



UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON AGREGADOS PÉTREOS Y
POLÍMEROS TIPO I APLICADO AL PAVIMENTO FLEXIBLE.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN QUE SE PRESENTA COMO REQUISITO PREVIO A
OPTAR EL GRADO DE INGENIERÍA CIVIL**

NOMBRE DE LA ESTUDIANTE:

NATHALY MARCELA ORTIZ CEREZO

NOMBRE DE LA TUTORA:

ING. CARMEN ROSA TERREROS CAICEDO

SAMBORONDÓN, 2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi familia, por su incondicional estímulo y apoyo en cada etapa, y por su constante motivación a superarme tanto en el ámbito profesional como en el personal.

También quiero dedicar este trabajo a todos los profesores de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil con quienes tuve el gusto de llegar a recibir clases.

Nathaly Ortíz Cerezo.

RECONOCIMIENTO

Agradezco mis padres por no permitir que desista en mis metas, sino todo lo contrario, impulsarme a apuntar siempre más alto y más lejos.

Agradezco a la Ingeniera Carmen Terreros de Varela ya que al ser mi tutora de tesis, ha desempeñado un excelente trabajo guiándome desde el comienzo en cada etapa de este proyecto.

Agradezco al Ingeniero Fausto Cabrera, quien ha contribuido inmensamente con su conocimiento al desarrollo de este trabajo de investigación.

Agradezco al Ingeniero Paco Alcoser, por compartir su invaluable conocimiento y facilitarme el acceso a su laboratorio para la elaboración de los respectivos ensayos.

RESUMEN

El trabajo de investigación “Diseño De Mezclas Asfálticas con Agregados Pétreos y con Polímeros Tipo I Aplicado al Pavimento Flexible”, que se presenta a continuación se realizó con el propósito de evaluar el comportamiento de una mezcla asfáltica al agregársele polímero SBS a la misma, esperando una mejora considerable en las propiedades de la mezcla y de esta forma los resultados se puedan tomar como referencia para futuros trabajos en vías que cuenten con las mismas condiciones climáticas y de uso.

En el capítulo II, se describen la propiedades y tipos de mezclas asfálticas para de esta forma tener las bases correctas en cuanto a conceptos, y así aplicarlos más adelante al momento de efectuar los respectivos ensayos. Además también es de suma importancia tener en claro la clasificación de los diferentes tipos de Polímeros porque dependiendo de su tipo, variará la forma en la que interactúa con la mezcla asfáltica.

De igual manera, en el capítulo III se brinda una introducción con respecto a qué consiste cada ensayo, para que sirva como guía, se explican los diferentes procedimientos paso a paso, teniendo en cuenta sus respectivas normativas y especificaciones.

Además como pudimos evidenciar en el análisis de los resultados de los diferentes ensayos llevados a cabo en el capítulo IV, entre ellos, el ensayo Marshall, obtuvimos que para la mezcla convencional el porcentaje óptimo de asfalto era de 6,3%, mientras que para la mezcla en la que se agregó el polímero SBS se obtuvo que 6,1% era el porcentaje óptimo de asfalto.

Finalmente, al realizar la comparación en el análisis de precio unitario de ambas mezclas en el capítulo V, se pudo evidenciar que a pesar de que al usar polímeros se tiene un costo inicial más alto en comparación con la mezcla convencional, existen muchos beneficios que estos aportan.

CONTENIDO

Introducción	8
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	9
1.1 Antecedentes	9
1.2 Descripción detallada del problema.	10
1.3 OBJETIVOS	11
1.3.1 Objetivo General:	11
1.3.2 Objetivos específicos:	11
CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO	12
2.1 El Asfalto	12
2. 1. 1 Generalidades.....	12
2. 1. 2 Composición química del asfalto.....	14
2.2 Pavimento Rígido	17
2.3 Pavimento Flexible.....	17
2.3.1 Funciones de las distintas capas del Pavimento Flexible	18
2.4 Tipos de Asfalto.....	20
2.4.1 Asfaltos Naturales	20
2.4.2 Asfaltos derivados del Petróleo	20
2.4.3 Cementos asfálticos Sólidos	21
2.4.4 Asfaltos Líquidos	21
2.4.5 Emulsiones Asfálticas.....	21
2.5 Materiales Pétreos para Carpeta Asfáltica	22
2.5.1 Requisitos	22
2.6 Mezclas asfálticas en caliente.....	23
2.7 Factores que afectan el diseño del pavimento.....	23
2.8 Reología del Asfalto.....	25
2.8.1 Propiedades reológicas de los materiales asfálticos.....	25
2.8.2 Objetivo.....	25
2.8.3 Reología Experimental.....	26
2.8.4 Reología Teórica	26
2.9 Asfaltos modificados.....	26
2.10 Polímeros	28
2. 10.1 Clasificación de Polímeros	29
2. 10.1.1 Polímeros Termo-Endurecibles.....	29
2. 10.1.2 Polímeros Termo- plásticos.....	30

2. 10.1.3 Plastómeros.....	30
2. 10.1.4 Elastómeros o Cauchos.....	32
CAPÍTULO III: ENSAYOS.....	34
3.1 Consideraciones previas a los Ensayos.....	34
3.2 Requisitos	35
3.3 Análisis granulométrico	36
3.4 Recubrimiento y peladura de mezclas bituminosas. ASTM D 1664-80.....	38
3.5 Ensayo Rice ASTM D 2041	39
3.6 Ensayo de compactación Marshall (AASHTO T 245, ASTM D 1559)	40
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	42
4. 1 ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS ANGELES.....	42
4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	43
4.3 ENSAYO DE DESGASTE.- METODO SULFATOS	45
4.4 Proceso de preparación de briquetas	47
4.4.1 Mezcla convencional.....	47
4.4.2 Con Polímeros	48
4.5 DISEÑO DE CAPA DE RODADURA MEZCLA CONVENCIONAL.....	49
4.6 DISEÑO DE CAPA DE RODADURA CON POLÍMERO SBS.....	51
4.7 Análisis Granulométrico	53
4.8 Gravedades Específicas.....	61
4.9 Gravedad Específica Mezcla Asfáltica Rice	65
4.10 Resumen de Resultados de Prueba Marshall para Mezcla Convencional.....	73
4.11 Resumen de Resultados de Prueba Marshall para Mezcla con Polímeros.....	74
4.12 Gráficos de Ensayo Marshall	75
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE COSTOS.....	80
5.1 Análisis de Precio Unitario para mezcla convencional.....	80
5.2 Análisis de Precio Unitario para mezcla con Polímeros	82
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
6.1 Conclusiones	84
6.2 Recomendaciones.....	85
Bibliografía	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Materiales resultado de la destilación del petróleo crudo.....	13
Figura 2 Sistema Coloidal Sol	14
Figura 3 Sistema Coloidal Gel	15
Figura 4 Composición química del asfalto	15
Figura 5 Corte Transversal de un Pavimento Flexible	17
Figura 6 Máquina de Los Ángeles	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de Polímeros	29
Tabla 2 Granulometrías indicadas según el MOP-001-F 2002.....	34

Introducción

El presente trabajo de tesis busca demostrar mediante un análisis comparativo entre dos mezclas asfálticas, la primera con agregados pétreos convencionales, y la segunda con polímeros SBS; que tipo de influencia o reacción tiene en el comportamiento y propiedades tanto mecánicas como reológicas.

A pesar de que al momento de realizar el diseño de una carpeta asfáltica se cumplen normativas y especificaciones para que esta cumpla con la demanda requerida, en ocasiones se presentan factores que aumentan dicha demanda. Es por este motivo que se ha visto la necesidad de indagar en el uso de aditivos.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Las vías sufren un pronto deterioro con mucha frecuencia. Varios factores influyen en dicho deterioro, empezando por la mala calidad de los agregados, que en su mayoría provienen de la provincia del Guayas. Otro de los factores que actualmente influye, es el crecimiento de la población, ya que es proporcional al aumento de cargas de tráfico.

Las carreteras a través del tiempo se han convertido en un ente generador de desarrollo para países de diferentes partes del mundo porque su construcción trae consigo el crecimiento poblacional y la comunicación terrestre entre las poblaciones, razón por la cual al utilizarlas prácticamente de manera constante durante toda su vida útil, exige que los requerimientos en cuanto a la aplicación de normas sea cada vez mayor, por lo tanto para que ello ocurra es necesario el desarrollo de aditivos como emulsiones asfálticas que le permitan al asfalto obtener mejores resistencias y mayor duración ante la carga de tráfico que soporta. (WULF RODRIGUEZ 2008, 7)

Por otro lado tenemos que, desde punto de vista histórico, se tiene que a partir del año 1960 se presentó la alternativa de modificar asfaltos agregando polímeros a los mismos, pronto se realizaron las primeras pruebas en países entre los cuales están Italia, Francia y Alemania. La aplicación de polímeros en los asfaltos se remonta hasta el año de 1840, sin embargo cabe destacar la necesidad de adecuar el asfalto según el lugar donde se lo fabrique de modo que se puedan mejorar sus propiedades mecánicas. (Cremadres Ibáñez n.d., 4)

El empleo en la carpeta de rodadura de modificadores o ligantes asfálticos junto con agregados aptos y de buena calidad, se encuentra justificado debido a la demanda requerida por sus usuarios. Es por esto que en la actualidad en las carreteras de mayor demanda se hace uso frecuente de modificadores asfálticos, buscando una mejora en el comportamiento mecánico y la vida útil de la mezcla. (Padilla Rodríguez n.d., 4)

1.2 Descripción detallada del problema.

Actualmente en Ecuador, la materia prima utilizada en asfaltos representa una de las principales causas del problema del pronto deterioro de ciertas vías, ya que el asfalto producido por la refinería de Esmeraldas es de muy mala calidad, esto se debe a la mala adherencia entre la piedra y el asfalto (AC-20); pese a que existen normas de calidad, muchas veces el material viene con exceso de finos y esto provoca deterioro en la vía antes de lo esperado. Si el pavimento no cuenta con agregados de calidad, eventualmente presentará grietas longitudinales, transversales y pérdida de finos, que luego se convertirán en baches.

El pavimento es diseñado en función de la carga de tráfico calculada y proyectada, sin embargo aunque el espesor es el adecuado con una correcta compactación de la capa de base y sub-base, en la mayoría de casos es la calidad de la mezcla asfáltica la que reporta los daños a través del tiempo, por lo que la inclusión de polímeros permitirá incrementar su tiempo de vida útil.

Una de las razones por las que se escogió el material de la cantera ‘Santa Rosa’, ubicada en la vía Samborondón, fue debido a que este material es únicamente es triturado al 100% como establecen las normas y especificaciones técnicas del MTOP.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General:

- Comparar mezclas asfálticas con y sin polímeros tipo I aplicado en pavimento flexible para evaluar su calidad.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar el diseño de mezcla asfáltica óptimo para pavimento flexible, evitando el pronto desgaste de la carpeta de rodadura.
- Comparar las propiedades mecánicas del asfalto con materiales convencionales con la adición del Polímero Tipo I.
- Realizar un análisis económico para conocer la factibilidad de la aplicación del polímero en el asfalto convencional.

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

2.1 El Asfalto

2. 1. 1 Generalidades

Dado que el asfalto es un componente cuyo origen es natural, el comienzo de su aplicación se remonta a la antigüedad, desde la misma existencia del hombre. Se ha podido observar grandes pruebas de los caminos creados por el hombre desde las primeras culturas originarias del Medio Oriente, Egipto, etc., y estos contribuyeron orientando la curiosidad del ser humano hacia el desarrollo de redes viales. Si hablamos de los primeros precursores con visión de sostener un dominio universal a través de la construcción duradera de caminos, nos referimos al Imperio Romano.

No obstante, desde que los automóviles fueron inventados nació el impulso a innovar en el campo de construcción de vías, sin mencionar el lugar que de igual forma ha ocupado la aparición de la aviación.

Un gran ejemplo de la construcción de vías sempiternas son los pavimentos ubicados en Roma, cuya estructura estaba conformada por grandes bloques, rocas en su mayoría, y estas eran colocadas directamente sobre el terreno natural, de esta forma lograron que muchos de estos pavimentos perduren en la actualidad. Por otra parte, los Incas y los Mayas acostumbraban a erigir sus caminos usando morteros naturales para adherir los bloques que normalmente eran de piedra.

Fue en Tressaget, un pueblo francés, donde originariamente se empezaron a construir pavimentos de acuerdo a la dimensión de sus partículas o componentes, esta iniciativa fue adoptada después de un tiempo para recibir una mejora en Inglaterra por Telford y McAdam.

