcla de pavimentación. Al usar el asfalto en carreteras, es de gran importancia que se produzca una cohesión efectiva de los agregados y lograr que éstos se mantengan firmes sin cambiar de posición.
- Susceptibilidad a la temperatura: En general todos los asfaltos presentan un gran cambio en su viscosidad con el cambio de temperatura, es decir, volverse más fluidos o blandos con el aumento de la temperatura. Esta

sensibilidad varía entre asfaltos de diferente origen, aún si tienen el mismo grado de consistencia.

- Endurecimiento y envejecimiento: El asfalto sufre un proceso muy importante llamado oxidación que produce un endurecimiento en el mismo a medida que es expuesto al aire.

No todos los asfaltos sufren el mismo grado de endurecimiento con el tiempo, depende de la composición que cada tipo de asfalto.

2.2.1.2 Proceso de fabricación

Existen dos principales procesos para la obtención del asfalto, descritos a continuación.

- **Refinación del petróleo**

Para generar el asfalto es necesario destilar el crudo de petróleo, a medida que se va agregando calor al crudo, diferentes fracciones son separadas.

Inicialmente se produce la destilación simple donde los componentes livianos son separados hasta llegar a una temperatura de 350°C. Posteriormente se genera un vacío para lograr aumentar más la temperatura del sistema y lograr que las sustancias más pesadas puedan ser separadas. En este proceso se puede lograr una temperatura de hasta 480°C.

- **Refinación del asfalto**

Dependiendo del uso que se le dé al asfalto se necesitan características determinadas, por esto es posible mezclar varios tipos de crudos de petróleo para lograr ciertos requisitos finales. Al lograr la mezcla, es posible combinar diferentes características de varios tipos de asfaltos. Finalmente el proceso de obtención final del asfalto se puede producir por medio de la destilación al vacío y la extracción de solventes. También es posible realizar la mezcla con el asfalto ya producido para generar características intermedias. Posterior a la obtención del asfalto virgen, es posible realizar una serie de procesos que permiten producir varios tipos de asfaltos

modificados, dependiendo de las propiedades buscadas y el empleo final del mismo.

2.2.1.3 Características del asfalto

El asfalto tiene lo que es llamado un comportamiento visco elástico. Presentando a bajas temperaturas características de un material elástico y a altas temperaturas propiedades de un material viscoso.

Una de las características más destacadas de estos ligantes asfálticos es la capacidad de cambio de su consistencia con la temperatura. Este efecto es un factor muy importante durante su procesamiento y uso. Por este motivo, se usa una serie de factores para medir empíricamente esta propiedad. El índice de penetración es una; se basa en determinar a una temperatura dada, la penetración que tiene el asfalto. Otro factor determinante en el comportamiento del asfalto es el tiempo, cuando el tiempo y la temperatura varían se puede obtener comportamientos del flujo variables. Un ejemplo muy común es el observar el mismo comportamiento del flujo de un asfalto a 60°C a una hora que a 25°C en 10 horas.

Otra característica importante del asfalto es la capacidad de reacción con el oxígeno, para producir la oxidación en su estructura. Este proceso produce un endurecimiento del asfalto y le da una mayor fragilidad. La oxidación se produce de manera más acelerada a altas temperaturas; es por este motivo que durante el procesamiento, el material sufre un cambio llamado endurecimiento por oxidación.

2.2.1.4 Ensayos de caracterización

- **Diseño Marshall**

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, ex Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi. El Ensaño Marshall, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple. Dicho cuerpo de ingenieros decidió adoptar el método Marshall, y desarrollarlo y

adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del Ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas. El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento. El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación. El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2.5in) de espesor por 103mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas. A continuación, se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el diseño Marshall.

- **Preparación para Efectuar los Procedimiento Marshall AASHTO T 245**

Diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar

un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez efectuado lo anterior, se procede con la preparación de los ensayos.

- **Selección de las Muestras de Material**

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final. Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

- **Preparación del Agregado**

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas del mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

- **Secado del Agregado**

El Método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos. Una muestra de cada agregado a ser ensayado se

coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a temperatura de 110 ° C (230 ° F). Después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa, y se registra su valor. La muestra se calienta por segunda vez, y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

- **Análisis Granulométrico por Vía Húmeda**

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas. El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

- Cada muestra de agregado es secada y pesada.
- Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.
- Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
- El peso seco de cada muestra es registrada. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.

- **Determinación del Peso Específico**

El peso específico de una sustancia es la proporción peso-volumen de una unidad de esta sustancia comparada con la proporción peso-volumen de una unidad igual de agua. El peso específico de una muestra de agregado es

determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). Por ejemplo, una muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5. El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones agregadas, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

- **Preparación de las Muestras de Ensayo**

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas esta formulada por los resultados del análisis granulométrico. Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

- El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla.
- Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50, ó 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo

diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

- **Procedimiento del Ensayo**

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall:

Determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

- Determinación del Peso Específico Total (AASHTO T 166)

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.

- Ensayos de Estabilidad y Fluencia

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla. El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60 ° C (140 ° F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).

- La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 50.8 mm (2 in) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.
- La carga falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

○ **Valor de Estabilidad Marshall**

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. Luego se suspende la carga una vez que se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el Valor de Estabilidad Marshall. Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor. Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

○ **Valor de Fluencia Marshall**

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fuertemente bajo las cargas del tránsito. Análisis de Densidad y Vacíos Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie

de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

2.2.2 Base y sub-base

Según Olivera (1994), aunque las bases y las sub - bases tienen características semejantes, las sub - bases son de menor calidad. La sub-base es la capa de material que se construye directamente sobre la terracería y sus funciones son:

- Reducir el costo de pavimento disminuyendo el espesor de la base.
- Proteger a la base aislándola de la terracería, ya que, si el material de la terracería se introduce en la base, puede sufrir cambios volumétricos generados al cambiar las condiciones de humedad dando como resultado una disminución en la resistencia de la base.
- Proteger a la base impidiendo que el agua suba por capilaridad.
- Transmitir y distribuir las cargas a las terracerías. La base es la capa de material que se construye sobre la sub-base. Los materiales con los que se construye deben de ser de mejor calidad que los de la sub-base, según Olivera (1994) las funciones de la base son:
 - Tener la resistencia estructural para soportar las presiones transmitidas por los vehículos.
 - Tener el espesor suficiente para que pueda resistir las presiones transmitidas a la sub-base.
 - Aunque exista humedad la base no debe de presentar cambios volumétricos perjudiciales.

Para construir bases y sub-bases, es necesario (Olivera, 1994):

- Realizar una exploración de la zona para elegir los bancos.
- Analizar la calidad de los materiales que se encontraron.
- Extraer y acarrear los materiales.
- Hacer tratamientos previos como el cribado, la trituración y en algunos casos estabilizar.

- Después de los tratamientos previos, es necesario que se acarreen a la obra y se les de un tratamiento que incluye estabilizaciones mecánicas, disgregado y mezclado con moto conformadora para homogenizar el material.
- Compactar el material para que alcance 95% ó 100% del P.V.S.M.
- Por último, se da un riego de impregnación. Este se aplica después de dejar secar la base durante varios días. Se aplica el riego distribuyendo el asfalto. El riego sirve para tener una zona de transición entre la base y la carpeta asfáltica. El asfalto debe penetrar en la base mínimo 3 mm.

2.2.3 Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica es la parte superior de un pavimento flexible. Es una capa de material pétreo cementado con asfalto que se coloca sobre la base. Olivera (1994) cita que los materiales pétreos son suelos inertes que se consiguen en ríos, arroyos o depósitos naturales. Para poder ser empleados en la carpeta asfáltica deben cumplir con ciertas características dadas por la granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto. El contenido óptimo de asfalto para una carpeta, es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con un espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad. Se recomienda que las partículas que se utilicen tengan forma esférica, ya que las que son en forma de laja o de aguja pueden romperse muy fácilmente y afectar la granulometría. Las funciones de la carpeta asfáltica son las siguientes (Olivera, 1994):

- Proporcionar una superficie de rodamiento que permita un tránsito fácil y cómodo para los vehículos.
- Impedir la infiltración de agua de lluvia hacia las capas inferiores.
- Resistir la acción de los vehículos.

- **Cemento asfáltico**

El asfalto, llamado cemento asfáltico, es el último residuo de la destilación del petróleo. A temperaturas normales, es sólido y posee un color café oscuro. Para poder mezclarlo con los materiales pétreos, éste debe tener una temperatura de 140 °C (Olivera, 1994).

- **Carpetas asfálticas**

Antes de explicar los diferentes tipos de carpetas asfálticas, es importante saber que para construir cualquiera de ellas, se debe contar con una base debidamente conformada, compactada, impregnada y seca. (Olivera, 1994)

2.2.4 Fallas en pavimentos flexibles

Según Rico y Del Castillo (1984), la tecnología que se ha desarrollado para pavimentos, tiene como meta evitar deterioros y fallas. Se han logrado establecer relaciones de causa - efecto, para desarrollar normas de criterio de proyecto y conservación. En pavimentos, la palabra falla se utiliza tanto para verdaderos colapsos como deterioros simples. El concepto de deterioro o falla está asociado al nivel de servicio que depende de la exigencia del consumidor. Una falla es algo que se aparta de lo que se consideró perfecto. Las fallas de los pavimentos pueden dividirse en tres grupos:

- **Falla por insuficiencia estructural**

Pavimentos contruidos con material inapropiado en cuanto a resistencia. Se pueden utilizar materiales con buena calidad pero espesores insuficientes. Esta falla se produce por la combinación de la resistencia al esfuerzo cortante de cada capa y sus espesores.

- **Falla por defectos constructivos**

Pavimentos bien proporcionados y con materiales de buena calidad pero que en su construcción se cometieron errores.

- **Falla por fatiga**

Pavimentos que originalmente estuvieron bien proporcionados y contruidos, con el paso del tiempo y la continua repetición de cargas sufren efectos de fatiga, degradación estructural, pérdida de resistencia y acumulan deformaciones. Aparte de estos tres grupos, también se agrupan por su origen, es decir, por el modo en que suceden y se manifiestan. Se separan en tres nuevos grupos que son: por fracturamiento, por deformación y por desintegración. Se relacionan con el efecto del tránsito, las características y estructuración del pavimento y el apoyo que proporciona la terracería.

Las fallas por insuficiencia estructural, defecto constructivo o fatiga pueden ser a fin de cuentas causadas por el fracturamiento, la deformación y la desintegración (Rico y Del Castillo, 1984).

- **Fallas comunes en los pavimentos**

Existen distintas fallas comunes en los pavimentos, entre ellas, se encuentra el agrietamiento en “piel de cocodrilo”, deformación permanente en la superficie del pavimento, fallas por cortante, agrietamiento longitudinal, consolidación del terreno de cimentación.

- **Agrietamiento en “Piel de cocodrilo”**

Es un agrietamiento que se extiende sobre toda la superficie de rodamiento. Se da por el movimiento excesivo de una o más capas del pavimento o por fatiga de la carpeta. Es común en pavimentos contruidos en terracerías. Es típico de bases débiles o insuficientemente compactadas. Puede formarse en lugares donde existe el congelamiento o en lugares que se requiere subdrenaje. Este fenómeno puede ser progresivo generando la destrucción del pavimento, que comienza por desprenderse de la carpeta y la remoción de los materiales granulares expuestos. Es importante estudiar la causa, ya que si es por fatiga el progreso es muy lento, en cambio si es por deficiencia estructural o por exceso de agua el progreso es muy rápido.