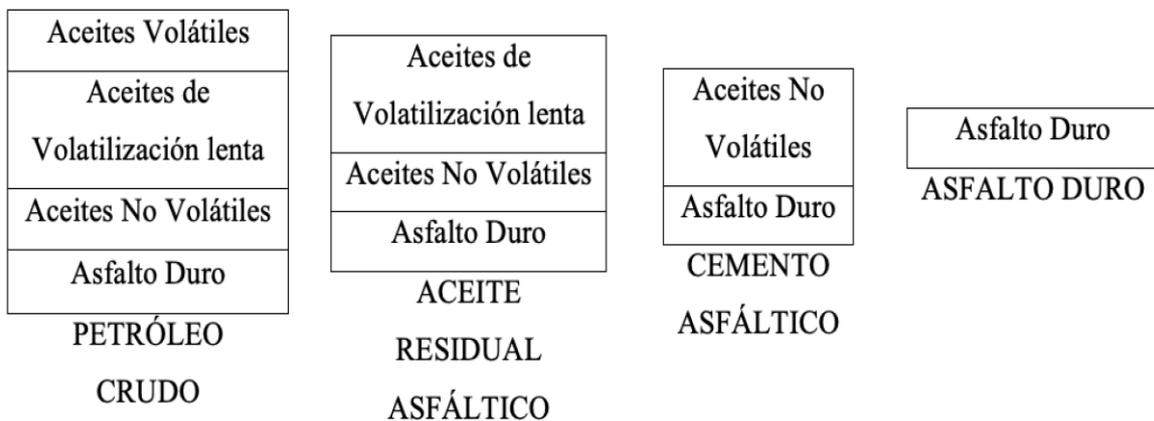
Entre los factores que han provocado el dinámico desarrollo o progreso de los métodos de elaboración de pavimentos, están las grandes cargas y velocidad de tránsito. Esto apoya el acaecimiento de que para cualquier país, la inversión destinada a obras relacionadas con pavimento, que la mayoría de las veces representa el 50% del costo total, quede justificada para el progreso del mismo.

En términos generales se define como pavimento a la capa o grupo de capas que se encuentran acondicionadas según el tamaño de las partículas que lo componen, y en la mayoría de los casos su estructura comienza desde la subrasante hasta lo que conocemos como carpeta de rodadura. En cuanto a su fin o propósito podemos decir que es brindar

comodidad y seguridad al usuario proporcionando una carpeta de rodadura uniforme, que posteriormente muestre una resistencia apropiada a las cargas emitidas por los vehículos, y asimismo evidencie que es resistente a otros factores externos como el intemperismo producido por factores naturales, etc. Por lo que concierne a la función de estructura que desempeña el pavimento, debe transferir adecuadamente los esfuerzos producidos por las cargas ya mencionadas a la subrasante, de este modo se evitan futuras deformaciones que afecten la estructura en sí. (Badillo & Rodríguez, 2008)

Es importante destacar que se considera Subrasante a la capa superior a la terracería, la segunda mencionada se refiere al terreno natural en sí, es decir, cuyo camino forjado por el hombre se encuentra constituido únicamente por tierra, sin ninguna clase de modificación o revestimiento. En tanto la terracería haya tenido cortes y terraplenes, se la considera una terracería terminada apta para una obra vial. En términos generales casi todo tipo de suelo natural es apto para terracería salvo aquellos excesivamente orgánicos, ya que provocan deformaciones en las capas que se encuentran encima. En esos casos, la solución es reemplazar ese material de terracería que posteriormente perjudicará la estructura. A continuación, se podrán apreciar los diferentes materiales que se tienen como resultado de la destilación del petróleo crudo:

Figura 1 Materiales resultado de la destilación del petróleo crudo.



Fuente: (Crespo, 2004)

2. 1 .2 Composición química del asfalto

Para poder obtener el máximo provecho o beneficios de los diferentes tipos de asfalto es necesario conocer adecuadamente su composición química para así tener el mando en cuanto a sus propiedades ya sean físicas o químicas, y aplicarlo a la construcción de un pavimento según la función que este tendrá.

Como ya se conoce, la estructura del asfalto consiste en su mayor parte de una gran cantidad de hidrocarburos los cuales se pueden disolver entre sí al mezclarse con un líquido en diferentes cantidades o proporciones. Una vez que se reúnen de acuerdo a sus características físicas se genera una estructura coloidal en la cual las moléculas con mayor peso se unen para formar micelas (en suspensión), mientras que las ligeras al unirse forman el líquido Inter micelar (medio de dispersión).

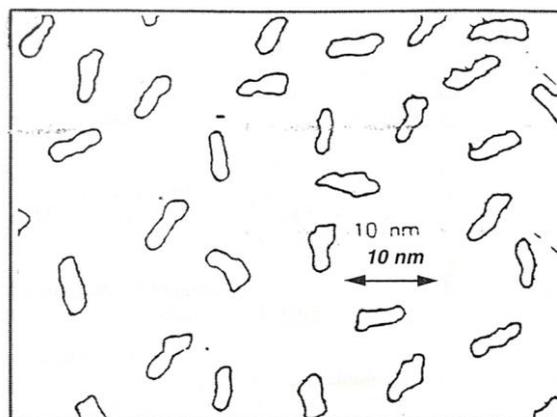
Al momento en que los hidrocarburos más ligeros en el petróleo son volatilizadas, los que son más pesados no logran seguir en disolución por lo que se une mediante adsorción a las micelas ya formadas, y como consecuencia el volumen aumenta a medida que se extrema la destilación.

Existen dos tipos de sistemas coloidales:

- Sistema coloidal sol:

Son aquellos en los que los componentes de las micelas se encuentran en equilibrio.

Figura 2 Sistema Coloidal Sol

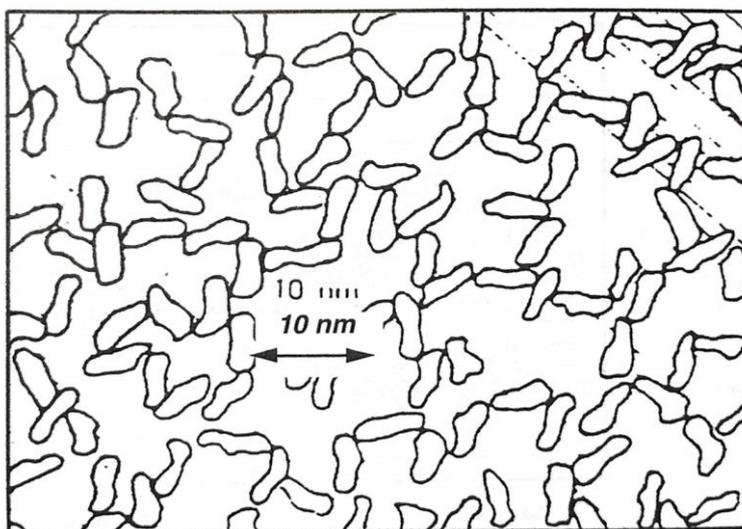


Fuente: (Reyes Lizcano, 2003)

- Sistema coloidal gel:

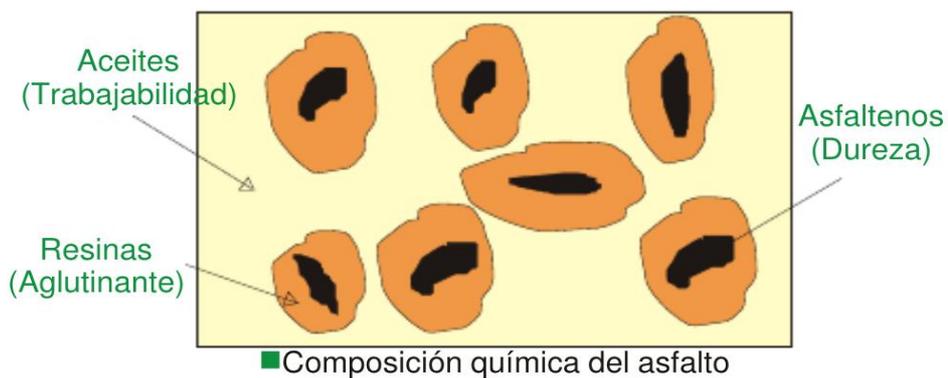
En un sistema coloidal gel la fase dispersa se encuentra muy unida, y en consecuencia se establecen rigidizando el sistema.

Figura 3 Sistema Coloidal Gel



Fuente: (Reyes Lizcano, 2003)

Figura 4 Composición química del asfalto



Fuente: (Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia ASOPAC, 2004)

En cuanto a la clasificación de pavimentos, se tienen:

- a) Pavimento Rígido
- b) Pavimento Flexible
- c) Pavimento Semi-rígido
- d) Pavimento articulado

Entre las características que más se pueden resaltar con respecto a pavimentos, es que mientras más cerca se hallen sus capas de la superficie de rodadura recibirán con mayor intensidad la transmisión de cargas de tránsito, y consecuentemente mayor será el costo porque es indispensable una buena calidad en las capas.

Como se discutió anteriormente, para que un pavimento efectúe adecuadamente sus funciones debe cumplir con ciertas características previas, tales como brindar un nivel de rugosidad óptimo en la carpeta de rodadura para que de esta forma el rozamiento entre el asfalto y las llantas sea óptimo. Además el color que el pavimento tome, debe ser el adecuado para que no cause molestias visuales al usuario.

2.2 Pavimento Rígido

En cuanto a la estructura de este tipo de pavimento, tenemos que lo compone una losa de concreto hidráulico que es colocada sobre la subrasante en el caso de tener un buen material, de no ser así se coloca antes una capa de material apto para soportar cargas, como serían grava y arena.

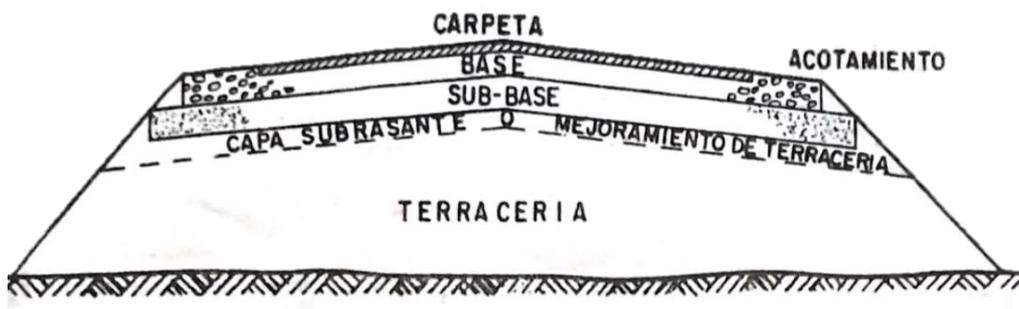
El promedio de la resistencia a la que llegan estos concretos es condicionalmente elevada, ya que varía entre 210 kg/cm^2 hasta 350 kg/cm^2 a los 28 días, por lo tanto en la mayoría de los casos se aplica concreto simple, aunque hay otros en los que se usa el reforzado. Las dimensiones a aplicar en losas de concreto simple son relativamente pequeñas y varía en un rango entre 4m a 8m, mientras que en concretos reforzados estas pueden alcanzar los 100m.

2.3 Pavimento Flexible

La composición de un pavimento flexible se resume en la agrupación de varias capas incorporadas una sobre otra de forma horizontal, y deben constituirse de materiales aptos, esto quiere decir que se encuentren bien compactados.

Consta de una carpeta bituminosa distribuida sobre otras dos capas, llamadas base y sub-base. No obstante, en base a las especificaciones o el uso que se le dará, se puede eludir la aplicación de una de cualquiera de las capas. La calidad del material usado en cada una de las capas va de mayor a menor hacia abajo.

Figura 5 Corte Transversal de un Pavimento Flexible



Fuente: (Badillo & Rodríguez, 2008)

Es esencial tener un concepto claro de por qué son llamados ‘flexibles’, y es debido a que con el pasar del tiempo las cargas de tránsito tienen cierto efecto sobre la estructura del pavimento flexible y es que tienden a doblarlo o deformarlo. La superficie o carpeta de rodadura que compone a los pavimentos flexibles está formada por la mezcla de áridos y asfalto.

2.3.1 Funciones de las distintas capas del Pavimento Flexible.

Sub- base

La función que desempeña esta capa es básicamente de transición, ya que actúa como un filtro entre la base, cuyo material es granular más o menos grueso en la mayoría de los casos, y la sub-rasante tratando de evitar en lo posible que los finos que se encuentran en la sub-rasante perjudiquen o contaminen la base.

Lo que principalmente se busca al decidir el espesor y material que se usará en esta capa es que sea lo más barato posible, pero hay que tomar en cuenta que si se ahorra en material para la sub- base, esto representará un aumento en el espesor del pavimento, ya que la capacidad de soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas aumenta o disminuye en función de la calidad del material. Es por eso que tiene una gran influencia de carácter económico.

Asimismo, otra característica de la sub- base, es que facilita la salida o el desalojo de los líquidos que se buscan infiltrarse a través de la carpeta. Evita de la misma forma que el agua que se encuentra en la terracería ascienda por capilaridad.

Como se mencionó antes, al soportar los esfuerzos transmitidos por las capas superiores debido a las cargas de tránsito, ayuda a que estos esfuerzos lleguen a un nivel conveniente a la subrasante.

Base

Su principal función es brindar un elemento resistente que se encargue de emitir los esfuerzos provocados por las cargas de tránsito a las capas inferiores, que son la sub- base y la subrasante. En el aspecto económico existe cierta similitud o analogía con la sub-base, ya que

se puede lograr disminuir el espesor de la carpeta de rodadura que es la más onerosa. Además, al igual que en el caso de la sub- base evita que el agua ascienda por capilaridad, y drena el agua que intenta entrar por la carpeta.

Carpeta

La carpeta es la capa cuyo trabajo se basa en evitar que el agua se filtre hacia sus capas inferiores. De la misma forma tiene que brindar una superficie uniforme, con una textura y color adecuados para que resistan hasta los efectos lijantes producidos por el tránsito. Y otro punto que cabe resaltar es que brinda resistencia a la tensión que contribuye a la capacidad estructural del pavimento.

Pavimento Semi-rígido

Un tercer tipo de pavimento que es relativamente nuevo es el conocido como semi-rígido, el cual esencialmente cuenta con la misma estructura del pavimento flexible, a diferencia de que en este una de sus capas se encuentra endurecida o reforzada debido a que se ha aplicado algún aditivo como: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos, con el propósito de provocar una mejora en las propiedades de los materiales.

Pavimento Articulado

La composición de los pavimentos articulados consta de una capa de rodadura que es colocada sobre una capa fina de arena, que en ciertos casos está sobre una capa de base granular o en otros casos se coloca sobre la sub-rasante de forma directa, según ciertos factores como: la calidad de la sub- rasante, la frecuencia con la que las cargas de tránsito pasan, etc. (Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos, 2006)

2.4 Tipos de Asfalto

Según (Crespo, 2004) :

Los productos asfálticos son resultado de la disolución del cemento asfáltico (C.A) en los distintos destilados volátiles del petróleo, o también se lo hace emulsionante mezclándolo con agua. Después de este proceso consiguen propiedades cementates.

Tipos de productos asfálticos líquidos comúnmente usados en pavimentos:

- Aceites de volatilización lenta → cemento asfáltico → asfaltos de fraguado lento.
- Kerosina → cemento asfáltico → asfaltos de fraguado medio.
- Gasolina → cemento asfáltico → asfaltos de fraguado rápido.
- Agua → emulsor → cemento asfáltico → emulsión asfáltica.

Asimismo se tienen otros tipos diferentes de asfaltos como:

2.4.1 Asfaltos Naturales

En este caso, su nombre se debe a que son producto de un proceso espontáneo de volatilización, que consiste en el ascenso del petróleo crudo mediante las grietas, hacia el exterior de la tierra, y una vez que se encuentra ahí los aceites ligeros y gases proceden a separarse gracias a factores externos como el sol y el aire, en efecto queda como resultado el asfalto. Normalmente en la composición de este asfalto se halla cierta cantidad o porcentaje de arcilla o arena fina, esto se debe a que al momento en que el asfalto asciende a la superficie estas partículas se van acoplado al mismo. Este tipo de asfalto se manifiesta de varias maneras, las más comunes son en lagos, manantiales y exudaciones.

2.4.2 Asfaltos derivados del Petróleo

Este tipo de asfalto se diferencia de los naturales debido a que se obtiene del residuo del alambicamiento del petróleo y es por eso que también es conocido como asfalto residual. Debido al concepto erróneo que se tiene acerca del término ‘residual’, se ha provocado que la industria del asfalto considere más conveniente llamarlo ‘asfalto de destilación directa’, aunque este no está muy lejos de caer en un concepto erróneo, ya que rara vez o ninguna un

asfalto es producto de la destilación directa del petróleo, sin que luego de eso haya necesidad de algún tipo de tratamiento. (Reyes Lizcano, 2003)

2.4.3 Cementos asfálticos Sólidos

Una de las características que destaca este tipo de asfalto es que son el resultado de la mezcla de asfaltos refinados con un gasóleo, que es un aceite disuelto, y se lo usa porque su nivel de viscosidad es óptimo al aplicarlo en pavimentos. En este tipo de asfalto se usan las letras AC para representarlo. Además, cuentan con excelentes propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, que ayudan a que el pavimento sea más resistente a la acción de agentes perjudiciales como los ácidos o sales.

2.4.4 Asfaltos Líquidos

Se encuentran formados por una base asfáltica y un fluidificante volátil, que generalmente varía entre bencina, queroseno o aceite. Dichos fluidificantes pasan por un proceso para que se evaporen y que de esta forma solo quede el sobrante asfáltico. Debido a que su consistencia es muy blanda, el ensayo de penetración no se aplica en este caso, ya que el límite máximo es de 300.

2.4.5 Emulsiones Asfálticas

Para este caso, normalmente se le aplica un agente activador de superficies al asfalto (60-70%), cuya cantidad varía entre 0,2-1%, y pueden ser: tensoactivo o emulsificante de base jabonosa, básico o ácido, que ayudan a que el sistema se encuentre disperso. En términos generales, constan de un conjunto de mecanismos irregulares que se dividen en dos etapas inmiscibles que son el asfalto y el agua y es ahí donde interviene el agente activador de superficies antes mencionado, el agua ocupa el papel de fase continua mientras que los glóbulos del asfalto forman la fase discontinua, y su tamaño puede variar entre uno a diez micrones. (Reyes Lizcano, 2003)

2.5 Materiales Pétreos para Carpeta Asfáltica

2.5.1 Requisitos

Para poder hacer un uso adecuado de los agregados pétreos que se van a usar en una carpeta asfáltica es indispensable conocer muy bien sus propiedades y características ya sean físicas o mecánicas, de esta forma se puede llegar a tener una idea de cómo será su comportamiento al ser mezclada con el asfalto y determinar así si dichos agregados son aptos o no. Mediante las pruebas de laboratorio es que se pueden conocer las características físicas de los agregados pétreos a usar, ya que así podemos conocer su granulometría, el peso volumétrico seco y suelto, densidad, absorción, adherencia con el asfalto, entre otras. Básicamente las características que deben cubrir los agregados pétreos a usar en una carpeta asfáltica son:

- a. Se debe evitar en lo posible el uso de agregados con forma de lascas, que son aquellas cuya longitud es tres veces mayor a la dimensión menor del agregado.
- b. Otra característica de gran importancia es que no se deben usar aquellos agregados que contengan materia orgánica ya podría afectar posteriormente el comportamiento de la carpeta asfáltica.
- c. La forma correcta en que deben aplicarse los agregados es en seco o se puede permitir que su humedad sea como máximo igual a la absorción del mismo, ya que para esos casos se aplican aditivos.
- d. Los fragmentos suaves no deben superar el 20% de los agregados.
- e. Los agregados deben contar con una buena capacidad para soportar las cargas producidas por las máquinas usadas para compactar.
- f. La capacidad de absorción de los agregados debe ser $\leq 5\%$

2.6 Mezclas asfálticas en caliente

Las mezclas asfálticas en caliente se diferencian principalmente porque están compuestas por la mezcla de un ligante asfáltico, polvo mineral, agregados pétreos, y en algunos casos que les incorpora aditivos dependiendo del uso que se le vaya a dar. Para que dichos componentes puedan lograr incorporarse correctamente, es necesario que sean mezclados en condiciones de alta temperatura, de esta forma se espera que el material quede totalmente cubierto por la película de asfalto. Entre las propiedades con las que las mezclas asfálticas deben contar tenemos:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Resistencia a la fatiga

2.7 Factores que afectan el diseño del pavimento

Según (Badillo & Rodríguez, 2008):

Al llevar a cabo la construcción de una vía no solo se toma en cuenta el método con el que ésta será construida, sino que también se deben considerar los siguientes factores:

- Características de los Materiales que forman la Terracería y la Sub-rasante

En el caso de pavimentos flexibles la calidad y composición de los materiales que lo constituyen tienen una gran repercusión en su espesor y en su comportamiento, es por esto que resulta de suma importancia elegir correctamente los materiales a usar tanto en la terracería como en la sub-rasante. Para poder lograr elegir el material adecuado según su propósito, se tienen dos métodos que son conocidos por préstamo lateral y préstamo de banco. En el caso de préstamo lateral, el material que se usará en los terraplenes se adquiere a partir de excavaciones laterales de poca profundidad

situadas a lo largo de la vía, siempre y cuando se hallen cerca de la misma. Por otro lado, tenemos la obtención de material por préstamo, este método resulta más costoso por lo general, ya que el material debe ser transportado desde un lugar en específico en donde éste se encuentre en condiciones óptimas.

- El clima

De igual manera, el clima juega un papel importante en el diseño de un pavimento. El factor que mas se puede resaltar son las precipitaciones pluviales, ya que en la mayoría de los casos provocan que el diseño de la vía varíe, debido a que para contrarrestar su efecto se opta por la construcción de estructuras de drenaje adicionales al drenaje previamente considerado para la elaboración de la vía.

- El tránsito

La forma en la que el tránsito afecta el diseño de la vía es principalmente mediante las cargas producidas por los vehículos, y también la presión de inflado producida por las llantas. Los factores mencionados implican un problema debido a que resulta muy poco probable adaptar o tratar de reproducir con exactitud la repetición o frecuencia de cada uno en un laboratorio ya que se pueden presentar muchas variables.

2.8 Reología del Asfalto

Según (Reyes Lizcano, 2003):

2.8.1 Propiedades reológicas de los materiales asfálticos.

Se define a la reología como la ciencia que se encarga de estudiar la deformación y la fluencia o cedencia de la materia. De esta forma podemos decir que abarca los siguientes aspectos de la misma:

- Plasticidad
- Viscosidad
- Hidráulica
- Elasticidad y resistencia de materiales

En términos generales la reología se enfoca concretamente en aquellos cuerpos que no son sólidos pero tampoco son líquidos, es decir, hablamos de aquellos cuerpos llamados intermedios entre sólido elástico y líquido viscoso, así pues la reología ayuda a medir la deformación de estos últimos. Para poder llevar a cabo lo antes mencionado, se deben cumplir las siguientes características:

- Seleccionar únicamente materiales que cumplan con cierto requisito: el modelo elástico no debe tener utilidad.
- Se admiten los materiales como cuerpos ideales y que a su vez tengan características elásticas.
- Además, los materiales no son elásticos o viscosos del todo, como por ejemplo el hormigón bituminoso, entre otros.

2.8.2 Objetivo

Busca definir entre los cuerpos sólidos elásticos y los cuerpos líquidos viscosos, sus respectivas deformaciones al momento de aplicárseles fuerzas actuantes.

2.8.3 Reología Experimental

Es común que se lleven a cabo en laboratorios ya que es la manera más sencilla, y consiste en medir las deformaciones que dan como resultado de las sollicitaciones específicas que se dan en los cuerpos reales.

2.8.4 Reología Teórica

En este caso, la deformación de los cuerpos antes mencionados es medida matemáticamente, para que de esta forma se puedan pronosticar las respuestas que se darían en un laboratorio.

La reología consta como una de las características fundamentales del asfalto, ya que alude a características que tiene, en determinado rango de tiempo mientras se le aplica una carga, el flujo.

Además, abarca una de las propiedades con más relevancia en los asfaltos que es la viscosidad. Esta puede cambiar en función a la temperatura, puesto que se considera que un asfalto es fluido viscoso cuando se lo expone a altas temperaturas, mientras que a bajas temperaturas es descrito como un material sólido que cuenta con propiedades elásticas. Por lo que se ha mencionado, es que ahora se usan monogramas y curvas para poder comprender cómo se comporta el flujo del asfalto en un cierto rango de temperaturas.

2.9 Asfaltos modificados

A pesar de que los productos asfálticos siempre tuvieron un excelente desempeño en el proceso de fabricación de vías, hasta el momento se ha evidenciado el aumento en cargas por eje de servicio, que en adición con otros factores tales como la acción continua del clima, y la mayor presión de inflado conllevan a que las exigencias y demandas de los usuarios se encuentren en constante incremento.

En consecuencia, es por ello que en la actualidad se ha desarrollado un creciente interés por buscar una mejora tanto en las propiedades reológicas como en las mecánicas de

las mezclas asfálticas, brindando así un mayor grado de adherencia, mejoras en su durabilidad, y menor susceptibilidad térmica. Pese a que se han desarrollado una vasta cantidad de mezclas asfálticas con ligantes modificados más duros que ayudan a mejorar ciertas propiedades, por otro lado, al ser más duros provocan que la flexibilidad del pavimento a temperatura ambiente disminuya, mientras que a temperaturas bajas el ligante será más frágil. Si bien es cierto que se obtienen mejoras con el uso de ligantes modificados, también podemos resaltar que tienen efectos secundarios negativos, es por ello que se ha incorporado el uso de polímeros a gran escala ya que se ha demostrado que cuentan con magníficas propiedades elásticas, y mejoras en sus características de adherencia y cohesión.

Según Reyes Lizcano (2003), las características que debe presentar una mezcla asfáltica ideal son:

- Baja rigidez o viscosidad en un rango de temperaturas normales de manejo en planta y colocación en obra.
- Para prevenir el ahuellamiento en lo posible, deben procurar tener alta rigidez a altas temperaturas de servicio.
- Por otra parte, para reducir las posibilidades de la aparición de fisuras o grietas por las variaciones de temperatura, deben tener baja rigidez y contar con características elásticas aceptables.
- Además, para evitar en lo posible el conocido *stripping*, que consiste en la separación del ligante asfáltico y el agregado pétreo, la mezcla asfáltica debe contar con buenas propiedades adherentes.

De esto podemos extraer que, al modificar las mezclas asfálticas, podemos obtener resultados positivos al momento de referirnos a la deformación plástica a altas temperaturas sea mínima, y que al mismo tiempo la rigidez a bajas temperaturas disminuya, brindando así una gran mejora en el comportamiento ante la acción de las cargas de servicio más pesadas.

Por otra parte, tenemos que las características de un asfalto varían a medida que la temperatura de operación del mismo varía también. Por ello, se considera que el asfalto con cualidades óptimas es el que se muestra estable o constante al momento que dicha temperatura de servicio varía, teniendo como resultado un fluido viscoso con las debidas temperaturas al momento de mezclarlo y compactarlo.