- **Deformación permanente en la superficie del pavimento**

De acuerdo con Rico y Del Castillo (1984), la deformación permanente en la superficie del pavimento está asociada al aumento de compacidad en las capas de base o sub - base, debida a cargas excesivas, cargas repetidas o rotura de granos. También puede darse por consolidación en la sub-rasante. Por lo general, el ancho del surco es mayor al ancho de una llanta.

- **Fallas por cortante**

Se debe a la falta de resistencia al esfuerzo cortante de la base o sub-base. En rara ocasión por falta de resistencia en la sub-rasante. Generalmente se hacen surcos profundos y bien marcados cuyo ancho no excede al de una llanta (Rico y Del Castillo, 1984).

- **Agrietamiento longitudinal**

Grietas longitudinales de una abertura aproximada de 0.5 cm. en el área de circulación de las cargas más pesadas. Se deben a movimientos en las capas del pavimento en dirección horizontal. Este fenómeno, se da en la base, en la sub-base y con regularidad en la sub-rasante. El fenómeno se da por congelamiento, deshielo o por cambios volumétricos en la variación de agua en la sub-rasante.

- **Consolidación del terreno de cimentación**

La consolidación del terreno de cimentación produce distorsión del pavimento independientemente de los espesores o de su condición estructural. Se pueden producir agrietamientos longitudinales y agrietamientos con trayectoria circular.

2.2.5 Polipropileno

El polipropileno (PP) es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Pertenece al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos.

2.2.5 Fibras de Polipropileno

La fibra de polipropileno es un aditivo de reforzamiento que se le añade al, concreto, mejorando así, la calidad de construcciones ya que de modo permeable ayuda a que el agua no dañe al concreto y sufra fisuras por la humedad ya que reduce que se agriete y fracturen las grandes construcciones.

Esta fibra de polipropileno está compuesta de material 100% virgen y cuenta con una forma de monofilamentos que reducen las grietas en el concreto, pues ésta actúa como un refuerzo tridimensional en el concreto para disipar los esfuerzos dentro de su masa, reduciendo los agrietamientos por contracción plástica en estado fresco, y los agrietamientos por temperatura en estado endurecido y también reduce la segregación de los materiales y la filtración de agua.

2.3 Definiciones y términos básicos

Pavimentos Flexibles: Pavimentos flexibles se denominan los que la estructura total del pavimento se deflecta o flexiona, un pavimento flexible se adapta a las cargas.

Este tipo de pavimentos son de amplio uso en zonas de tráfico.

Tránsito Vehicular: El tránsito vehicular o automovilístico (también llamado tráfico vehicular, o simplemente tráfico) es el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una vía, calle o autopista. Se presenta también con muchas similitudes en otros fenómenos como el flujo de partículas (líquidos, gases o sólidos) y el de peatones.

Deterioro: Es la acción y efecto de deteriorar o deteriorarse (empeorar, estropear, degenerar o poner en inferior condición algo). El deterioro está asociado a la decadencia y puede referirse a las personas, las cosas o hasta entidades abstractas.

Grieta: Es una hendidura alargada que se produce en un cuerpo sólido. Dicha abertura o fisura tiene lugar cuando se separan dos materiales.

Tracción: En el cálculo de estructuras e ingeniería se denomina tracción al esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.

Agregados: También denominados áridos, inertes o conglomerados son fragmentos o granos que constituyen entre un 70% y 85% del peso de la mezcla, cuyas finalidades

específicas son abaratar los costos de la mezcla y dotarla de ciertas características favorables dependiendo de la obra que se quiera ejecutar.

Agregado fino: Es aquel que pasa el cedazo o tamiz 3/8 y es retenido en el cedazo número 200.

Agregado grueso: Es aquel que pasa el cedazo o tamiz 3 y es retenido el cedazo número 4.

Granulometría: Consiste en la distribución del tamaño de los granos. La gradación del material juega un papel muy importante en su uso como componente del concreto ya que afecta la calidad del material.

Vía: Camino por donde se transita.

Autopista: Pista de circulación para automóviles y vehículos terrestres de carga (categóricamente los vehículos de motor) y de pasajeros.

Falla: Fractura en el terreno a lo largo de la cual hubo movimiento de uno de los lados respecto del otro.

Adherencia: Unión física que resulta de haberse pegado una cosa con otra.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

El presente se considera una investigación de un proyecto tipo experimental, debido a que este somete al objeto de estudio a cambios para observar los efectos que ocurren sobre el mismo, destinada atender necesidades específicas.

El autor (Fidias G. Arias (2012)), define:” La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”.

El Manual de Tesis de Grado, (2003), plantea: “Consiste en la investigación, elaboración y desarrollo de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos necesidades de organizaciones o grupos sociales que pueden referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos, o procesos. El proyecto debe tener el apoyo de una investigación de tipo documental, y de campo, o un diseño que incluya ambas modalidades”

Del mismo modo, Arias, (2006), señala: “Que se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización”. En fin, todas las anteriores coinciden en que los proyectos experimentales consisten en someter a un objeto a determinadas condiciones, a través de la investigación, elaboración y desarrollo de un modelo práctico para resolver un problema determinado.

3.2 Nivel de investigación

Con relación al nivel de investigación del presente trabajo, esta se sitúa entre los parámetros de la investigación explicativa, ya que se encarga de buscar una solución a los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.

El autor (Fidias G. Arias (2012)), define: “La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto”. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto), como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos. (pag.26)

3.3 Población y muestra

El término población se refiere a “es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación”. (Arias, 2006, p. 81), la población estaría representada por la mezcla asfáltica convencional.

Y el concepto de muestra que “es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible.” (Arias, 2006, p. 83), la muestra sería representada por las briquetas realizadas con la mezcla alternativa, para una cantidad de cemento asfáltico y agregados ideales para la misma.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el presente trabajo se utilizará como instrumento de recolección de datos, la observación, comparación y clasificación, mediante los estudios pertinentes para la evaluación de una mezcla asfáltica apta para el uso de la población. Luego se compararán el asfalto ordinario con el asfalto modificado con fibras de polipropileno para después tener resultados, ventajas y desventajas.

Las técnicas de recolección de datos, según Hurtado (2000 pp427), son los procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar cumplimiento a su objetivo de investigación. Según Ander-Egg (1995), la técnica responde a cómo hacer, para alcanzar un fin o hechos propuestos, pero se sitúa a nivel de los hechos o etapas prácticas, tiene un carácter práctico y operativo. Un instrumento de recolección de datos es cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos la información; es el

recurso que utiliza el investigador para registrar información o datos sobre las variables que tiene en mente. El instrumento sintetiza toda la labor previa de investigación, resumen los aportes del marco teórico al seleccionar datos que correspondan a los indicadores, y por tanto a la variable o conceptos utilizados (Hernández y otros, 2003).

3.5 Fases metodológicas

A continuación, se describen por medio de fases, el procedimiento seguido para el cumplimiento de los objetivos específicos planteados en el Capítulo I de este trabajo, a través de los cuales se alcanzó el objetivo general de investigación propuesto.

- **Fase I: Estimar la cantidad óptima de agregados para obtener una mezcla asfáltica COVENIN tipo IV.**

Se realizarán ensayos granulométricos a los distintos agregados (piedra, arena y polvillo) y así realizar una combinación óptima para mezclas asfálticas COVENIN tipo IV.

- **Fase II: Elaborar briquetas tipo Marshall con mezcla asfáltica COVENIN tipo IV convencional.**

En esta fase, se va a realizar y ensayar distintas mezclas asfálticas COVENIN tipo IV con el fin de determinar el porcentaje de cemento asfáltico y así determinar la cantidad ideal para la misma.

- **Fase III: Elaborar briquetas tipo Marshall con mezcla asfáltica COVENIN tipo IV incorporando fibras de polipropileno Toc Fibra 500.**

Ya determinado un porcentaje ideal de cemento asfáltico para la mezcla, se procede a realizar una mezcla ideal con refuerzo de fibras de polipropileno.

- **Fase IV: Elaborar ensayos comparativos de las propiedades Marshall entre ambas mezclas asfálticas.**

Ya obtenidas las mezclas con y sin fibras, se realizarán los ensayos correspondientes para determinar las propiedades Marshall de dichas mezclas.

- **Fase V: Evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla al incorporar las fibras.**

Con los resultados obtenidos en el objetivo anterior, se procederá a realizar una evaluación sobre el comportamiento de las propiedades mecánicas de dichas mezclas, con el fin de hacer un análisis comparativo entre los dos tipos de mezclas asfálticas estudiadas.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se presenta y describe, el análisis y resultados obtenidos, en el mismo orden que se plantearon los objetivos específicos.

4.1 Fase I: Estimar la cantidad óptima de agregados para obtener una mezcla asfáltica COVENIN tipo IV.

Para estimar la cantidad óptima de agregados para obtener una mezcla asfáltica COVENIN tipo IV, los materiales utilizados fueron piedra, polvillo y arena, extraídos de las canteras Aslaca, Maco-Maco y Vaciabre respectivamente. Posteriormente, a estas muestras se le realizó un estudio granulométrico con el fin de obtener la gradación apropiada dentro de los límites establecidos por la norma para el tipo de mezcla estudiada.

Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

- Cada muestra de agregado es secada y pesada.
- Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.
- Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado.

- El peso seco de cada muestra es registrada. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.
- Se tamizan las muestras colocando los tamices de manera organizada de más grueso a el más fino, 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #8, #30, #50, #100, #200.
- Se construye una tabla granulométrica, y se calculan los porcentajes retenidos y pasantes de cada muestra.

Tabla 1. Tabla de ensayo granulométrico de piedra N°1 proveniente de Aslaca

ENSAYO DE GRANULOMETRIA							
OBRA:	DISEÑO MEZCLA TIPO: IV COVENIN						
FECHA	13/10/215						
MUESTRA				MUESTRA			
PIEDRA N°1				PIEDRA N°1			
TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	% QUE PASA	% RETENIDO ACUMULADO	PESO RETENIDO ACUMULADO	TAMIZ
1"	0.0	0.00	100.00	100.00	0.00	0	1"
3/4"	17.1	1.64	98.36	98.84	1.16	15.4	3/4"
1/2"	592.8	56.87	43.13	30.72	69.28	917.8	1/2"
3/8"	1003.0	96.22	3.78	2.10	97.90	1297.0	3/8"
N° 4	1020.2	97.87	2.13	1.04	98.96	1311.0	N° 4
N° 8	1022.5	98.09	1.91	0.99	99.01	1311.7	N° 8
N° 30	1024.6	98.29	1.71	0.88	99.12	1313.1	N° 30
N° 50	1026.0	98.43	1.57	0.83	99.17	1313.8	N° 50
N° 100	1028.0	98.62	1.38	0.73	99.27	1315.1	N° 100
N° 200	1031.0	98.91	1.09	0.61	99.39	1316.7	N° 200
Peso Agregado		1042.4		Peso Agregado		1324.8	

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Tabla 2. Tabla de ensayo granulométrico de polvillo proveniente de Maco-Maco

ENSAYO DE GRANULOMETRIA							
OBRA:	DISEÑO MEZCLA TIPO: IV COVENIN						
FECHA:	13/10/215						
MUESTRA				MUESTRA			
POLVILLO				POLVILLO			
TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	% QUE PASA	% RETENIDO ACUMULADO	PESO RETENIDO ACUMULADO	TAMIZ
1"	0	0.00	100.00	100.00	0.00	0	1"
3/4"	0	0.00	100.00	100.00	0.00	0	3/4"
1/2"	17	2.36	97.64	96.24	3.76	33	1/2"
3/8"	46	6.28	93.72	91.76	8.24	71	3/8"
N° 4	171	23.15	76.85	75.29	24.71	214	N° 4
N° 8	323	43.77	56.23	56.30	43.70	379	N° 8
N° 30	493	66.95	33.05	35.06	64.94	563	N° 30
N° 50	564	76.57	23.43	26.88	73.12	634	N° 50
N° 100	622	84.42	15.58	20.05	79.95	693	N° 100
N° 200	666	90.36	9.64	14.39	85.61	742	N° 200
Peso Agregado		737		Peso Agregado		867	

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Tabla 3. Tabla de ensayo granulométrico de arena proveniente de Vaciabte, San Diego.