La antes mencionada susceptibilidad térmica en mezclas asfálticas presenta una mejora significativa al momento en que se le aplican polímeros, obteniendo así como resultado un comportamiento fluido-viscoso óptimo en el asfalto en su respectivo rango de temperaturas de servicio.

2.10 Polímeros

Los polímeros son sustancias macromoleculares (masa molecular elevada), estas pueden ser naturales o sintéticas y se consiguen mediante reacciones poliméricas entre moléculas más sencillas o básicas conocidas como monómeros. En otras palabras, un polímero es un compuesto que cuenta con un peso molecular relativamente alto y su estructura se encuentra formada por unidades pequeñas periódicas.

Una vez que los polímeros son mezclados con el asfalto originan un reticulado formado por redes tridimensionales, gracias a dicho proceso es que podemos decir que el asfalto modificado adquiere excelentes propiedades de elasticidad.

Al unirse los monómeros de manera que dan lugar a la aparición de moléculas gigantes, las mismas que toman distintas formas entre las que se tienen: forma de escalera, cadenas termo-fijas y cadenas sueltas. De forma correspondiente existe una extensa variedad de materiales poliméricos, por lo que poder clasificarlos y sistematizarlos, no obstante, se sintetizan según su estructura en la tabla n°1

2. 10.1 Clasificación de Polímeros

Tabla 1 Clasificación de Polímeros

TERMO- ENDURECIBLES	Resinas Epoxi	
	Poliuretanos	
	Poliésteres	
TERMO- PLÁSTICOS	PLASTÓMEROS	Polietileno (PE)
		Polipropileno (PP)
		E.V.A (Etileno-acetato de vinilo)
		P.V.C (Policloruro de vinilo)
	ELASTÓMEROS	S.B.R (Estireno-butadieno)
		Cauchos Naturales: Isopreno
		Cauchos Artificiales: Neopreno
		S.B.S (Estireno-butadieno- estireno)

Fuente: (Montejo Fonseca, Ingeniería de Pavimentos , 2006)

2. 10.1.1 Polímeros Termo-Endurecibles

Los termo-endurecibles son aquellos polímeros que se originan de la reacción química entre dos componentes que son la base y el endurecedor, como consecuencia el tipo de estructura que se tiene es entrecruzada, esto quiere decir que no se puede transformar nuevamente, y generalmente se clasifican en:

- **Resinas Epoxi**

Con este tipo de polímero se aplican cantidades muy altas que pueden sobrepasar el 20%, debido a ello puede resultar que su costo sea muy elevado,

usándose así únicamente en casos especiales como por ejemplo una playa de camiones. En sus enlaces transversales cuentan con agentes que los rigidizan.

- **Poliuretanos**

Para el debido uso de este tipo de polímero se deben aplicar a temperaturas bajas, otra especificación es que se deben usar en carpetas de rodadura delgadas. Los poliuretanos tienen aspectos en común con las resinas, esto implica que su costo sea elevado de la misma manera.

- **Poliésteres**

No se usan con frecuencia. Tienen buena resistencia a la humedad.

2. 10.1.2 Polímeros Termo- plásticos

Como su nombre lo dice, son aquellos polímeros que ceden y se vuelven solubles ante la acción del calor, provocando así que fluyan. La estructura de este tipo de polímeros puede ser lineal o levemente ramificada. Se dividen en: Plastómeros y Elastómeros.

2. 10.1.3 Plastómeros

Son aquellos que endurecen el asfalto o lo rigidizan, ya que cuando se los estira no regresan a su longitud inicial, ya que la tensión de fluencia es sobrepasada. Entre los más usados tenemos:

- **Polietileno**

Reacciona de manera positiva al ser expuesto a un rango de temperaturas de servicio, especialmente en bajas temperaturas, además cuenta con una buena resistencia a la tracción. Su costo es particularmente bajo, y es amigable para el

ambiente ya que se usan los desechos o residuos de este material para ser aplicados en vías.

- **Polipropileno atáctico (EPDM)**

Este tipo de polímero muestra gran flexibilidad, para ello por lo general es mezclado con elastómeros, también cuenta con gran resistencia a altas temperaturas y a la acción de agentes químicos.

- **E.V.A (Etileno-acetato de vinilo)**

Resultan muy compatibles con los asfaltos. Los copolímeros de etileno actúan de forma que con el acetato de vinilo buscan bajar el grado de cristalinidad.

Las proporciones entre el vinilo y el acetato varían, se tiene que cuando hay un bajo porcentaje de la primera, las propiedades disminuyen de forma análoga. El contenido óptimo de acetato de vinilo para ser usado en vías es de 18% aproximadamente

- **P.V.C (Policloruro de vinilo)**

El costo de este polímero es relativamente bajo, y las proporciones en que se usa varían entre un 2 al 6%. Al ser agregado al asfalto a una temperatura de 130 °C toma características de gel, lo que le confiere una mayor viscosidad. Se los aplica en aeropuertos.

2. 10.1.4 Elastómeros o Cauchos

La forma de la estructura de estos polímeros se torna reticulada fraccionariamente, después de haber pasado por un proceso de vulcanización, esto les atribuye excelentes propiedades de elasticidad. Otra característica a su favor es que tienen muy buena resistencia al envejecimiento. Entre los más usados tenemos:

- **S.B.R (Estireno-butadieno)**

Son elastómeros obtenidos de forma artificial mediante la combinación de monómeros (moléculas simples) y su estructura consta de un 25% de Estireno y un 75% de Butadieno. En casos en que se requiera mejorar sus propiedades de adhesividad se le añade ácido etílico.

- **Isopreno**

Este es un caucho de origen natural aplicado para la fabricación de otros cauchos artificiales o sintéticos.

- **Neopreno**

El neopreno es un caucho artificial o sintético que muestra gran durabilidad con respecto a ciertos factores tales como la humedad, precipitaciones, entre otros. Son usados comúnmente en carreteras destinadas a soportar vigas y estructuras.

- **S.B.S (Estireno-butadieno-estireno)**

También conocido como caucho termoplástico, cuyas aplicaciones comenzaron en aglutinantes y suelos para luego ser aplicados en la construcción de vías en Estados Unidos.

Estireno

Representa la fase dura cuya cristalización se alcanza a una temperatura de 100 °C

Butadieno

Representa la fase doblable y a diferencia del estireno, la cristalización se alcanza a una temperatura relativamente menor que la ambiente.

CAPÍTULO III: ENSAYOS

3.1 Consideraciones previas a los Ensayos

La tabla n° 2 obtenida del MOP 001-F-2002, nos indica las granulometrías a aplicar, para la mezcla asfáltica con la que se va a trabajar ½” representa el tamaño máximo nominal, debido a que en el tamiz ¾” (19.0mm) los áridos pasaron en un 100%.

Tabla 2 Granulometrías indicadas según el MOP-001-F 2002

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾”	½”	3/8”	N°4
1” (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾” (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½” (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8” (9.50 mm.)	56 - 80		90 - 100	100
N° 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
N° 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
N° 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
N° 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
N° 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
N° 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
N° 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: (Ministerio de Obras Públicas, 2002)

Figura 6 Máquina de Los Ángeles



Fuente: Autora

3.2 Requisitos

Dado que los agregados juegan un papel fundamental al momento de ser empleados para la elaboración de pavimentos, deben contar con características físicas óptimas. Es por esto que recurrimos a ciertos ensayos de laboratorio que nos certificarán si el material es apto o no, entre los más conocidos tenemos:

- Peso volumétrico seco y suelto
- Granulometría
- Densidad
- Absorción
- Desgaste
- Adherencia con el asfalto
- Índice de plasticidad
- Contracción lineal
- Resistencia a los sulfatos

Una de las características que deben cumplir los agregados pétreos que cabe recalcar es que se debe tener mucho cuidado con el contenido de materia orgánica, ya que este puede perjudicar el comportamiento del asfalto posteriormente. Otro aspecto primordial, es que la curva resultante del análisis granulométrico tiene que caer dentro de los límites o zonas establecidos.

3.3 Análisis granulométrico

Como se conoce, el suelo se encuentra compuesto por una vasta cantidad de partículas que difieren en tamaño nominal y composición, sin embargo, debido a ello la clasificación de estas partículas según su tamaño es indispensable para poder identificar con qué tipo de suelo estaremos trabajando.

Previo al análisis granulométrico, se determina el porcentaje de humedad (w), además se establece la cantera de la cual se va a explotar el material, que en este caso es la cantera 'Santa Rosa'. Estos agregados deben cumplir con las debidas especificaciones de los ensayos de abrasión que tiene como máximo un 40% de desgaste, y el ensayo de sulfato que debe ser menor al 12% de desgaste.

Para llevar a cabo el diseño de las mezclas asfálticas se debe empezar llevando a cabo el ensayo de granulometría. Este ensayo consiste en examinar los componentes o partículas, pasando sus diferentes agregados por los respectivos tamices que se encuentran ordenados de mayor a menor abertura según su especificación, de esta forma llegamos a conocer el porcentaje de pasante de cada tamiz según el tamaño de los granos de la muestra de los áridos con la que vamos a trabajar, y por consiguiente podemos establecer las diferentes proporciones de cada agregado según las especificaciones del MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas), de esta forma nos da una idea o proyección de su comportamiento.

Procedimiento

Los pasos a realizar para llevar a cabo un análisis granulométrico son los siguientes:

1. Pesar y registrar los pesos de cada una de las muestras de los agregados antes del lavado.
2. Proceder con el lavado de las muestras de agregados y pesarlos nuevamente.
3. Se determina el porcentaje de humedad (%w).
4. Se pasa el material por los tamices: 1'' (25.40mm), ¾'' (19.05mm), ½''(12.70mm), 3/8''(9.52mm), ¼''(6.35mm), n° 4 (4.76mm), n°10 (2.00mm), n°20 (0.840mm), n°40 (0.420mm), n°60 (0.250mm), n°100 (0.149mm), n°200 (0.074), y posteriormente se se registran los porcentajes retenidos en cada tamiz.

5. Después se calculan % acumulado y el % que pasa.
6. Luego se establece la combinación de las mezclas, para de esta forma determinar el porcentaje de cada agregado a ser usado en el diseño.
7. Se determinó la gravedad específica de agregado grueso y agregado fino.
8. Se grafica la curva granulométrica y según la zona o en los límites que se halle, podemos determinar la textura que tendrá a futuro la carpeta asfáltica, y así calificar el material como 'bien graduado' o 'mal graduado'.

3.4 Recubrimiento y peladura de mezclas bituminosas. ASTM D 1664-80.

El método de peladura se basa principalmente en la observación y sirve para determinar el porcentaje de adherencia de áridos o piedra/asfalto AC-20. Ya que se determinan las densidades para cada uno de los porcentajes de asfalto AC-20 utilizado en el diseño, y con los mismos determinamos estabilidad, vacíos, VMA y parámetros que serán usados en el método Marshall. En este caso se usaron 225gr de mezcla como muestra, la misma que se sumerge en 425gr de agua previamente hervida (a una temperatura entre 100-110°C)

Luego que el agua haya hervido lo suficiente, se introducen los 225gr de mezcla para que posteriormente se someta al ensayo en un tiempo de aproximadamente 10min. Una vez que se cuenta con todos los valores registrados, se dibujan las curvas para cada ensayo hasta hallar el contenido óptimo de cada agregado para el diseño.

En mezcla convencional

Lo que podemos concluir del ensayo de peladura realizado en la mezcla convencional es que al momento en que se sacó la mezcla y se retiró el agua, se notó cómo los agregados tenían una pobre adherencia menor al 95% especificado.

En mezcla con polímeros

Por otro lado, tenemos que en mezcla realizada con polímeros obtuvimos el 100% de adherencia, y como consecuencia la mezcla tiene un mejor comportamiento, con mayor viscosidad después del tiempo de prueba que son 10 min.

3.5 Ensayo Rice ASTM D 2041

El objetivo principal de este ensayo es determinar la gravedad y densidad teórica máxima en mezclas asfálticas no compactadas, para el diseño de la misma, siempre y cuando ésta se encuentre a 25°C de temperatura.

En este ensayo en específico, se utiliza un aparato llamado picnómetro, su función consiste en que mediante una superficie transparente en la que se puede apreciar lo que sucede en el interior de la muestra, observar el momento en el que la muestra de asfalto empiece a dar señales de burbujas, que representan la extracción de vacíos, de esta forma ayuda a establecer la gravedad específica de las mezclas bituminosas aplicadas en pavimentos cuyos agregados llegan hasta ¾". En cuanto a la cantidad que almacena para muestras es de 2000gr.

Procedimiento:

Se procede partiendo de un peso que puede ser arbitrario, ya que depende de la cantidad de mezcla disponible con la que se cuenta 1000gr de la mezcla, además el tiempo de ensayo en la bomba de vacíos disminuye si se usa una menor cantidad de mezcla.

- A. Se toma el peso de mezcla. (1000gr de mezcla suelta).
- B. Luego se procede a registrar el peso del picnómetro + agua.
- C. Se registra el peso del picnómetro + mezcla después del ensayo.
- D. Luego se coloca la mezcla y se procede a encender la bomba de vacíos hasta que se aprecie que ya no haya burbujas, que son aire.

Es necesario determinar el porcentaje de humedad de los materiales, para luego poder proceder a determinar sus respectivas gravedades específicas, ya que con ellas podemos finalmente armar las briquetas con el equipo de compactación Marshall.

Conclusión

Según los resultados que obtuvimos al realizar el ensayo rice a las dos mezclas de asfalto, se pudo notar cómo varió la máxima teórica, ya que en la mezcla realizada con polímeros ésta disminuyó en un 1,6% y como consecuencia se obtuvo una mejora en la

adherencia entre los áridos y el asfalto. Además, otra característica que hay que resaltar es el aumento de la vida útil que tendrá el asfalto gracias a la adición del polímero SBS.

3.6 Ensayo de compactación Marshall (AASHTO T 245, ASTM D 1559)

El método Marshall es uno de los más usados en este campo, y fue el Ing. Bruce Marshall quien originalmente fomentó o inventó este método, para posteriormente aplicarlo en el ejército de ingenieros, también conocido como 'US Army Corps of Engineers', y fue así como el ensayo se formalizó como ASTM D 1559 luego de que el cuerpo de ingenieros realizara ciertas modificaciones y demás añadiduras en el procedimiento del mismo.

Este ensayo se encarga de analizar los diferentes factores o propiedades pertenecientes a una mezcla asfáltica en caliente, tales como su estabilidad, relación de vacíos, densidad, etc. Y una vez que se ha obtenido dicha información, su principal objetivo es determinar cuál sería el contenido óptimo de asfalto para la mezcla conformada por los porcentajes de agregados escogidos.

Como se mencionó previamente, este ensayo se recomienda únicamente para mezclas asfálticas en caliente, y sirve tanto como para realizar el diseño, como para llevar un control de campo de mezclas asfálticas.

En el método Marshall se evalúan la relación entre vacíos/densidad, y estabilidad/flujo que son datos de suma importancia para llevar a cabo el ensayo, dichos datos son analizados y comparados con el diseño previo en las diferentes briquetas, en tanto todas tengan la misma combinación de agregados, pero diferentes porcentajes de asfalto, otra característica a tomar en cuenta es que se tiene que elaborar un mínimo tres briquetas cuyas dimensiones son de 2 ½ (6.35cm) de espesor por 4" (10cm) de diámetro, por para cada uno de los porcentajes de asfalto considerados.

El contenido de las probetas utilizadas para llevar a cabo el ensayo Marshall fue de 1200 gr.

Procedimiento:

- Una vez realizado el análisis granulométrico de los agregados, se procede a calentarlos junto al asfalto, para asegurar que la mezcla cuente con un buen revestimiento en sus agregados.

- A continuación, se colocaron las mezclas con diferentes porcentajes de asfalto en moldes para proceder a compactarlas con el martillo Marshall, que se debe calentar previamente para que no altere la superficie.
- Para que las briquetas lleguen a tener una compactación adecuada, es preciso que el martillo de Marshall propicie 75 golpes en cada lado o cada cara, a una temperatura mayor a 120 °C de compactación.
- Se determinó el peso específico total para cada una de las briquetas que contenían diferentes porcentajes de asfalto.

Ensayo de estabilidad y fluencia

- Se calentó las briquetas en baño maría, a 60°C, ya que es la temperatura a la que comúnmente se expone una carpeta de rodadura.
- Luego se sacan las briquetas del baño maría y se procede a secarlas para colocarles una mordaza y ubicarlas en la prensa Marshall cuyo trabajo es medir la estabilidad, dicha maquina cuenta con una aguja pequeña que mide el flujo (dial del flujo).
- Una vez que se colocó la briketa en la máquina Marshall, ésta empezó a aplicar carga a la briketa hasta que la misma falle.
- Con la carga máxima admisible para cada briketa, se obtiene la estabilidad y fluencia de la misma.

Análisis de resultados.

Previo al diseño, se consideró que puede ser aplicado a cualquier proyecto en la costa ecuatoriana, cuyo espesor sea de 2'' o más.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 ENSAYO DE ABRASIÓN DE LOS ANGELES

INEM 860 - 861 - AASTHO T96

Proyecto: TESIS

Graduación Escogida: B

A	Peso del Material antes del ensayo	5000	
B	Peso del Material después del ensayo	3777	
C=A-B	Perdida por Desgaste	1223	
D=(C/A)100	Idem	24,46%	

Observaciones:

Agregados SANTA ROSA.

Especificación 40% máximo.

Ensayo realizado con 12 esferas.

4.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PROYECTO: TESIS

FUENTE: CANTERA SANTA ROSA.

FECHA: JULIO del 2019

<i>Tamiz</i>	<i>Peso Parcial</i>	<i>Peso Acumulado</i>	<i>% Retenido Parcial</i>	<i>% Retenido Acumulado</i>	<i>% Pasante Acumulado</i>
3"	0	0	0,0%	0,0%	100%
2 1/2"	0	0	0,0%	0,0%	100%
2"	0	0	0,0%	0,0%	100%
1 1/2"	0	0	0,0%	0,0%	100%
1"	0	0	0,0%	0,0%	100%
3/4"	0	0	0,0%	0,0%	100%
1/2"	896	896	34,6%	34,6%	65,4%
3/8"	662	1558	25,5%	60,1%	39,9%
No. 4	1034	2592	39,9%		
No. 8					
No. 10					
No. 16					
No. 20					
No. 30					
No. 40					
No. 50					
No. 80					
No. 100					
No. 200					
P					
TOTAL	2592				
<i>Pasa No. 4 =</i>					
<i>Peso Ant. Lavar =</i>					

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

PROYECTO: TESIS

FUENTE: CANTERA SANTA ROSA.

FECHA: JULIO del 2019

<i>Tamiz</i>	<i>Peso Parcial</i>	<i>Peso Acumulado</i>	<i>% Retenido Parcial</i>	<i>% Retenido Acumulado</i>	<i>% Pasante Acumulado</i>
3"					
2 1/2"					
2"					
1 1/2"					
1"					
3/4"					
1/2"	0	0	0,0%	0%	100%
3/8"	0	0	0,0%	0,0%	100%
No. 4	0	0	0,0%	0,0%	100%
No. 8	586	586	22,5%	22,5%	77,5%
No. 10					
No. 16	618	1204	23,7%	46,2%	53,8%
No. 20					
No. 30	380	1584	14,6%	60,8%	39,2%
No. 40					
No. 50	474	2058	18,2%	78,9%	21,1%
No. 80					
No. 100	208	2266	8,0%	86,9%	13,1%
No. 200	202	2468	7,7%	94,7%	5,3%
P	139	2607	5,3%	100%	
TOTAL	2607				
<i>Pasa No. 4 =</i>					
<i>Peso Ant. Lavar =</i>					

4.3 ENSAYO DE DESGASTE.- METODO SULFATOS

INEM 863 - ASTM C-88

PROYECTO: TESIS

SOLICITA:

CANTERA SANTA

FUENTE: ROSA.

FECHA: 1 de Julio del 2019

Agregado Grueso						
Tamiz		Peso Inicial	Peso Final	Pérdida Parcial	Granulometría Original	Desgaste Parcial
Retenido	Pasante					
2"	1 1/2"	0	0	0,00	0,0%	0,00
1 1/2"	1"	0	0	0,00	0,0%	0,00
1"	3/4"	0	0	0,00	0,0%	0,00
3/4"	1/2"	788	739	6,22	34,6%	2,15
1/2"	3/8"	640	598	6,56	25,5%	1,68
3/8"	#4	490	461	5,92	39,9%	2,36
					Desgaste Total	6,19%

Especificación 12%

Agregado Fino						
Tamiz		Peso Inicial	Peso Final	Pérdida Parcial	Granulometría Original	Desgaste Parcial
Retenido	Pasante					
No. 4	No. 8	100	96	4,00	22,5%	0,90
No. 8	No. 16	100	96	4,00	23,7%	0,95
No. 16	No. 30	100	94	6,00	14,6%	0,88
No. 30	No. 50	100	96	4,00	18,2%	0,73
No. 50	No. 100	100	93	7,00	8,0%	0,56
				Desgaste Total		4,02%

Especificación 12%

4.4 Proceso de preparación de briquetas

4.4.1 Mezcla convencional.

Mezcla convencional						
%AC-20	5,0%		5,5%		6,0%	
	Peso Parcial	Peso Acumulado	Peso Parcial	Peso Acumulado	Peso Parcial	Peso Acumulado
¾"- Grava 24%	912	912	907	907	1128	1128
3/8"- Arenisca 44%	11672	2584	1663	2570	2068	3196
Arena- 32%	1216	3800	1210	3780	1504	4700
Peso AC- 20	200	4000	220	4000	300	5000

%AC-20	6,5%		7,0%	
	Peso Parcial	Peso Acumulado	Peso Parcial	Peso Acumulado
¾"- Grava 24%	897	897	893	893
3/8"- Arenisca 44%	1696	2543	1637	2530
Arena- 32%	1197	3740	1190	3720
Peso AC- 20	260	4000	280	4000

4.4.2 Con Polímeros

Con Polímero SBS						
%Polímero	2,5%		2,6%		3%	
%AC-20	5,0%		5,5%		6,0%	
	Peso Parcial	Peso Acumulado	Peso Parcial	Peso Acumulado	Peso Parcial	Peso Acumulado
¾" Grava - 24%	912	912	907	907	902.4	902.4
3/8" Arenisca - 44%	11672	2584	1663	2570	1654	2556,8
Arena- 32%	1216	3800	1210	3780	1203	3760
Peso AC- 20	195	3995	214,3	3994,3	232,8	3992,8
Polímero SBS	5	4000	5,7	4000	7,2	4000

%Polímero	2,7%		2,8%	
%AC-20	6,5%		7,0%	
	Peso Parcial	Peso Acumulado	Peso Parcial	Peso Acumulado
¾" Grava - 24%	897,6	897,6	892,8	892,8
3/8"- Arenisca 44%	1645,6	2543,2	1636,8	2529,6
Arena- 32%	1196,8	3740	1190,4	3720
Peso AC- 20	252,9	3992,9	272,16	3992,16
Polímero SBS	7,02	4000	7,8	4000

4.5 DISEÑO DE CAPA DE RODADURA MEZCLA CONVENCIONAL

PROYECTO : TESIS

FECHA: 7 de junio de 2019

1. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

Tamaño Nominal 1/2" Tabla 405 - 5.1

Espesor = 2"

A) Tipo de Material

Agregado 3/4"	24%
Áridos Chispa	44%
Arena Natural	32%

B) Granulometría de Agregados

		%	Faja de		Especific
	Tamices	Pasante	Control		. Tipo
					B
19,0 mm	3/4"	100	100		100
12,5 mm	1/2"	90,1	82,1	- 98,1	90-100
9,5 mm	3/8"	77,5	70,5	- 84,5	
4,75 mm	4	59,6	52,6	- 66,6	44-74
2,36 mm	8	46,3	40,3	- 52,3	28-58
1,18 mm	16	34,5	28,5	- 40,5	
0,6 mm	30	28,8	23,8	- 33,8	
0,3 mm	50	16,2	11,2	- 21,2	5-21,
0,15 mm	100	8,9	4,9	- 12,9	
0,075 mm	200	5,6	2,6	- 8,6	2-10,

Gravedad Especifica de Masa = 2,616

Gravedad Especifica Efectiva = 2,757

Gravedad Especifica Aparente = 2,733

Porcentaje de Asfalto Absorbido = 1,99%

C) Control de Diseño

Propiedad	Valor Obtenido	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
Vacíos (%)	4,00	3,00	5,00
V.M.A. (%)	15,20	15,00
Estabilidad (Lbs.)	2,550	1.800
Flujo	12,00	8,00	14,00
Contenido Optimo de Asfalto		6,30%	
Relación Filler/betún=		0,889%	

Temperatura de mezcla en planta 135 - 150 °C

Ensayo ASTM D - 3625 > 95%

Peladura.

Esta dosificación si es necesario será reajustada en planta al momento de su producción. Los materiales empleados en el presente Diseño de Mezcla Asfáltica provienen de CANTERA SANTA ROSA - Campamento Ormazabal Valderrama Construcciones S.A. y que han sido sometidos a todos los Ensayos y Tolerancias Establecidas en las Especificaciones del MOP 001-F-2002, y que constan en el Manual del Instituto Norteamericano de Asfalto.

4.6 DISEÑO DE CAPA DE RODADURA CON POLÍMERO SBS

PROYECTO : TESIS

FECHA: Junio del 2019

1. CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

Tamaño Nominal 1/2'' Tabla 405 - 5.1

Espesor = 2"

A) Tipo de Material

Agregado 3/4'' 24%

Áridos Chispa 44%

Arena Natural 32%

B) Granulometría de Agregados Combinada de Diseño

	Tamices	% Pasante	Faja de Control	Especif. Tipo B
19,0 mm	3/4''	100	100	100
12,5 mm	1/2''	90.1	82.1 - 98.1	90-100
9,5 mm	3/8''	77.5	70.5 - 84.5	
4,75 mm	4	59.6	52.6 - 66.6	44-74
2,36 mm	8	46.3	40.3 - 52.3	28-58
1,18 mm	16	34.5	28.5 - 40.5	
0,6 mm	30	28.8	23.8 - 33.8	
0,3 mm	50	16.2	11.2 - 21.2	5-21,
0,15 mm	100	8.9	4.9 - 12.9	
0,075 mm	200	5.6	2.6 - 8.6	2-10,

Gravedad Específica de Masa = 2.616

Gravedad Específica Efectiva = 2.757

Gravedad Específica Aparente = 2.733

Porcentaje de Asfalto Absorbido = 1.99%

C) Control de Diseño

Propiedad	Valor Obtenido	Especificaciones	
		Mínimo	Máximo
Vacíos (%)	4.00	3.00	5.00
V.M.A. (%)	15.00	15.00

Estabilidad (Lbs.)	2.460	1,800
Flujo	13.00	8.00	14.00
Contenido Optimo de Asfalto		6.10%	
Relación Filler/betún=		0.918%	

Temperatura de mezcla en planta 135 - 150 °C

Ensayo ASTM D - 3625 > 95% Peladura.