ENSAYO DE GRANULOMETRIA							
OBRA:	DISEÑO MEZCLA TIPO:IV COVENIN						
FECHA	13/10/215						
MUESTRA				MUESTRA			
ARENA				ARENA			
TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	% QUE PASA	% RETENIDO ACUMULADO	PESO RETENIDO ACUMULADO	TAMIZ
1"	0	0.00	100.00	100.00	0.00	0	1"
3/4"	0	0.00	100.00	100.00	0.00	0	3/4"
1/2"	11	1.95	98.05	99.62	0.38	2.3	1/2"
3/8"	25	4.49	95.51	98.96	1.04	6	3/8"
N° 4	80	14.50	85.50	91.87	8.13	49	N° 4
N° 8	179	32.68	67.32	75.75	24.25	147	N° 8
N° 30	354	64.49	35.51	40.57	59.43	359	N° 30
N° 50	433	79.04	20.96	24.25	75.75	458	N° 50
N° 100	484	88.25	11.75	13.23	86.77	524	N° 100
N° 200	511	93.27	6.73	7.22	92.78	561	N° 200
Peso Agregado		548		Peso Agregado		604	

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Para lograr la combinación granulométrica se tiene que estudiar el porcentaje pasante de cada tamiz de cada material, para esto hay unos rangos normativos para la mezcla COVENIN tipo IV, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. Tabla combinación granulométrica, con promedios granulométricos de las muestras.

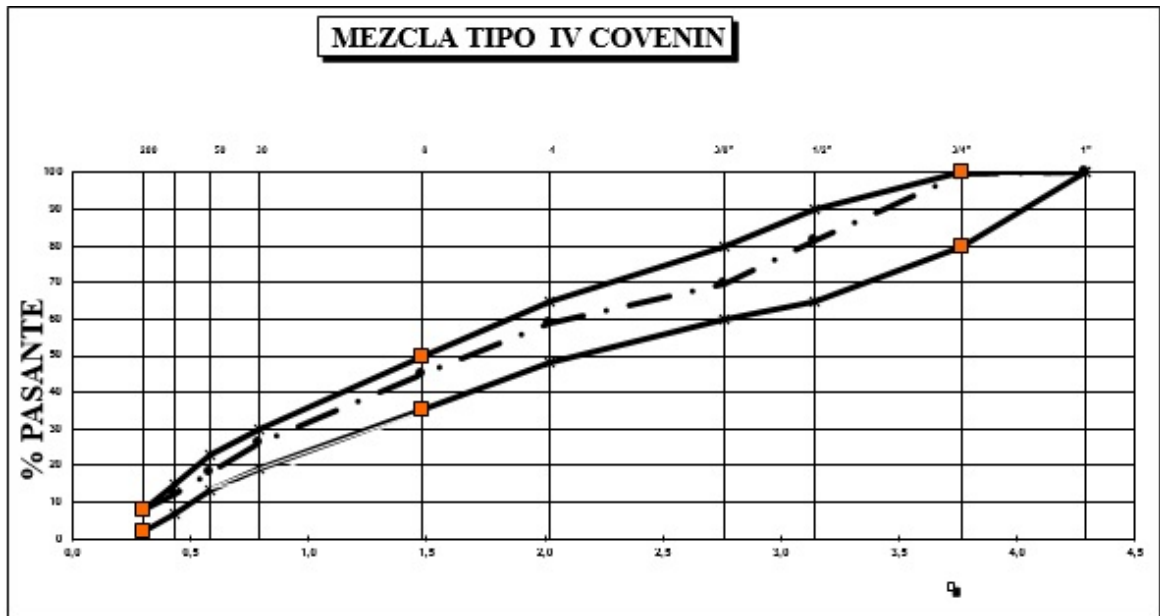
COMBINACION GRANULOMETRICA											
OBRA:	DISEÑO MEZCLA TIPO: IV COVENIN										
MATERIAL	PORCENTAJE PASANTE DEL TAMIZ INDICADO										
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#30	#50	#100	#200	
PIEDRA N°1	100.00	98.36	43.13	3.78	2.13	1.91	1.71	1.57	1.38	1.09	
	100.00	98.84	30.72	2.10	1.04	0.99	0.88	0.83	0.73	0.61	
PROMEDIO	100.0	98.6	36.9	2.9	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	0.9	
MATERIAL	PORCENTAJE PASANTE DEL TAMIZ INDICADO										
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#30	#50	#100	#200	
POLVILLO	100.00	100.00	97.6	93.7	76.85	56.23	33.05	23.4	15.58	9.64	
	100.00	100.00	96.2	91.8	75.29	56.30	35.06	26.88	20.05	14.39	
PROMEDIO	100.0	100	97	93	76.1	56.3	34.1	25.2	17.8	12.0	
MATERIAL	PORCENTAJE PASANTE DEL TAMIZ INDICADO										
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#30	#50	#100	#200	
ARENA	100.00	100.00	98.05	95.51	85.50	67.32	35.51	20.96	11.75	6.73	
	100.00	100.00	99.62	98.96	91.87	75.75	40.57	24.25	13.23	7.22	
PROMEDIO	100.0	100.0	98.8	97.2	88.7	71.5	38.0	22.6	12.5	7.0	
PROMEDIO											
PIEDRA 1"	27	27.0	26.6	10.0	0.8	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2
ARROCILLO	50	50.0	50.0	48.5	46.4	38.0	28.1	17.0	12.6	8.9	6.0
ARENA	23	23.0	23.0	23.0	22.4	20.4	16.5	8.7	5.2	2.9	1.6
MEZCLA	100	100.0	99.6	81.4	69.5	58.9	45.0	26.1	18.1	12.1	7.8
ESPECIFICACIONES	100	80/100	65/90	60-80	48-65	35/50	19/30	13/23	7/15	2-8	

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

A continuación, se muestra una gráfica con los porcentajes límites para los agregados según COVENIN para el diseño de la mezcla tipo IV.

Figura 1. Porcentajes Límites de agregados de la Mezcla COVENIN tipo

IV



Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Para finalizar el ensayo granulométrico, se realizó el estudio de pesos específicos de los materiales, el cual se representará en las siguientes tablas.

Tabla 5. Tabla de Ensayos de pesos específicos de los agregados.

ENSAYO DE DE PESO ESPECÍFICO							
AGREGADO		PIEDRA N°1		POLVILLO		ARENA	
IDENTIFICACIÓN ENVASE		A	B	C	D	E	F
A	PESO MUESTRA SSS EN AIRE	421.10	422.40	104.90	100.40	62.50	63.40
B	PESO EN AGUA	263.45	264.38	65.02	62.24	38.76	39.33
C	PESO SECO EN AGUA	415.7	417.03	103.50	99.02	61.20	62.1
D	AGUA ABSORBIDA	5.4	5.37	1.4	1.4	1.3	1.3
E	% ABSORCIÓN	1.30	1.29	1.35	1.39	2.12	2.09
F	VOLUMEN DE MUESTRA	157.65	158.02	39.88	38.16	23.74	24.07
G	VOLUMEN SECO	152.25	152.65	38.5	36.78	22.4	22.77
H	PESO ESPECÍFICO BULK	2.637	2.639	2.595	2.595	2.578	2.580
I	PESO ESPECÍFICO SSS	2.671	2.673	2.630	2.631	2.633	2.634
J	PESO ESPECÍFICO APARENTE	2.730	2.732	2.690	2.692	2.727	2.727
K	TEMPERATURA DE ENSAYO °c	23	23	23	23	23	23
L	FACTOR PARA REFERIR ENSAYO A 23°C	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
M	PESO ESPEC. BULK A 23°C	2.637	2.639	2.595	2.595	2.578	2.580
N	PESO ESPEC. SSS A 23°C	2.671	2.673	2.630	2.631	2.633	2.634
Ñ	PESO ESPEC. APARENTE A 23°C	2.730	2.732	2.690	2.692	2.727	2.727
PESO ESPECÍFICO BULK		2.638		2.595		2.579	
PESO ESPECÍFICO SSS		2.672		2.631		2.633	
PESO ESPECÍFICO APARENTE		2.731		2.691		2.727	
% DE ABSORCION		1.29		1.37		2.11	

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Tabla 6. Tabla promedio de pesos específicos de los materiales, distribuidos con las proporciones utilizadas para la mezcla asfáltica.

PESO ESPECÍFICO PROMEDIO DE LOS AGREGADOS					
AGREGADOS	PARTICIPAC.	PESO ESPECÍFICO		PESO ESPEC. PROMEDIO	
	%	BULK	APARENTE	BULK	APARENTE
PIEDRA N°1	27.0	2.638	2.731	2.603	2.710
POLVILLO	50.0	2.595	2.691		
ARENA	23.0	2.579	2.727		

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

4.2 Fase II: Elaborar briquetas tipo Marshall con mezcla asfáltica COVENIN tipo IV convencional.

Para la ejecución de las briquetas, fue necesario determinar el porcentaje de cemento asfáltico óptimo a incorporar en la mezcla asfáltica, evaluando para este fin un rango de porcentajes comprendidos desde 4.0% a 6.0% con un incremento de 0.5%.

Las briquetas se prepararon de la siguiente manera:

- El asfalto y el agregado se calentaron y mezclados completamente hasta que todas las partículas de agregado fueron revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- La mezcla asfáltica caliente se colocó en moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usó el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla.
- Las briquetas fueron compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo fue de 75 golpes debido a que fue diseñada para alto volumen de tránsito. Ambas caras de cada briqueta recibieron el mismo número de golpes. Después de completar la compactación las briquetas fueron enfriadas y extraídas de los moldes Marshall.

Para la elaboración de las briquetas con las propiedades Marshall se utilizó la norma en el Anexo 15, Norma ASTM-1559 Método Marshall.

Una vez ya realizadas las briquetas, se procedió a pesarlas en aire, en agua, y en aire (sss), para luego determinar el volumen y la densidad de las mismas utilizando las siguientes formulas:

$$\text{Volumen} = \text{peso en aire (sss)} - \text{peso sumergido}$$

$$\text{Densidad} = \text{peso en aire/volumen}$$

Se determinó el porcentaje de agregados minerales utilizando la siguiente formula:

$$\begin{aligned} & \% \text{vacios en el agregado mineral} \\ & = \frac{\{(100 - \% \text{cemento asfaltico}) * \text{densidad}\}}{P. \text{Especifico Bulk}} \end{aligned}$$

Se calculó el porcentaje de vacíos totales utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{vacios totales} = \frac{(\text{Rice} - \text{Densidad})}{\text{Rice}} * 100$$

Se determinó el porcentaje de vacíos llenados de la siguiente formula:

%Vacios Llenados

$$= \left(\frac{\% \text{Vacios en el agregado mineral} - \% \text{vacios totales}}{\% \text{Vacios en el agregado mineral}} \right) * 100$$

Se determinó la estabilidad y el flujo mediante a la prensa Marshall.