Esta dosificación si es necesario será reajustada en planta al momento de su producción. Los materiales empleados en el presente Diseño de Mezcla Asfáltica provienen de CANTERA SANTA ROSA - Campamento Ormazabal Valderrama Construcciones S.A. y que han sido sometidos a todos los Ensayos y Tolerancias Establecidas en las Especificaciones del MOP 001-F-2002, y que constan en el Manual del Instituto Norteamericano de Asfalto.

4.7 Análisis Granulométrico

PROYECTO:	TESIS
USO:	MEZCLA ASFALTICA T/N 1/2"
MATERIAL:	AGREGADO 3/4"
FECHA:	Julio del 2019

Tamiz	Peso retenido acumulado (gr.)	% Retenido	% Que pasa	Especificaciones
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"	0.0	0.0	100	
3/4"	0.0	0.0	100	100%
1/2"	1,167.0	41.4	58.6	90 – 100%
3/8"	2,214.0	78.6	21.4	40 – 75%
No. 4	2,717.0	96.5	3.5	0 – 15%
Pasa el No. 4				
No. 8	99.0	3.5		0 – 5%
No. 10				
No. 16				
No. 20				
No. 30				
No. 40				
No. 50				
No. 60				
No. 80				
No. 100				
No. 200				
Pasa el No. 200				0 – 2%
TOTAL	2,816.0			

Peso Total del Lavado

2,816.0

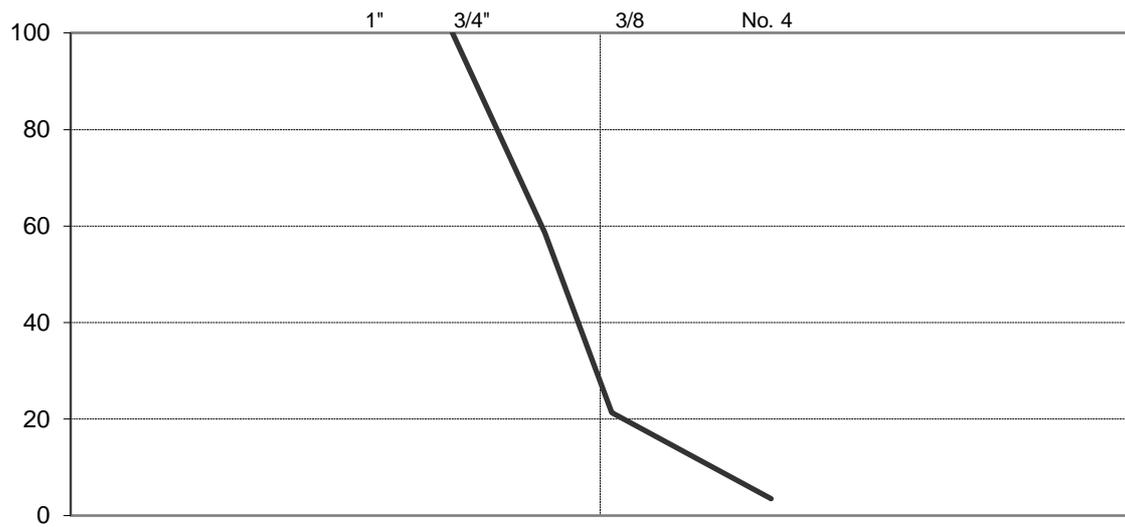
Peso antes del lavado

Peso Total después del Lavado

Peso después del lavado

Módulo de Finura

Capsula No.	Peso Cap. + Suelo Húmedo	Peso Cap. + Suelo Seco	Peso Capsula	W %
C4	222.0	217.5	6.4	2.13%



Según la curva, podemos concluir que los agregados son mal graduados debido a que existe una graduación uniforme de tamaños.

PROYECTO:	TESIS
USO	MEZCLA ASFALTICA T/N 1/2"
MATERIAL	AGREGADO 3/8" - CHISPA
FECHA:	Julio del 2019

Tamiz	Peso retenido acumulado (gr.)	% Retenido	% Que pasa	Especificaciones
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"	0.0	0.0	100	
1/2"	0.0	0.0	100	100%
3/8"	228.0	8.0	92.0	90 – 100%
No. 4	981.0	34.2	65.8	0 – 20%
Pasa el No. 4				
No. 8	1,661.0	58.0	42.0	0 – 10%
No. 10				
No. 16	2,206.0	77.0	23.0	
No. 20				
No. 30	2,356.0	82.2	17.8	0 – 15%
No. 40				
No. 50	2,496.0	87.1	12.9	
No. 60				
No. 80				
No. 100	2,582.0	90.1	9.9	
No. 200	2,651.0	92.5	7.5	0 – 2%
Pasa el No. 200	214.0	7.5		
TOTAL	2,865.0			

Peso Total del Lavado

2,865.0

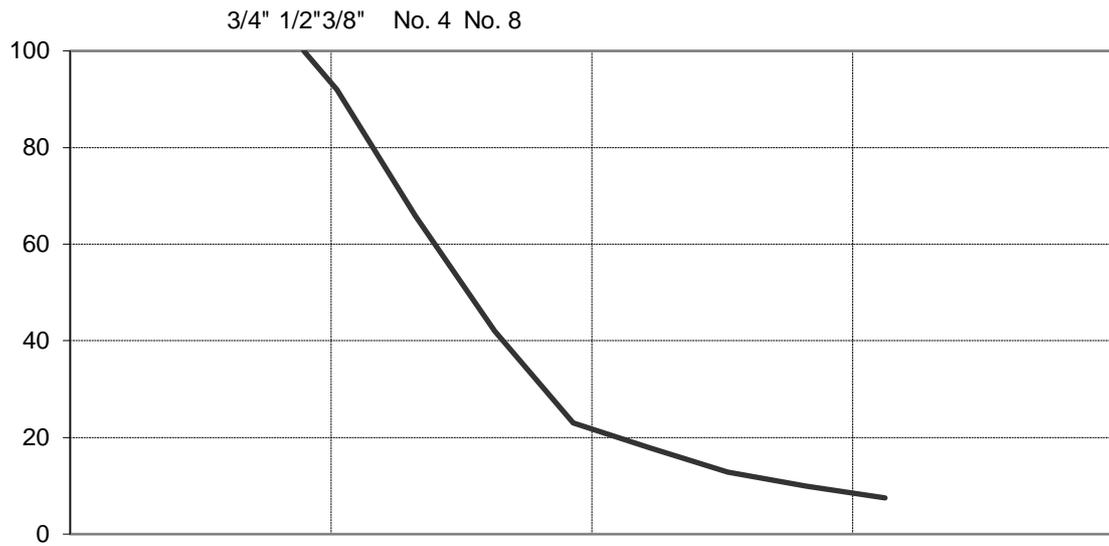
Peso antes del lavado

Peso Total después del Lavado

Peso después del lavado

Módulo de Finura

Capsula No.	Peso Cap. + Suelo Húmedo	Peso Cap. + Suelo Seco	Peso Capsula	W %
B1	177.1	172.9	6.8	2.53%



Según la curva, podemos concluir que los agregados son mal graduados debido a que existe una graduación uniforme de tamaños.

USO MEZCLA ASFALTICA T/N 1/2"

MATERIAL ARENA NATURAL

FECHA: Julio del 2019

TAMIZ	PESO RETENIDO ACUMULADO (Gr.)	% RETENIDO	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES
3"				
2 1/2"				
2"				
1 1/2"				
1"				
3/4"				
1/2"	0.0	0.0	100	
3/8"	6.0	0.3	99.7	100%
No. 4	126.0	6.7	93.3	95 – 100%
Pasa el No. 4				
No. 8	244.0	13.1	86.9	80 – 100%
No. 10				
No. 16	443.0	23.7	76.3	50 – 85%
No. 20				
No. 30	645.0	34.5	65.5	25 – 60%
No. 40				
No. 50	1,252.0	67.1	32.9	10 – 30%
No. 60				
No. 80				
No. 100	1,601.0	85.8	14.2	2 – 10%
No. 200	1,730.0	92.7	7.3	
Pasa el No. 200	137.0	7.3		
TOTAL	1,867.0			

Peso Total del Lavado

1,867.0

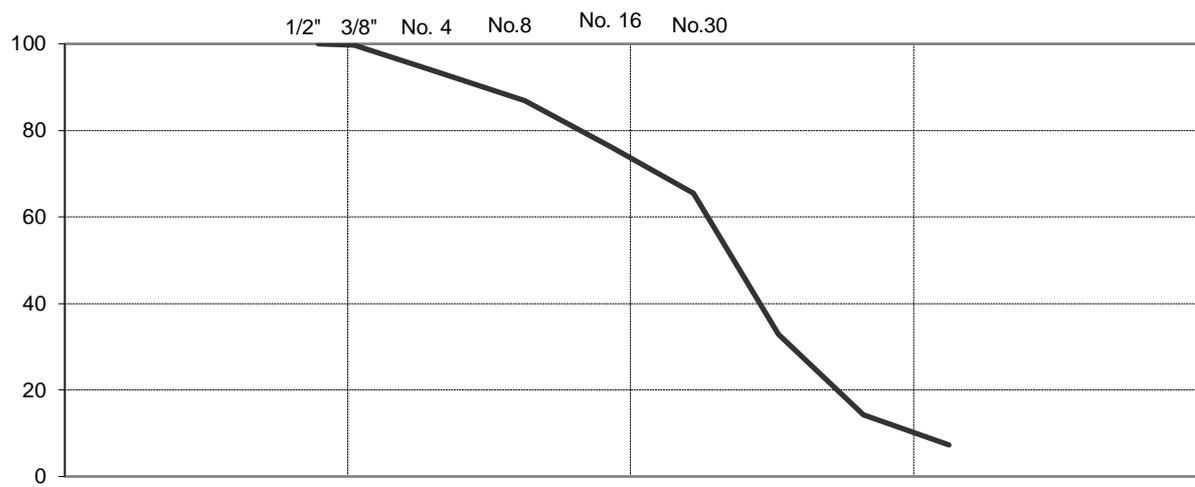
Peso antes del lavado

Peso Total después del Lavado

Peso después del lavado

Módulo de Finura

Capsula No.	Peso Cap. + Suelo Húmedo	Peso Cap. + Suelo Seco	Peso Capsula	W %
A2	155.0	148.8	8.1	4.41%



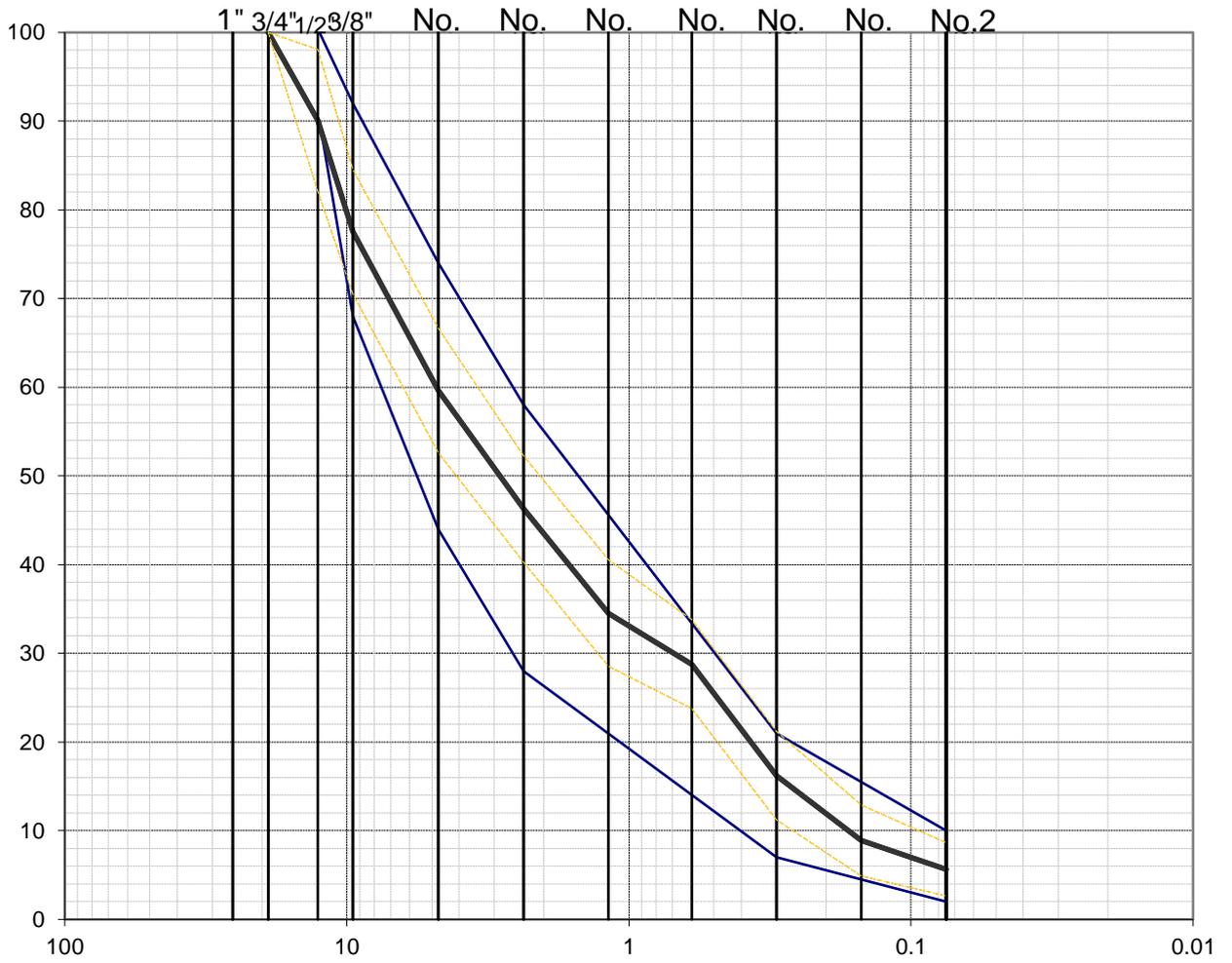
Según la curva, podemos concluir que los agregados son mal graduados debido a que existe una graduación uniforme de tamaños.