Obteniendo así los siguientes resultados:

Tabla 7. Propiedades Marshall para la obtención de la cantidad óptima de cemento asfáltico.

PROPIEDADES MARSHALL DE LA MEZCLA														
METODO MARSHALL E-301 AASTHO T-245 ASTM D-1559														
DISEÑO MEZCLA TIPO COVENIN IV											JORN.			
TIPO DE MEZCLA : IV											FECHA :		13/10/2015	
N°	PEB =		PEA =		2.710		PEE =		2.725		Estabilidad en Lbs			Flujo
	Peso en Aire (gr)	Peso Saturado (gr)	Peso Agua (gr)	Volumen (cm3)	Densidad Briqueta (gr/cm3)	Cemento Asfáltico %	Ensayo Rice	Totales Mezcla	% Vacíos Agregado Mineral	Llenados Asfalto	Medidas	Factor	Corregida	
Briq	A	B	C	VOL	D	EX	E	VT	VAM	VLL	F	G	H	1/100"
	Ensayo			B-C	A/VOL	Ensayo		Ver Formulas			Ensayo	Ver Diagr	F x G	
1	1205.2	1206.9	675.0	531.9	2.266	4.0	2.537	11.1	16.8	34.0	3014	1.00	3014	9
2	1208.6	1210.8	673.9	536.9	2.251						1200	1.00	1200	9
3	1225.4	1225.6	681.0	544.6	2.250						3800	1.00	3800	9
					2.256								2671	9
4	1201.7	1204.2	692.0	512.2	2.346	4.5	2.518	6.6	13.7	52.1	3323	1.00	3323	11
5	1219.2	1221.0	700.4	520.6	2.342						3107	1.00	3107	11
6	1212.8	1213.8	702.0	511.8	2.370						3000	1.00	3000	11
					2.353								3143	11
7	1231.8	1232.9	712.6	520.3	2.367	5.0	2.497	4.9	13.3	63.2	3800	1.00	3800	13
8	1227.2	1228.8	713.0	515.8	2.379						3640	1.00	3640	13
9	1228.6	1230.1	713.3	516.8	2.377						3600	1.00	3600	14
					2.375								3680	13
10	1230.5	1230.8	716.4	514.4	2.392	5.5	2.480	3.9	13.4	71.2	3500	1.00	3500	14
11	1231.8	1232.2	715.2	517.0	2.383						3800	1.00	3800	14
12	1234.8	1235.2	715.8	519.4	2.377						3800	1.00	3800	13
					2.384								3700	14
13	1235.2	1235.6	717.5	518.1	2.384	6.0	2.462	3.3	14.0	76.7	3768	1.00	3768	15
14	1233.0	1233.9	714.7	519.2	2.375						3700	1.00	3700	16
15	1237.5	1237.6	718.8	518.8	2.385						3612	1.00	3612	16
					2.381								3693	16

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

El porcentaje óptimo de cemento asfáltico se determinó de la siguiente manera:

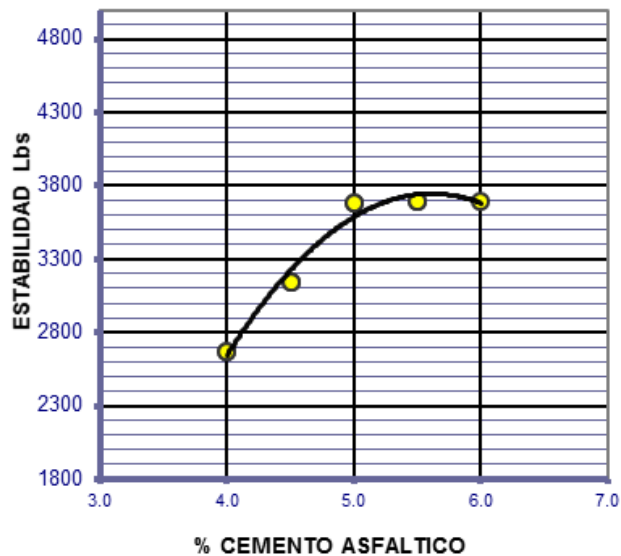
- En la curva de Estabilidad-%Cemento Asfáltico, se seleccionó el porcentaje de cemento asfáltico correspondiente al máximo valor de Estabilidad, en este caso, se tomó el 5,5% de cemento asfáltico.
- En la curva de Densidad-%Cemento Asfáltico, se seleccionó el porcentaje de cemento asfáltico correspondiente al máximo valor de Densidad, para este paso, se tomó el 5,0% de cemento asfáltico.
- En la curva %Vacíos totales-%Cemento Asfáltico, se seleccionó el porcentaje de cemento asfáltico correspondiente al punto medio de las especificaciones

aplicables en cuanto al contenido de vacíos totales que deberá tener la mezcla, en este caso, se tomó como 4,0% el punto medio de las especificaciones aplicables en cuanto al contenido de vacíos totales, y así, dando como porcentaje de cemento asfáltico 5,2%.

- Se promedió aritméticamente estos tres valores anteriores, dando como resultado 5,2% de cemento asfáltico.
- Con este porcentaje óptimo probable, se leyeron los correspondientes valores para cada una de las seis propiedades evaluadas en el diseño Marshall, y así, verificar que todos los valores estuvieran dentro de los valores viables de dichas propiedades.

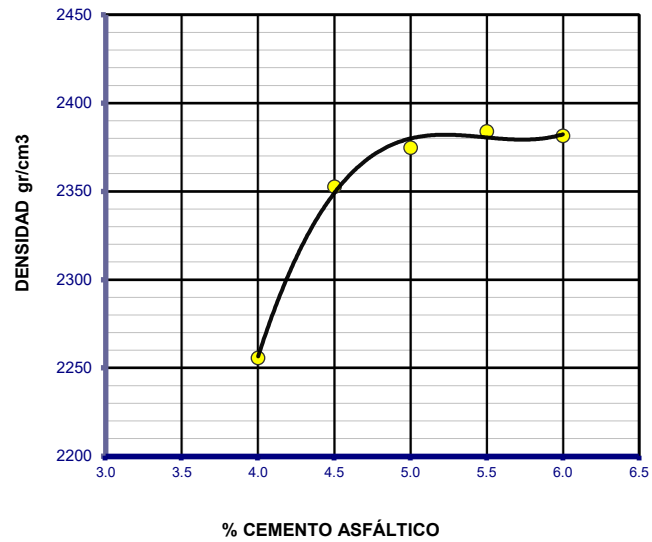
A continuación, ensayos de la mezcla asfáltica realizada para la cantidad de cemento asfáltico ideal.

Figura 2. Gráfica, estabilidad Marshall-porcentaje de cemento asfáltico.



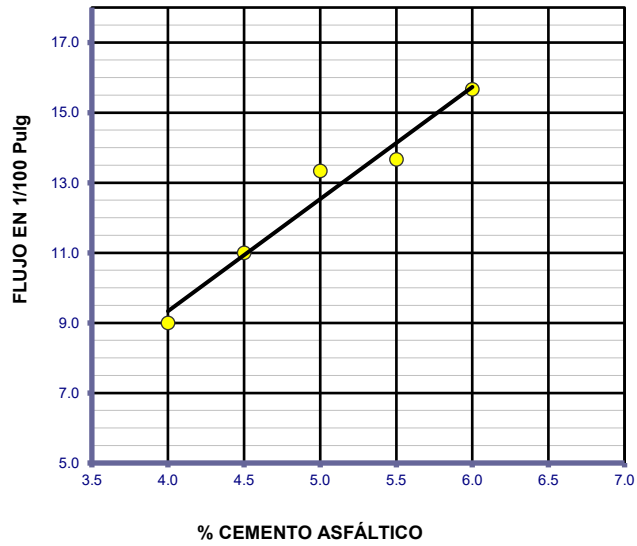
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 3. Gráfica, densidad-porcentaje de cemento asfáltico.



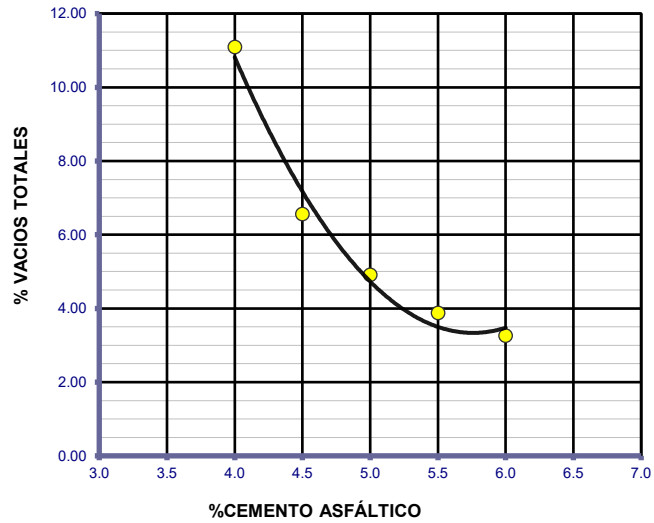
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 4. Gráfica, flujo Marshall-porcentaje de cemento asfáltico.



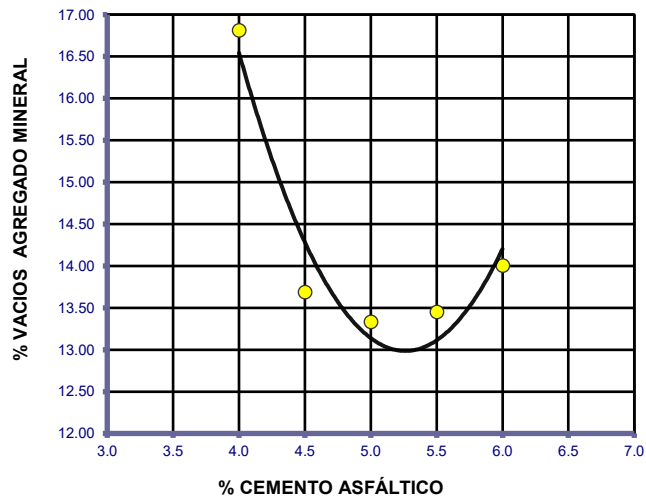
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 5. Gráfica, porcentaje de vacíos totales-porcentaje de cemento asfáltico.



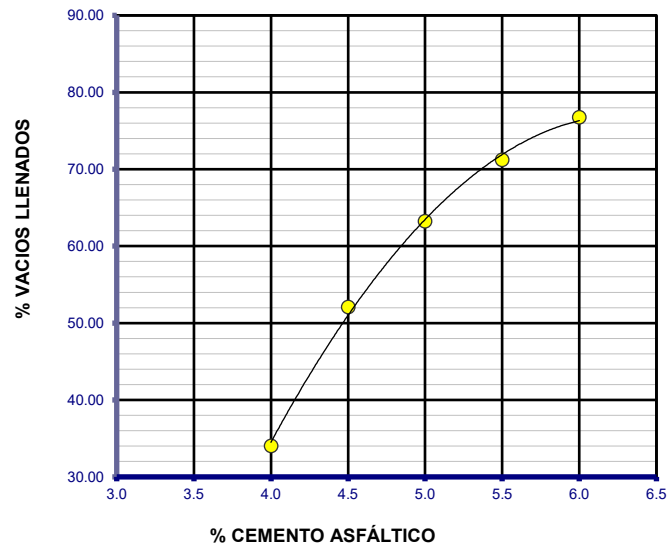
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 6. Gráfica, porcentaje de vacíos agregado mineral-porcentaje de cemento asfáltico.



Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 7. Gráfica, porcentaje de vacíos llenados-porcentaje de cemento asfáltico.



Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Tabla 8. Resumen de propiedades Marshall para la obtención de la cantidad óptima de cemento asfáltico.

ENSAYOS DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE TIPO IV, METODO MARSHALL AASHTO T-245											
% CEMENTO ASFALT.	PROPIEDADES MARSHALL DE LA MEZCLA						% OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO	RICE	OBT.		EXIG.
	ESTAB. Lbs	DENS. gr/cm3	FLUJO X 0.01"	% V.T.	% VAM	% VLL			Estabilidad Lb	3700	≥ 2200
4.0	2,671	2.256	9	11.1	16.8	34	5.23	2.537	Flujo x 0.01 Pulg	13	10-14
4.5	3,143	2.353	11	6.6	13.7	52		2.518	Vacios Totales %	4.0	2.8-4.2
5.0	3,680	2.375	13	4.9	13.3	63		2.497	V.A.M. %	13.1	≥ 13
5.5	3,700	2.384	14	3.9	13.4	71		2.480	Vacios LI. %	67.9	65-75
6.0	3,693	2.381	16	3.3	14.0	77		2.462	Filer / Bitumen		

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Una vez obtenido la cantidad óptima de cemento asfáltico, se procedió a realizar las briquetas con el contenido de asfalto óptimo y realizarle los respectivos ensayos Marshall para evaluar las propiedades de la mezcla óptima.

Tabla 9. Ensayo de briquetas con la cantidad óptima de cemento asfáltico.

METODO MARSHALL E-301 AASTHO T-245 ASTM D-1559														
DISEÑO MEZCLA TIPO COVENIN IV											JORN.			
TIPO DE MEZCLA : IV											FECHA :		13/10/2015	
PEB =		2.603			PEA =		2.710	PEE =		2.725				
Peso en	Peso	Peso	Volumen	Densidad	Cemento	Asfáltico	Ensayo	Totales	Agregado	Llenados	Estabilidad en Lbs			
Aire	Saturado	Agua	(cm3)	Briqueta	%	Rice	Mezcla	Mineral	Asfalto	Medidas	Factor	Corregida		
(gr)	(gr)	(gr)		(gr/cm3)										
N°	A	B	C	VOL	D	EX	E	VT	VAM	VLL	F	G	H	Flujo
Briq	Ensayo			B-C		A/VOL		Ensayo			Ver Formulas			1/100**
16	1231.2	1231.9	714.3	517.6	2.379						3765	1.00	3765	14
17	1229.5	1230.5	713.8	516.7	2.380	5.2	2.484	4.0	13.1	67.9	3700	1.00	3700	13
18	1231.7	1232.7	714.5	518.2	2.377						3635	1.00	3635	13
				2.378									3700	13

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

4.3 Fase III: Elaborar briquetas tipo Marshall con mezcla asfáltica COVENIN tipo IV incorporando fibras de polipropileno Toc Fibra 500.

Manteniendo la misma distribución de agregados, y el mismo porcentaje óptimo de cemento asfáltico obtenido en la fase anterior, se realizaron briquetas tipo Marshall incorporando las fibras de polipropileno Toc Fibra 500. Para evaluar la influencia de las fibras en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica se dosificó la misma en tres diferentes porcentajes, siendo esto 1.0%, 1.5% y 2.0%.

Verse en el anexo 1: características de las fibras de polipropileno Toc Fibra 500.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos:

Tabla 10. Ensayo de mezcla asfáltica COVENIN tipo IV, con porcentaje óptimo de cemento asfáltico e incorporación de fibra de polipropileno Toc Fibra 500.

Para el uso de las fibras de polipropileno Toc Fibra se realizaron las siguientes dosis:

- Para las Briquetas de 1,0% de fibras se realizó una mezcla asfáltica COVENIN tipo IV de 5kg a la cual se le agregó 50 g de Fibras de polipropileno Toc Fibra 500, eso equivale a 10 Kg en una tonelada de dicha mezcla.
- Para las Briquetas de 1,5% de fibras se realizó una mezcla asfáltica COVENIN tipo IV de 5kg a la cual se le agregó 75 g de Fibras de polipropileno Toc Fibra 500, eso equivale a 15 Kg en una tonelada de dicha mezcla.
- Para las Briquetas de 2,0% de fibras se realizó una mezcla asfáltica COVENIN tipo IV de 5kg a la cual se le agregó 100 g de Fibras de polipropileno Toc Fibra 500, eso equivale a 20 Kg en una tonelada de dicha mezcla.

PROPIEDADES MARSHALL DE LA MEZCLA																
METODO MARSHALL E-301 AASTHO T-245 ASTM D-1559																
DISEÑO MEZCLA TIPO COVENIN IV																
TIPO DE MEZCLA : IV										FECHA : 13/10/2015						
		PEB = 2.603		PEE = 2.710		PEA = 2.725										
Dosis de fibras (%)	N° Briq	Peso en Aire (gr)	Peso Saturado (gr)	Peso Agua (gr)	Volumen (cm3)	Densidad Briqueta (gr/cm3)	Cemento Asfáltico %	Ensayo Rice	% Vacíos			Estabilidad en Lbs				
		A	B	C	B-C	A/VOL	EX	E	Totales Mezcla	Agregado Mineral	Llenados Asfalto	Medidas	Factor	Corregida		
		Ensayo			Ensayo		Ver Formulas			Ensayo			Ver Diagr.		F x G	Flujo 1/100"
1.0	1	1228.3	1229.5	715.0	514.5	2.387	5.2	2.480	3.6	12.9	72.3	5150	1.00	5150	10	
	2	1208.6	1210.8	705.3	505.5	2.391						5125	1.00	5125	11	
	3	1218.5	1220.2	711.7	508.5	2.396						5100	1.00	5100	11	
						2.392										
1.5	4	1221.2	1221.9	711.4	510.5	2.392	5.2	2.481	3.5	12.8	72.7	5580	1.00	5580	10	
	5	1227.6	1228.4	715.2	513.2	2.392						5590	1.00	5590	10	
	6	1224.4	1225.2	714.8	510.4	2.399						5615	1.00	5615	11	
						2.394										
2.0	7	1183.6	1184.2	690.2	494.0	2.396	5.2	2.481	3.5	12.8	73.0	5600	1.00	5600	9	
	8	1192.1	1193.2	695.4	497.8	2.395						5500	1.00	5500	10	
	9	1187.9	1188.7	692.8	495.9	2.395						5550	1.00	5550	10	
						2.395										

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Para la obtención del porcentaje óptimo de fibras de polipropileno Toc Fibra 500 se evaluaron las siguientes gráficas, que es una comparación de porcentaje de fibra con cada una de las propiedades Marshall como lo indica la norma.

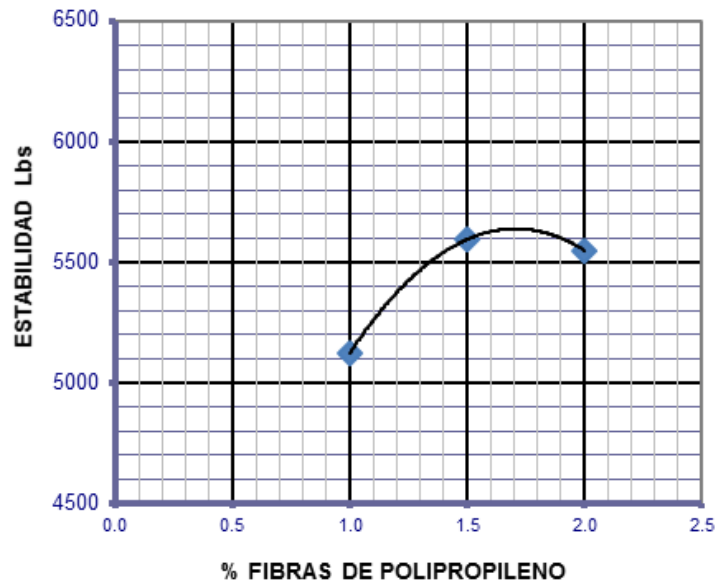
Tabla 11. Resumen de propiedades Marshall en mezcla asfáltica con la incorporación de fibra de polipropileno Toc Fibra 500.

% FIBRAS	% CEMENTO ASFALT.	PROPIEDADES MARSHALL DE LA MEZCLA						% OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO	RICE	OBT.		EXIG.
		ESTAB. Lbs	DENS. gr/cm3	FLUJO X 0.01"	% V.T.	% VAM	% VLL			Estabilidad Lb	3700	
1.0	5.2	5,125	2.392	11	3.6	12.9	72	5.23	2.480	Flujo x 0.01 Pulg	13	10-14
1.5	5.2	5,595	2.394	10	3.5	12.8	73		2.481	Vacios Totales %	4.0	2,8-4,2
2.0	5.2	5,550	2.395	10	3.5	12.8	73		2.481	V.A.M. %	14.2	≥ 13
										Vacios LI. %	67.9	65-75

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

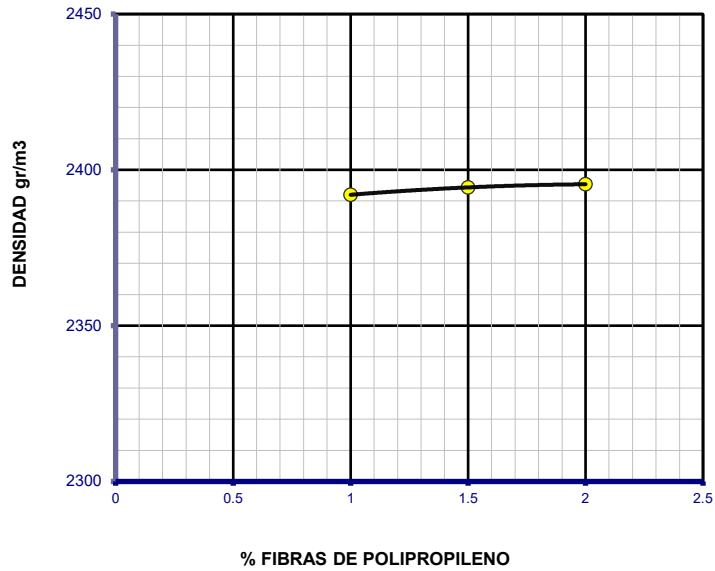
Para la obtención del porcentaje óptimo de fibras de polipropileno Toc Fibra 500 se evaluaron las siguientes gráficas, que es una comparación de porcentaje de fibra con cada una de las propiedades Marshall como lo indica la norma.

Figura 8. Gráfica, estabilidad-porcentaje de fibras.



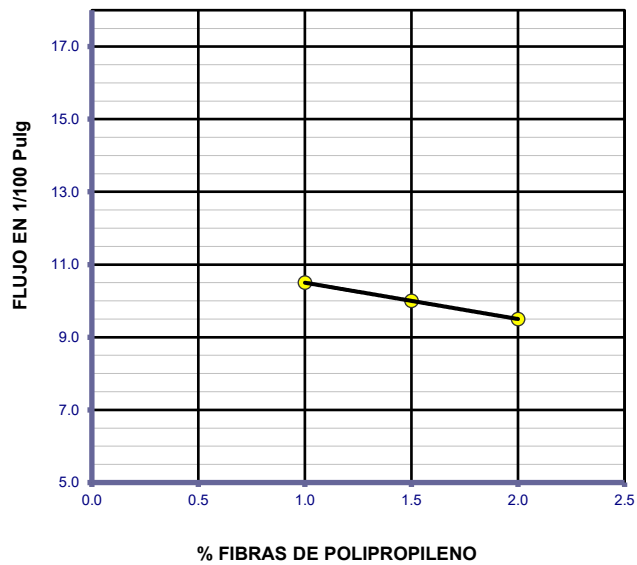
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 9. Gráfica, densidad-porcentaje de fibras.



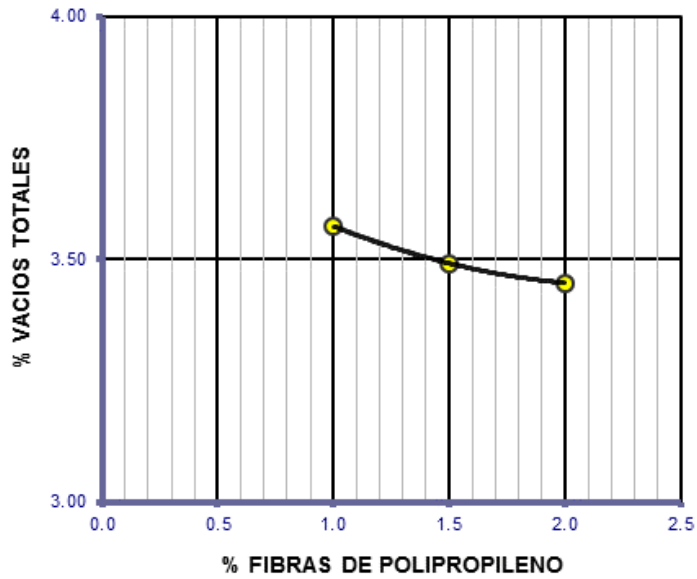
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 10. Gráfica, flujo Marshall-porcentaje de fibras.



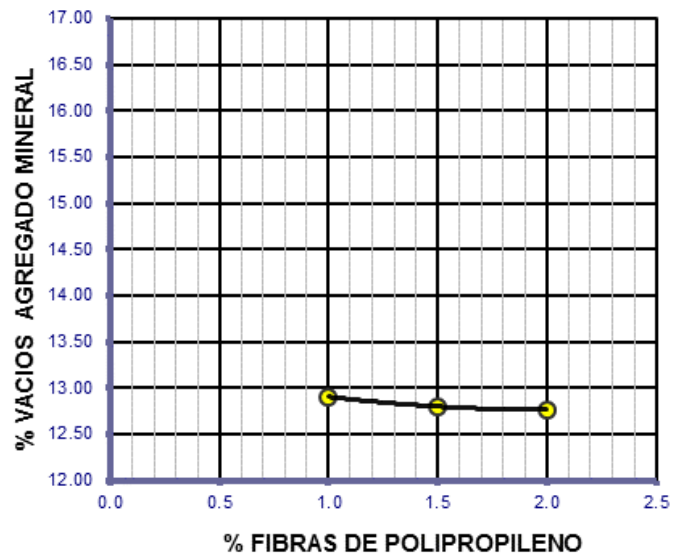
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 11. Gráfica, porcentaje de vacíos totales-porcentaje de fibras.



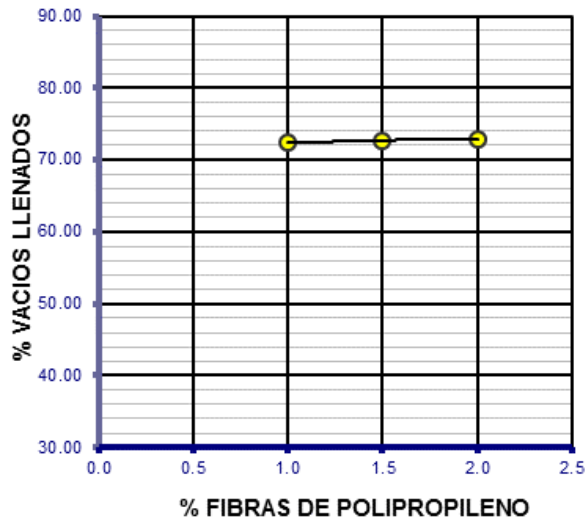
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 12. Gráfica, porcentaje de vacíos agregados minerales-porcentaje de fibras.



Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 13. Gráfica, porcentaje de vacíos agregados minerales-porcentaje de fibras.



Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

4.4 Fase IV: Elaborar ensayos comparativos de las propiedades Marshall entre ambas mezclas asfálticas.

Una vez obtenidas las briquetas Marshall con la mezcla de asfáltica COVENIN tipo IV y las briquetas Marshall de la mezcla asfáltica con la incorporación de las fibras de polipropileno Toc Fibra 500, se procedió a efectuar los ensayos de las propiedades mecánicas Marshall, para así realizar los ensayos comparativos entre la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica con la incorporación de la fibra de polipropileno antes mencionada. A continuación, se muestran tablas comparativas obtenidas como resultado de los ensayos:

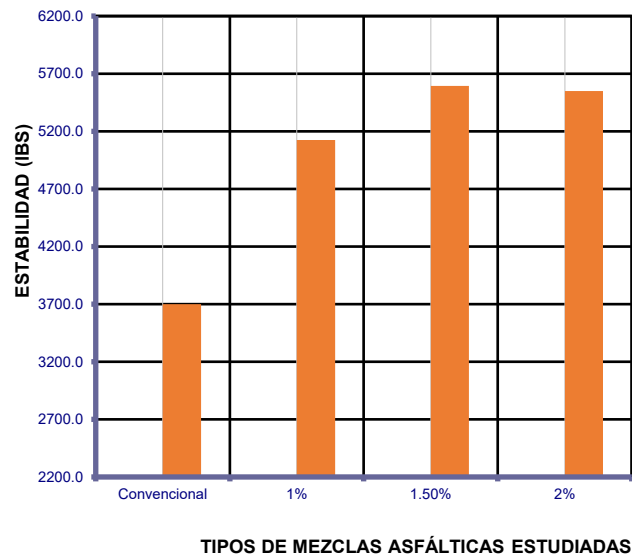
Tabla 12. Tabla comparativa entre la mezcla asfáltica convencional COVENIN tipo IV y la mezcla asfáltica con la incorporación de fibras de polipropileno.

TABLA COMPARATIVA ENTRE ASFALTOS				
PROPIEDADES	MEZCLA ASFALTICA SIN FIBRAS	MEZCLA ASFALTICA CON FIBRAS		
		1.0%	1.5%	2.0%
ESTABILIDAD (LIBRAS)	3700	5125	5595	5550
DENSIDAD (gr/cm ³)	2.378	2.392	2.394	2.395
FLUJO (x 0,01")	13	11	10	10
% VACIOS TOTALES	4	3.6	3.5	3.5
% VACIOS AGREGADO MINERAL	13.2	13.2	13.1	13.1
% VACIOS LLENADOS	67.9	73	73.4	73.6

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

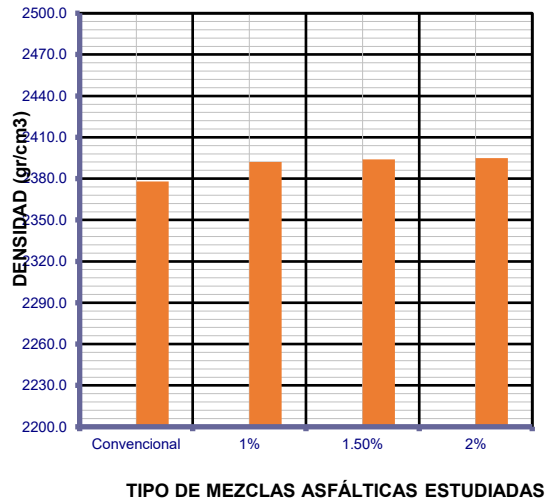
A continuación, tablas comparativas entre la mezcla asfáltica convencional y las mezclas asfálticas con la incorporación de fibras de polipropileno en todas las dosis estudiadas para todas las propiedades Marshall.

Figura 14. Gráfico comparativo de estabilidad Marshall-con las mezclas asfálticas estudiadas.



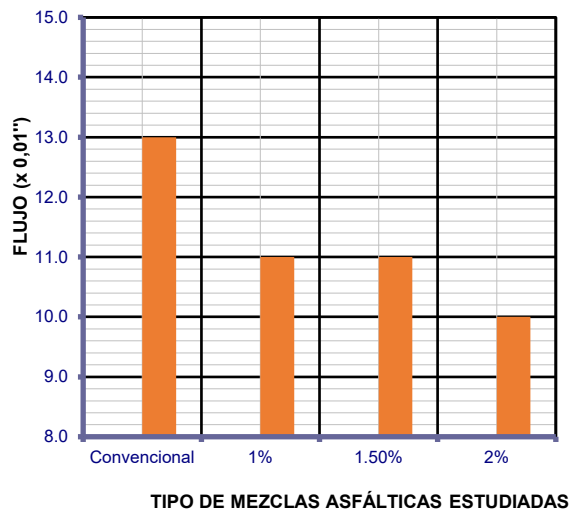
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 15. Gráfico comparativo de densidad-con las mezclas asfálticas estudiadas.



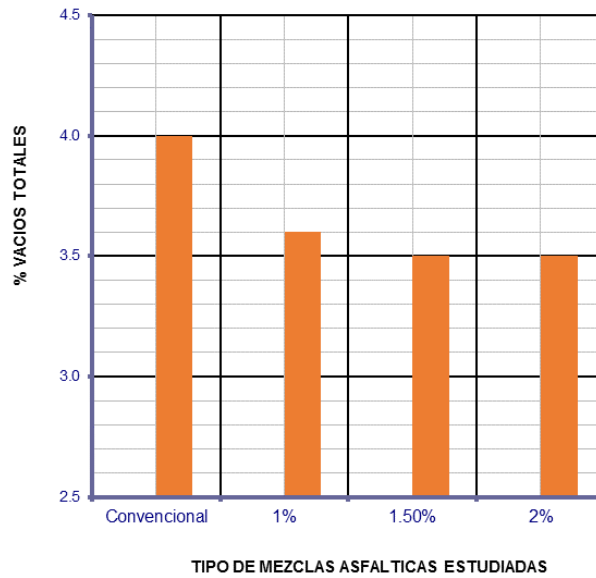
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 16. Gráfico comparativo de flujo Marshall-con las mezclas asfálticas estudiadas.



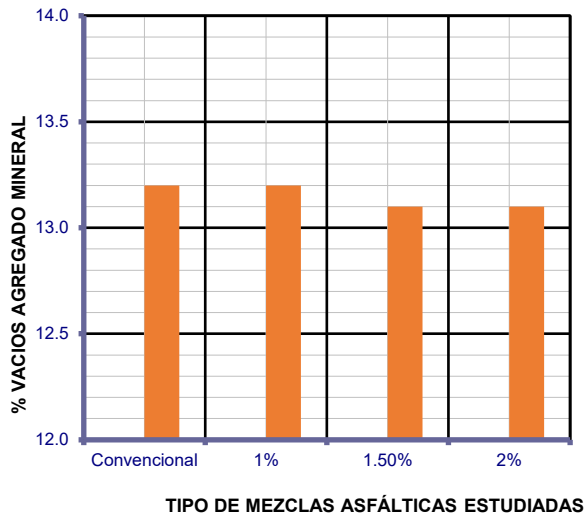
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 17. Gráfico comparativo de porcentaje de vacíos totales-con las mezclas asfálticas estudiadas.



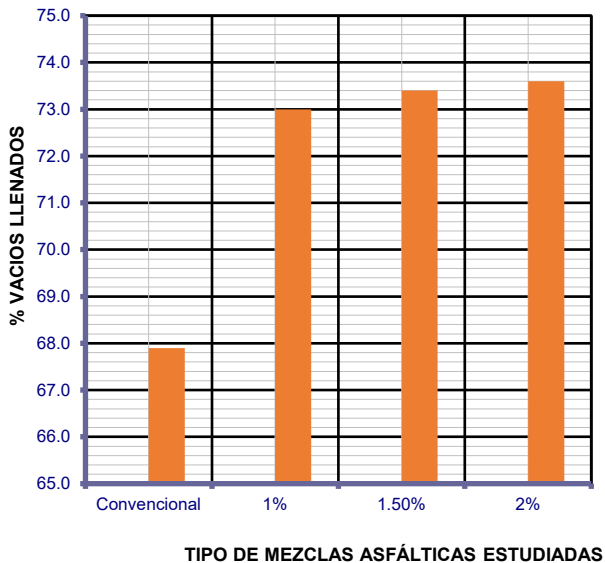
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 18. Gráfico comparativo de porcentaje de vacíos agregado mineral-con las mezclas asfálticas estudiadas.



Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 19. Gráfico comparativo de porcentaje de vacíos llenados-con las mezclas asfálticas estudiadas.



Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

4.5 Fase V: Evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla al incorporar las fibras.

Ya obtenido los resultados de los ensayos de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con fibra de polipropileno, procedimos a evaluar estas propiedades, para luego obtener conclusiones de si los resultados obtenidos son óptimos para tener un mejor comportamiento de la mezcla asfáltica. A continuación, tablas explicativas con los resultados evaluados del comportamiento de las propiedades Marshall expresado en porcentajes.

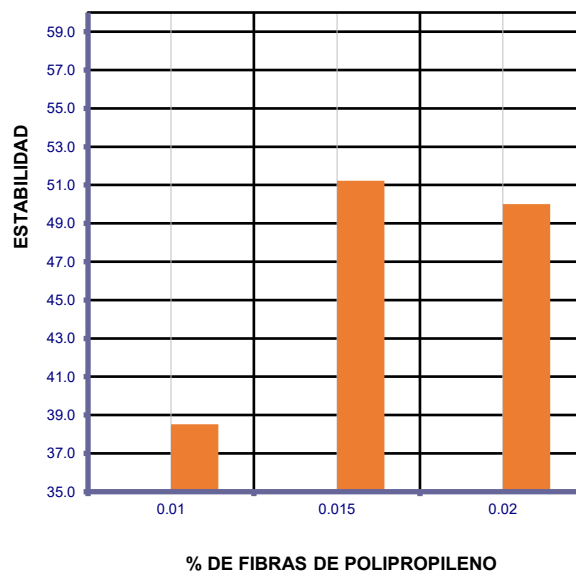
Tabla 13. Evaluación de comportamientos de propiedades Marshall expresado en porcentajes.

EVALUACION DE PROPIEDADES MECANICAS ENTRE ASFALTOS			
PROPIEDADES	DOSIS DE FIBRAS EN LA MEZCLA		
	1.00%	1.50%	2.00%
ESTABILIDAD (LIBRAS)	38.51	51.22	50.00
DENSIDAD (kg/cm ³)	0.59	0.67	0.71
FLUJO (x 0,01")	18.18	30.00	30.00
% VACIOS TOTALES	11.11	14.29	14.29
% VACIOS AGREGADO MINERAL	0.00	0.76	0.76
% VACIOS LLENADOS	7.51	8.10	8.39

Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

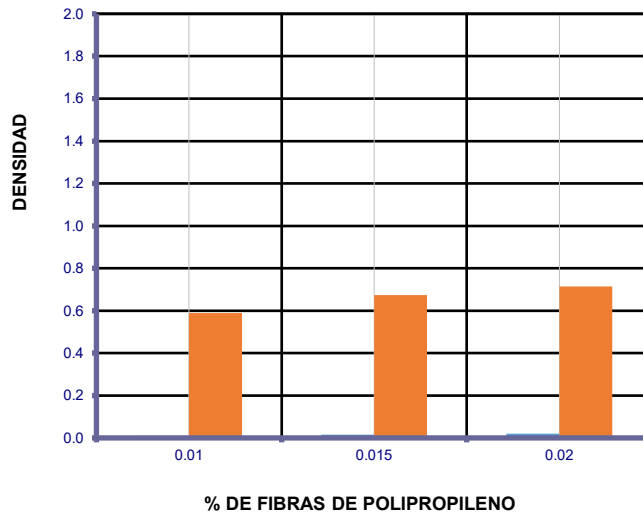
A continuación, gráficos comparativos de los comportamientos de las propiedades Marshall con cada dosificación de fibras en mezcla asfáltica expresado en porcentajes.

Figura 20. Gráfico comparativo de estabilidad Marshall-con las dosificaciones estudiadas para la mezcla asfáltica.



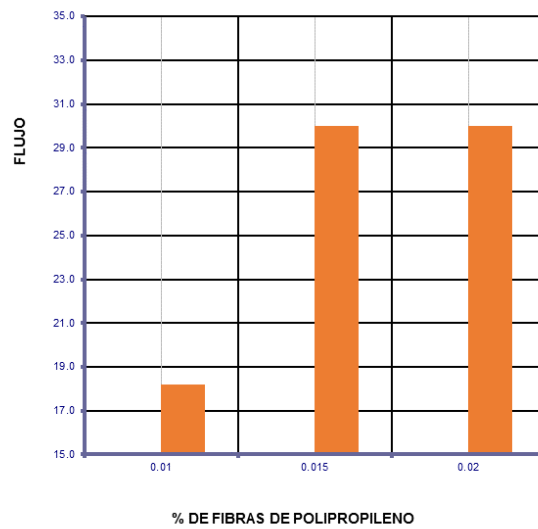
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 21. Gráfico comparativo de densidad-con las dosificaciones estudiadas para la mezcla asfáltica.



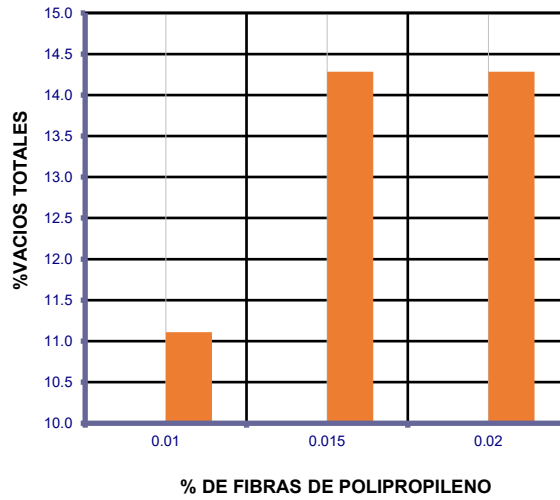
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 22. Gráfico comparativo de flujo Marshall-con las dosificaciones estudiadas para la mezcla asfáltica.



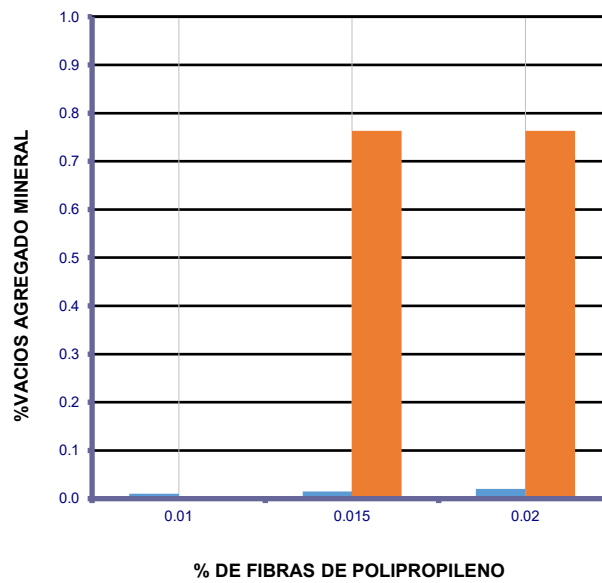
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 23. Gráfico comparativo de porcentaje de vacíos totales-con las dosificaciones estudiadas para la mezcla asfáltica.



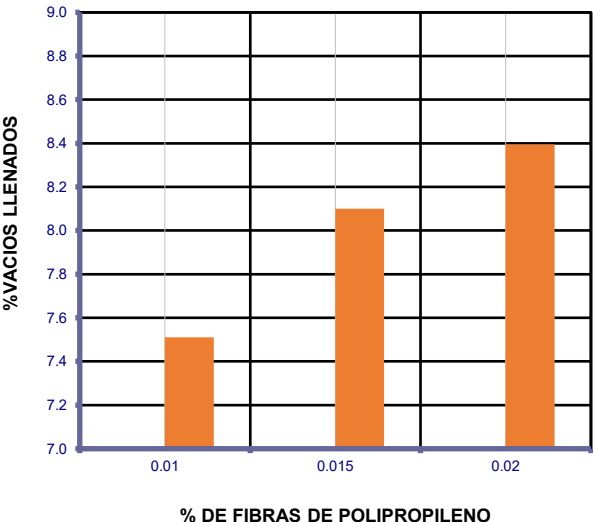
Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 24. Gráfico comparativo de porcentaje de vacíos agregado mineral-con las dosificaciones estudiadas para la mezcla asfáltica.



Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

Figura 25. Gráfico comparativo de porcentaje de vacíos llenados-con las dosificaciones estudiadas para la mezcla asfáltica.



Fuente: E. Ruiz y E. Silvestrini (2015)

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos, en el primer objetivo se obtuvieron las características y las cantidades ideales de los agregados cumpliendo con los parámetros granulométricos para el diseño de una mezcla asfáltica COVENIN tipo IV.

Con los ensayos realizados para la obtención de la cantidad óptima de cemento asfáltico se pudo determinar que la misma cumplía con todos los estándares normativos necesarios para una mezcla asfáltica COVENIN tipo IV.

Comparando los resultados entre ambas mezclas asfálticas, se puede concluir que a mayor dosis de fibras aumenta su estabilidad, densidad y porcentaje de vacíos llenados.

Comparando las diferentes dosificaciones, se concluye que la cantidad óptima para las características de los agregados empleados y cantidad de cemento asfáltico utilizada, es de 1.7% de fibras de polipropileno Toc Fibra 500.

Con la incorporación de dicha fibra ayuda a que la mezcla sea de mayor densidad, así lograr obtener menor cantidad de porcentaje de vacíos, mejorar la permeabilidad y evitar la infiltración para la base y sub-base.

RECOMENDACIONES

Realizar ensayos con mayor cantidad de briquetas y así poder hacer un análisis estadístico de la misma.

Realizar ensayos con distintas cantidades de cemento asfáltico, preferiblemente con menor dosis.

Ensayar la incorporación de fibras de polipropileno bajo otra normativa.

Realizar un estudio económico de las mezclas asfálticas con refuerzo de fibras de polipropileno Toc Fibra 500.

Realizar briquetas con menos dosificación de fibras de polipropileno Toc Fibra 500.

Evaluar mezclas asfálticas con distintos tipos de fibras de polímeros.

Realizar estudio de colocación de fibra Toc Fibra 500 al momento de colocación en campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso Montejo Fonseca. (2010). **Ingeniería de Pavimentos. 3ra Edición. Tomo I**
- Balestrini, A. (2006). **Metodología: diseño y desarrollo del proceso de Investigación.** España
- Carlos Crespo Villalaz (2000). **Vías de comunicación: Caminos, ferrocarriles, Aeropuertos, puentes y puertos.** 3ta Edición. Editorial Limusa, México D.F.
- Fidias G. Arias. **El Proyecto de Investigación.** 3ra edición (2006)
- Fidias G. Arias. **El Proyecto de Investigación.** 6ta edición (2012)
- Hugo Alexander Rondón Quintana. (2009). **Pavimentos, materiales, construcción y Diseño.**
- Hurtado de Barrera (2008) **Metodología de la investigación holística**
- OLIVERA, Fernando B. **Estructuración de las vías terrestres.** CECSA. México 1996. (Segunda Edición)
- Pablo Manuel Morales Camacho. (2011). **Construcción y Conservación de vías.**
- Rico, A. y del Castillo H. (1988). **La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres.** México. Ed. Limusa. Vol.1
- Hernández S. Roberto C, Fernández C. Carlos y Baptista L. Pilar, (1991). **Metodología de la investigación.** Naucalpan de Juárez.
- Mijares, Héctor y García, Luis (2007). **Normas para la Elaboración y Presentación de los Anteproyectos, Proyectos y Trabajos de Grado.** Valencia.
- Norma Venezolana COVENIN 255. **Agregados. Determinación de la Composición Granulométrica, (1998).** Caracas.
- Norma Venezolana COVENIN 268. **Agregado Fino. Determinación de la Densidad y la Absorción, (1998).** Caracas.
- Norma Venezolana COVENIN 269. **Agregado Grueso. Determinación de la Densidad y la Absorción, (1998).** Caracas.

Norma **INVEAS**, versión revisada diciembre 2004, Caracas.

Norma Venezolana COVENIN 2000:1987. **Sector construcción. Especificaciones. Codificaciones y mediciones. Parte 1: Carreteras.** Caracas

ANEXOS

A1. Propiedades de la fibra de polipropileno Toc Fibra 500.



Calle 20 C No. 43 A - 52 Int. 4
 PBX 2088600 Fax: 3680887 Bogotá D.C.
 E-mail: atencioncliente@toxement.com.co
 www.toxement.com.co

TOC FIBRA 500

Fibra de refuerzo secundario para concreto o mortero

TX40T106

DESCRIPCION

TOC FIBRA 500 es un refuerzo secundario de polipropileno fibrilado, para concreto o mortero.

INFORMACION TECNICA

CARACTERISTICAS FISICO QUIMICAS

Material 100% polipropileno virgen
 Gravedad específica : 0.91 G/m³ (ASTM D-1505)
 Índice de fluidez : 0.3 g/seg (ASTM D-1238)
 Punto de fusión : 166°C (300°F)
 Punto de ignición : 590°C (1.100°F)
 Absorción de agua a 20°C: Ninguna
 Corte de fibra : ¾, 1, 1½, 2½ pulgadas

Resistencia química a bases y agentes oxidantes : Inerte*
 Resistencia química a los ácidos y álcalis : Inerte*
 Resistencia al moho y Microorganismos : Buena*
 * En conformidad con la norma ASTM C-1116

CARACTERISTICAS MECANICAS

Módulo de elasticidad : 0.7 x 10⁶ psi.
 Resistencia a la tensión : 80 K.S.I.
 Resistencia a la tracción : 70.000 psi.
 Elongación hasta el rompimiento : 8% mínimo
 Resistencia a la abrasión : Buena
 Conductividad térmica y Eléctrica : Baja

USOS

Se utiliza como refuerzo secundario, en placas de concreto o morteros de recubrimiento, otorgando resistencia al movimiento por contracción térmica y de secado; al mezclarse al concreto o mortero en estado fresco, reduce la formación de grietas por retracción plástica. En caso de ocasionarse grietas en estado endurecido por fallas de estructura menores, minimiza el ancho de longitud de las mismas.

VENTAJAS

- El refuerzo se realiza de forma multidireccional.
- Mejora las resistencias mecánicas.
- Reduce grietas en estado plástico y endurecido.
- Reduce la permeabilidad.
- Aumenta la durabilidad.

- Es compatible con cualquier tratamiento de superficie.
- Puede ser adicionado en las plantas mezcladoras de concreto o directamente en el sitio de trabajo.
- Reduce la segregación.
- No es necesario realizar cambios en el diseño de la mezcla.

RENDIMIENTO

TOC FIBRA 500 se dosifica en cantidad de 1 kg/m³ de concreto o mortero preparado.

APLICACION

TOC FIBRA 500 se adiciona a la mezcla de concreto, junto con los agregados cuando se produce en planta de mezclado o directamente al concreto húmedo. En el primer caso basta con el tiempo de mezcla acostumbrado de la preparación del concreto; si se adiciona al concreto húmedo, es necesario mezclar entre 3 y 5 minutos adicionales.

RECOMENDACIONES ESPECIALES

- Utilice solamente la dosificación recomendada para evitar apelmazamientos.
- El asentamiento de la mezcla puede verse disminuido con la utilización de la fibra.
- **TOC FIBRA 500** no reemplaza el acero de refuerzo primario o refuerzo estructural.
- Deben tenerse en cuenta los tiempos de mezcla para optimizar la incorporación de la fibra en el concreto o mortero.
- De acuerdo al tamaño del agregado se recomienda un tamaño de fibra:

TAMAÑO DE AGREGADO EN PULGADAS	TAMAÑO DE LA FIBRA EN PULGADAS
Hasta 1"	¾
Mayor a 1"	1 ½

MANEJO Y ALMACENAMIENTO

TOC FIBRA 500 debe almacenarse en su envase original, herméticamente cerrado y bajo techo.

Vida útil en almacenamiento: 1 año.

A2. Agregados de la mezcla.



A3. Horno utilizado para secar los agregados.



A4. Calentamiento de agregados para mezclar con el cemento asfáltico.



A5. Martillo Marshall y molde Marshall 4'' utilizado.



A6. Temperatura con la cual se compactó la briqueta.



A7. Briquetas realizadas para determinar el porcentaje de cemento asfáltico ideal.



A8. Briquetas con 4.0% de cemento asfáltico.



A9. Briquetas con 5.0% de cemento asfáltico.



A10. Briquetas con 5.0% de cemento asfáltico.



A11. Briquetas sumergidas en agua a 60 °C.



A12. Prensa Marshall para la medición de estabilidad y flujo.



A13. Briquetas después de realizarle el ensayo de estabilidad y flujo.



A 14. Mezcla asfáltica incorporándole las fibras de polipropileno.



A 15. Norma ASTM-1559 Método Marshall

1.1.1 Diseño Marshall

El concepto del método Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall, ex-Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi.

El Ensaño Marshall, surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Varios métodos para el diseño y control de mezclas asfálticas fueron comparados y evaluados para desarrollar un método simple.

Dicho cuerpo de ingenieros decidió adoptar el método Marshall , y desarrollarlo y adaptarlo para diseño y control de mezclas de pavimento bituminoso en el campo, debido en parte a que el método utilizaba equipo portátil. A través de una extensa investigación de pruebas de tránsito, y de estudios de correlación, en el laboratorio, el Cuerpo de Ingenieros mejoró y agregó ciertos detalles al procedimiento del Ensayo Marshall, y posteriormente desarrolló criterios de diseño de mezclas.

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaños máximos de 25.0 mm o menos.

El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

El método Marshall usa muestras normalizadas de pruebas (probetas) de 64mm (2.5in) de espesor por 103mm (4in) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes tipos de asfaltos, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

A continuación, se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos en el diseño Marshall.

1.1.2 Preparación para Efectuar los Procedimiento Marshall AASHTOT245

Diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez efectuado lo anterior, se procede con la preparación de los ensayos.

1.1.3 Selección de las Muestras de Material

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

1.1.4 Preparación del Agregado

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas del mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

- Secado del Agregado

El Método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos. Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a temperatura de 110 ° C (230 ° F). Después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa, y se registra su valor. La muestra se calienta por segunda vez, y se vuelve a pesar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

- Análisis Granulométrico por Vía Húmeda

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas. El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

- 1) Cada muestra de agregado es secada y pesada.
- 2) Luego cada muestra es lavada a través de un tamiz de 0.075mm (No. 200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo el agregado.
- 3) Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
- 4) El peso seco de cada muestra es registrada. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.

- Determinación del Peso Específico

El peso específico de una sustancia es la proporción peso-volumen de una unidad de esta sustancia comparada con la proporción peso-volumen de una unidad igual de agua. El peso específico de una muestra de agregado es determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). Por ejemplo una muestra de agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5.

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones agregadas, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

1.1.5 Preparación de las Muestras de Ensayo

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas esta formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las mezclas se preparan de la siguiente manera:

- 1) El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- 2) Las mezclas asfálticas calientes se colocan en moldes pre-calentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de mezcla al golpearla.
- 3) Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo (35, 50, ó 75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada biqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

1.1.6 Procedimiento del Ensayo

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

1.1.7 Determinación del Peso Específico Total (AASHTO T 166)

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad-vacíos.

1.1.8 Ensayos de Estabilidad y Fluencia

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- 1) Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60 ° C (140 ° F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- 2) La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
- 3) La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 in) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.
- 4) La carga falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

1.1.9 Valor de Estabilidad Marshall

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. Luego se suspende la carga una vez que se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el Valor de Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

1.1.10 Valor de Fluencia Marshall

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación esta indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

Análisis de Densidad y Vacíos

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

Análisis de Vacíos

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado; o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T 209) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando las probetas en aire y agua.

Análisis de Peso Unitarios

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 100 kg/m³ (62.4 lb/ft³).

Análisis de VMA

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentran entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo del asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

Análisis VFA

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VFA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando el valor final como un porcentaje.

1.1.11 Relaciones y Observaciones de los Resultados de los Ensayos

Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla. A continuación se enuncian ciertas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas.

- 1) el porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto
- 2) El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto
- 3) El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.

- 4) La curva para el peso unitario (densidad) de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que el peso unitario máximo se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad
- 5) Hasta cierto punto, los valores de estabilidad aumenta a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto.
- 6) Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto.

1.1.12 Determinación del Contenido de Asfalto

El contenido de diseño de asfalto en la mezcla final de pavimentación se determina a partir de los resultados descritos anteriormente. Primero, determine el contenido de asfalto para el cual el contenido de vacíos es de 4%. Luego, evalúe todas las propiedades calculadas y medidas para este contenido de asfalto, y compárelas con los criterios de diseño. Si se cumplen todos los criterios, es el contenido de diseño de asfalto. Si no se cumplen todos los criterios será necesario hacer algunos ajustes o volver a diseñar la mezcla.

1.1.13 Seleccionando un Método de Diseño de Mezcla

El diseño de mezcla seleccionado para ser usado en un pavimento es, generalmente, aquel que cumple, de la manera más económica, con todos los criterios establecidos. Sin embargo, no se deberá diseñar una mezcla para optimizar una propiedad en particular. Por ejemplo, las mezclas con valores muy altos de estabilidad son, con frecuencia, poco deseables, debido a que los pavimentos que contienen este tipo de mezclas tienden a ser menos durables y pueden agrietarse prematuramente bajo volúmenes grandes de tránsito. Cualquier variación en los criterios de diseño deberá ser permitida sólo bajo circunstancias poco usuales, a no ser que el comportamiento en servicio de una mezcla en particular indique que dicha mezcla alternativa es satisfactoria. Lo mostrado anteriormente proporciona una visión global del Método de Diseño de Mezclas y de su uso en el control de la calidad de la construcción de pavimentos.