PROYECTO: TESIS	MEZCLA ASFALTICA T/N 1/2"	Julio /2019
-----------------	------------------------------	-------------

Agregado	Cantera	TAMAÑO DEL TAMIZ PORCENTAJE QUE PASA									
		3/4 "	1/2 "	3/8 "	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
A. 3/4"		100	58.6	21.4	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A. 3/8"		100	100	92.0	65.8	42.0	23.0	17.8	12.9	9.9	7.5
A. Natural		100	100	99.7	93.3	86.9	76.3	65.5	32.9	14.2	7.3
Especificaciones Deseadas											

GRADUACION COMBINADA PARA MEZCLAS PRUEBA

Agregado	Porcentaje Usado	TAMAÑO DEL TAMIZ PORCENTAJE QUE PASA									
		3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
A. 3/4"	24%	20.0	14.1	5.1	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
A. 3/8"	44%	44.0	44.0	40.5	29.0	18.5	10.1	7.8	5.7	4.4	3.3
A. Natural	32%	32.0	32.0	31.9	29.9	27.8	24.4	21.0	10.5	4.5	2.3
		100	90.1	77.5	59.6	46.3	34.5	28.8	16.2	8.9	5.6
Especificaciones Deseadas		100	100		74	58			21		10
		95	90		44	28			7		2
Faja de Trabajo		100	98	85	67	52	41	34	21	13	9
		92	82	71	53	40	29	24	11	5	3



Faja de Control

100

82.1 - 98.1

70.5 - 84.5

52.6 - 66.6

40.3 - 52.3

28.5 - 40.5

23.8 - 33.8

11.2 - 21.2

4.9 - 12.9

2.6 - 8.6

4.8 GRAVEDADES ESPECÍFICAS

USO	MEZCLA ASFALTICA T/N 1/2"
MATERIAL	AGREGADO 3/4"
FECHA:	Julio del 2019

AGREGADO 3/4"

Material que pasa el tamiz 1" y es retenido en el tamiz # 4

A : Peso en el aire de la muestra secada al horno :	2,010.0 gr
B : Peso en el aire de la muestra saturada :	2,034.0 gr
C : Peso en el agua de la muestra saturada :	1,298.0 gr
Gravedad Especifica de masa	2.731 gr/cm3
Gravedad Especifica de s.s.s.	2.764 gr/cm3
Gravedad Especifica aparente	2.823 gr/cm3
% de absorción	1.19%

GRAVEDADES ESPECIFICAS

ARENA DE RIO

Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el tamiz

A : Peso en el aire de la muestra secada al horno :	492.0 gr
V : Volumen de la Probeta :	500.0 gr
W : Peso en gramos o volumen en ml. del agua añadida :	305.4 gr
Gravedad Especifica de masa	2.528 gr/cm3
Gravedad Especifica de s.s.s.	2.569 gr/cm3
Gravedad Especifica aparente	2.637 gr/cm3
% de absorción	1.63%

PROYECTO	TESIS
USO	MEZCLA ASFALTICA T/N 1/2"
MATERIAL	AGREGADO 3/8"
FECHA:	Julio del 2019

GRAVEDADES ESPECÍFICAS

AGREGADO RET. TAMIZ # 4

Material que pasa el tamiz 1/2" y es retenido en el tamiz # 4

A : Peso en el aire de la muestra secada al horno :	1,670.0 gr
B : Peso en el aire de la muestra saturada :	<u>1,698.0 gr</u>
C : Peso en el agua de la muestra saturada :	<u>1,094.0 gr</u>
Gravedad Especifica de masa	2.765 gr/cm3
Gravedad Especifica de s.s.s.	2.811 gr/cm3
Gravedad Especifica aparente	2.899 gr/cm3
% de absorción	1.68%

GRAVEDADES ESPECIFICAS

AGREGADO FINO PAS. TAMIZ # 4

Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el tamiz

A : Peso en el aire de la muestra secada al horno :	490.0 gr
V : Volumen de la Probeta :	<hr/> 500.0 gr
W : Peso en gramos o volumen en ml. del agua añadida :	<hr/> 308.0 gr

Gravedad Especifica de masa **2.552 gr/cm³**

Gravedad Especifica de s.s.s. **2.604 gr/cm³**

Gravedad Especifica aparente **2.692 gr/cm³**

% de absorción **2.04%**

PROPIEDADES	VALOR OBTENIDO	EXIGENCIAS
% DE ASFALTO	6.10	± 3 %
ESTABILIDAD	2460	> 1800 lbs
FLUJO	13	8 - 14 pulg/100
PESO UNITARIO	2.309	N. A.
VACIOS EN MEZCLA	4	3.0 - 5.0 %
VACIOS EN AGREGADOS	14.76	> 14%

PROPIEDADES	RANGO DEL % DE ASFALTO DONDE SE CUMPLEN LAS EXIGENCIAS	EXIGENCIAS
ESTABILIDAD	5.0 - 7.0	> 1800 lbs
FLUJO	5.0 - 7.0	8 - 14 pulg/100
PESO UNITARIO	-----	N. A.
VACIOS EN MEZCLA	5.6 - 7.0	3.0 - 5.0 %
VACIOS EN AGREGADOS	5.0 - 7.0	> 14%

% DE ASFALTO	5.8 – 6.4
--------------	-----------

% OPTIMO DE ASFALTO	6.00
---------------------	------

PROPIEDADES	VALOR OBTENIDO	EXIGENCIAS
% DE ASFALTO	6.10	± 3 %
ESTABILIDAD	2460	> 1800 lbs
FLUJO	13	8 - 14 pulg/100
PESO UNITARIO	2.309	N. A.
VACIOS EN MEZCLA	4	3.0 - 5.0 %
VACIOS EN AGREGADOS	14.76	> 14%

4.9 GRAVEDAD ESPECÍFICA MEZCLA ASFÁLTICA RICE

MEZCLA CONVENCIONAL

GRAVEDAD MÁX. TEÓRICA RICE

$$\frac{A}{(A + B - C)}$$

DONDE:

A= Peso de Mezcla	=	1,000.0
B= Peso del Picnómetro + Agua	=	7,326.0
C= Peso Picnómetro + Agua + Mezcla	=	7,926.0

$$\frac{1,000.0}{1,000.0 + 7,326.0 - 7,926.0} = 2.500$$

GRAVEDAD EFECTIVA

$$\frac{100 - A}{\frac{100}{C} - \frac{A}{B}}$$

DONDE:

A = C. Asfalto	=	6.0%
B = P. E. Asfalto	=	1.016
C = Gravedad Máxima Teórica Rice	=	2.500

$$\frac{100 - 6}{\frac{100}{2.469} - \frac{6.0}{1.016}} = 2.717$$

GRAVEDAD FINO $\frac{3}{8}$

$$\frac{100}{\frac{A}{C} + \frac{B}{D}}$$

DONDE:

- A = % Porcentaje Retenido del agregado = 34.2%
- B = % Porcentaje Pasante del agregado = 65.8%
- C = Gravedad Específica de Masa = 2.765
- D = Gravedad Específica del Fino = 2.552

$$\frac{100}{\frac{34.2}{2.765} + \frac{65.8}{2.552}} = 2.621$$

GRAVEDAD BULK

$$\frac{100}{\frac{A}{D} + \frac{B}{E} + \frac{C}{F}}$$

DONDE:

A = % Porcentaje de agregado $\frac{3}{4}$ a usar	=	24.0%
B = % Porcentaje de agregado $\frac{3}{8}$ a usar	=	44.0%
C = % Porcentaje de Arena a usar	=	32.0%
D= Gravedad Específica de agregado $\frac{3}{4}$	=	2.731
E= Gravedad Específica Fino	=	2.621
F = Gravedad Específica de Arena	=	2.528

$$\frac{100}{\frac{24.0}{2.731} + \frac{44.0}{2.621} + \frac{32.0}{2.528}} = 2.616$$

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$100 \times \frac{A - B}{A \times B} \times C$$

DONDE:

A = Gravedad Efectiva	=	2.717
B = Gravedad Bulk	=	2.616
C = Peso Específico del Asfalto	=	1.016

$$100 \times \frac{2.717 - 2.616}{2.717 \times 2.616} \times 1.016 = 1.45\%$$

GRAVEDAD APARENTE

$$\frac{100}{\frac{A}{D} + \frac{B}{E} + \frac{C}{F}}$$

DONDE:

A = % Porcentaje de agregado $\frac{3}{4}$ a usar	=	24.0%
B = % Porcentaje de agregado $\frac{3}{8}$ a usar	=	44.0%
C = % Porcentaje de Arena a usar	=	32.0%
D= Gravedad Específica aparente de agregado $\frac{3}{4}$	=	2.823
E= Gravedad Específica aparente de agregado $\frac{3}{8}$	=	2.759
F= Gravedad Específica aparente de Arena	=	2.637

$$\frac{100}{\frac{24.0}{2.823} + \frac{44.0}{2.759} + \frac{32.0}{2.637}} = 2.733$$

CON POLÍMEROS

GRAVEDAD MÁX. TEÓRICA RICE

$$\frac{A}{(A + B - C)}$$

DONDE:

A= Peso de Mezcla	=	1,000.0
B= Peso del Picnómetro + Agua	=	7,325.0
C= Peso Picnómetro + Agua + Mezcla	=	7,920.0

$$\frac{1,000.0}{1,000.0 + 7,325.0 - 7,920.0} = 2.469$$

GRAVEDAD EFECTIVA

$$\frac{100 - A}{\frac{100}{C} - \frac{A}{B}}$$

DONDE:

A = C. Asfalto	=	6.0%
B = P. E. Asfalto	=	1.016
C = Gravedad Máxima Teórica Rice	=	2.469

$$\frac{100 - 6}{\frac{100}{2.469} - \frac{6.0}{1.016}} = 2.717$$

GRAVEDAD FINO $\frac{3}{8}$

$$\frac{100}{\frac{A}{C} + \frac{B}{D}}$$

DONDE:

A = % Porcentaje Retenido del agregado	=	34.2%
B = % Porcentaje Pasante del agregado	=	65.8%
C = Gravedad Específica de Masa	=	2.765
D= Gravedad Específica del Fino	=	2.552

$$\frac{100}{\frac{34.2}{2.765} + \frac{65.8}{2.552}} = 2.621$$

GRAVEDAD BULK

$$\frac{100}{\frac{A}{D} + \frac{B}{E} + \frac{C}{F}}$$

DONDE:

A = % Porcentaje de agregado $\frac{3}{4}$ a usar	=	24.0%
B = % Porcentaje de agregado $\frac{3}{8}$ a usar	=	44.0%
C = % Porcentaje de Arena a usar	=	32.0%
D= Gravedad Específica de agregado $\frac{3}{4}$	=	2.731
E= Gravedad Específica Fino	=	2.621
F = Gravedad Específica de Arena	=	2.528

$$\frac{100}{\frac{24.0}{2.731} + \frac{44.0}{2.621} + \frac{32.0}{2.528}} = 2.616$$

PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

$$100 \times \frac{A - B}{A \times B} \times C$$

DONDE:

A = Gravedad Efectiva	=	2.717
B = Gravedad Bulk	=	2.616
C = Peso Específico del Asfalto	=	1.016

$$100 \times \frac{2.717 - 2.616}{2.717 \times 2.616} \times 1.016 = 1.45\%$$

GRAVEDAD APARENTE

$$\frac{100}{\frac{A}{D} + \frac{B}{E} + \frac{C}{F}}$$

DONDE:

A = % Porcentaje de agregado $\frac{3}{4}$ a usar	=	24.0%
B = % Porcentaje de agregado $\frac{3}{8}$ a usar	=	44.0%
C = % Porcentaje de Arena a usar	=	32.0%
D= Gravedad Específica aparente de agregado $\frac{3}{4}$	=	2.823
E= Gravedad Específica aparente de agregado $\frac{3}{8}$	=	2.759
F= Gravedad Específica aparente de Arena	=	2.637

$$\frac{100}{\frac{24.0}{2.823} + \frac{44.0}{2.759} + \frac{32.0}{2.637}} = 2.733$$

DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS METODO MARSHALL

PROYECTO: TESIS		USO : MEZCLA ASFALTICA T/N 1/2"																	
		FECHA : 21 de junio de 2019					GRADO CEMENTO ASFALTICO: AC-20 60-70												
PESO ESPECIFICO DE AGREGADOS PARA DISEÑO :		G _{agr} = 2,616					PESO ESPECIFICO DE CEMENTO ASFALTICO					G _{asf} = 1,016							
MEZCLA No.	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN	PESO ESPECIFICO			ASFALTO ABSORVIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	V.F.A. %	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD - LB		FLUJO 0.01"
		SECA EN AIRE	S. S. EN AIRE	EN AGUA		"BULK"	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIDO		AGREGADOS	VACIOS EN AIRE	ASFALTO EFECTIVO					MEDIDA	CORREGIDA	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
						$\frac{c}{d - e}$			$\frac{(i - h)10^4}{i.h(100 - b)}$	$\frac{(100 - b)g}{G_{agr}}$	$\left(1 - \frac{g}{i}\right) \times 100$	$100 - k - l$	$100 - k$	$b - \frac{(100 - h)}{100}$	$100 \times \frac{m}{n}$				
1		1.197,0	1.200,0	681,0	519,0	2,306										1,00	2400	2.400	8
2		1.199,0	1.202,0	683,0	519,0	2,310										1,00	2295	2.295	8
3		1.198,0	1.202,0	683,0	519,0	2,308										1,00	2391	2.391	8
Promedio	5,00					2,308	2,425	2,507	1,43	83,84	7,94	8,22	16,16	4,02	50,89			2,362	8
1		1.201,0	1.204,0	692,0	512,0	2,346										1,00	2470	2.470	10
2		1.196,0	1.200,0	690,0	510,0	2,345										1,00	2444	2.444	9
3		1.204,0	1.207,0	693,0	514,0	2,342										1,00	2495	2.495	10
Promedio	5,50					2,344	2,407	2,488	1,43	84,70	5,77	9,52	15,30	4,52	62,26			2,470	10
1		1.197,0	1.200,0	695,0	505,0	2,370										1,04	2464	2.563	11
2		1.195,0	1.198,0	694,0	504,0	2,371										1,04	2422	2.519	12
3		1.194,0	1.198,0	694,0	504,0	2,369										1,04	2477	2.576	10
Promedio	6,00					2,370	2,390	2,469	1,43	85,18	4,01	10,81	14,82	5,02	72,95			2,553	11
1		1.195,0	1.198,0	693,0	505,0	2,366										1,04	2431	2.528	12
2		1.200,0	1.203,0	695,0	508,0	2,362										1,04	2419	2.516	13
3		1.198,0	1.201,0	694,0	507,0	2,363										1,04	2428	2.525	13
Promedio	6,50					2,364	2,373	2,450	1,43	84,50	3,54	11,96	15,50	5,52	77,19			2,523	13
1		1.200,0	1.203,0	696,0	507,0	2,367										1,04	2390	2.486	14
2		1.202,0	1.205,0	697,0	508,0	2,366										1,04	2344	2.438	14
3		1.200,0	1.204,0	696,0	508,0	2,362										1,04	2455	2.553	14
Promedio	7,00					2,365	2,356	2,432	1,43	84,09	2,76	13,15	15,91	6,02	82,67			2,492	14

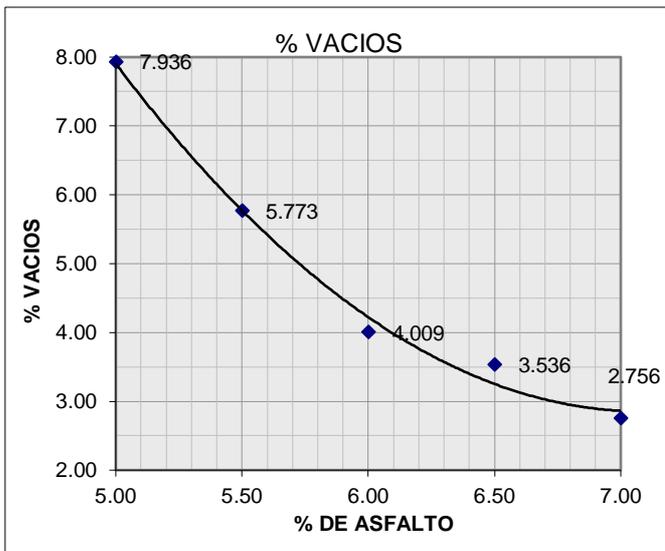
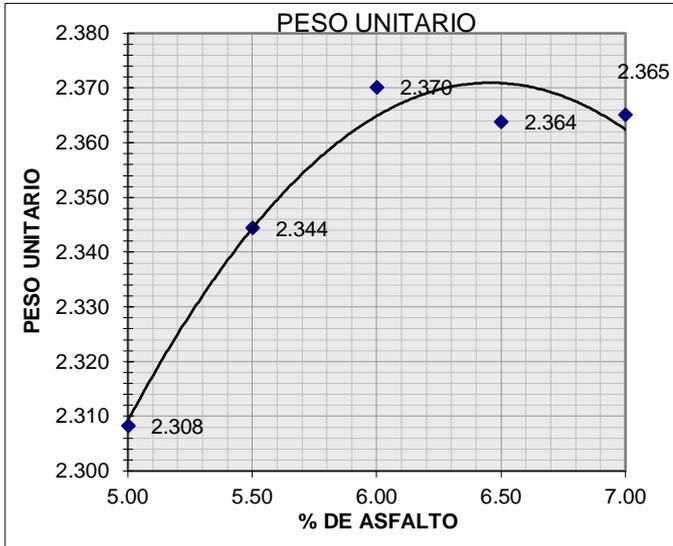
4.10 Resumen de Resultados de Prueba Marshall para Mezcla Convencional

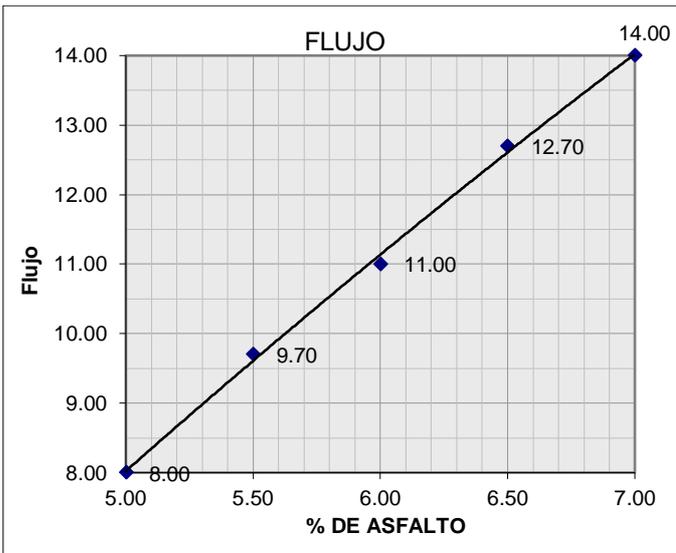
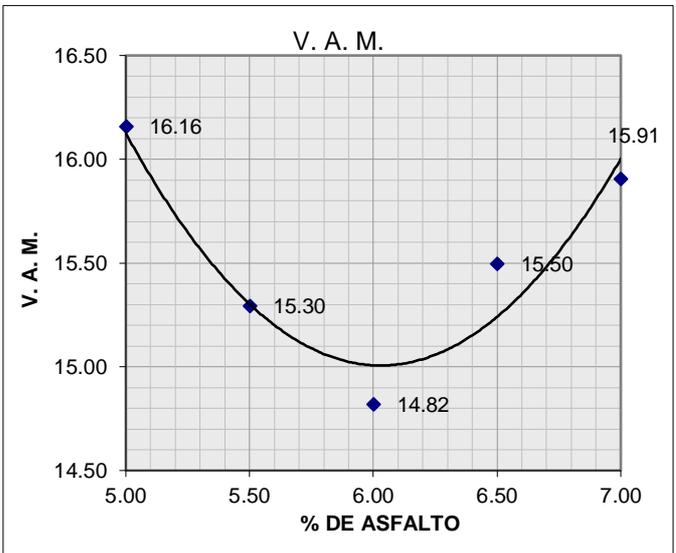
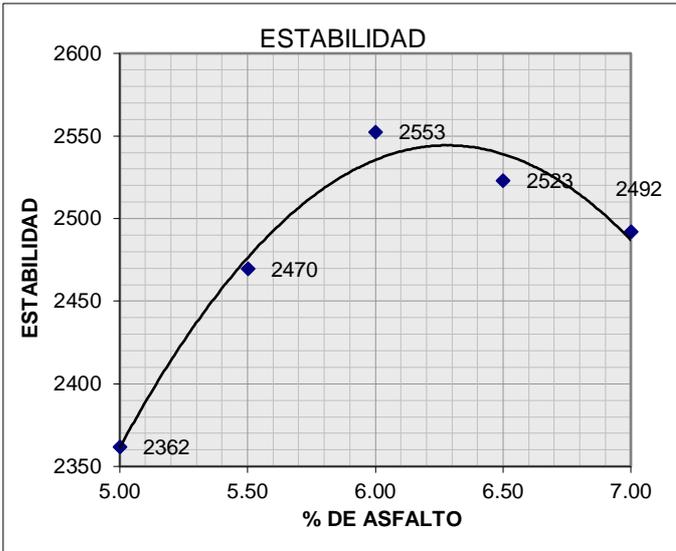
PROYECTO: TESIS										USO : MEZCLA ASFALTICA T/N 1/2"									
FECHA : Junio del 2019										GRADO CEMENTO ASFALTICO: AC-20 60-70									
PESO ESPECIFICO DE AGREGADOS PARA DISEÑO : $G_{agr} = 2.616$										PESO ESPECIFICO DE CEMENTO ASFALTICO $G_{ast} = 1.016$									
MEZCLA No.	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			VOLUMEN	PESO ESPECIFICO			ASFALTO ABSORVIDO %	VOLUMEN - % TOTAL			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	V.F.A. %	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD - LB		FLUJO 0.01"
		SECA EN AIRE	S. S. EN AIRE	EN AGUA		"BULK"	MAXIMO TEORICO	MAXIMO MEDIDO		AGREGADOS	VACIOS EN AIRE	ASFALTO EFECTIVO					MEDIDA	CORREGIDA	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
						$\frac{c}{d - e}$			$\frac{(i - h)10^4}{i.h(100 - b)}$	$\frac{(100 - b)g}{G_{agr}}$	$\left(1 - \frac{g}{i}\right) \times 100$	$100 - k - l$	$100 - k$	$b - \frac{(100 - h)}{100}$	$100 \times \frac{m}{n}$				
1		1 197.0	1 200.0	681.0	519.0	2.306										1.00	2298	2 298	8
2		1 199.0	1 202.0	683.0	519.0	2.310										1.00	2295	2 295	9
3		1 198.0	1 202.0	683.0	519.0	2.308										1.00	2302	2 302	8
Promedio	5.00					2.308	2.425	2.507	1.43	83.84	7.94	8.22	16.16	4.02	50.89			2 298	8
1		1 201.0	1 204.0	692.0	512.0	2.346										1.00	2404	2 404	9
2		1 196.0	1 200.0	690.0	510.0	2.345										1.00	2398	2 398	10
3		1 204.0	1 207.0	693.0	514.0	2.342										1.00	2394	2 394	10
Promedio	5.50					2.344	2.407	2.488	1.43	84.70	5.77	9.52	15.30	4.52	62.26			2 399	10
1		1 197.0	1 200.0	695.0	505.0	2.370										1.04	2360	2 454	12
2		1 195.0	1 198.0	695.0	503.0	2.376										1.04	2370	2 465	11
3		1 194.0	1 198.0	694.0	504.0	2.369										1.04	2371	2 466	11
Promedio	6.00					2.372	2.390	2.469	1.43	85.24	3.94	10.82	14.76	5.02	73.28			2 462	11
1		1 195.0	1 198.0	693.0	505.0	2.366										1.04	2354	2 448	12
2		1 200.0	1 203.0	696.0	507.0	2.367										1.04	2348	2 442	13
3		1 198.0	1 201.0	695.0	506.0	2.368										1.04	2352	2 446	13
Promedio	6.50					2.367	2.373	2.450	1.43	84.61	3.41	11.98	15.39	5.52	77.85			2 445	13
1		1 200.0	1 203.0	696.0	507.0	2.367										1.04	2305	2 397	14
2		1 202.0	1 205.0	697.0	508.0	2.366										1.04	2314	2 407	14
3		1 200.0	1 204.0	696.0	508.0	2.362										1.04	2298	2 390	14
Promedio	7.00					2.365	2.356	2.432	1.43	84.09	2.76	13.15	15.91	6.02	82.67			2 398	14

4.11 Resumen de Resultados de Prueba Marshall para Mezcla con Polímeros

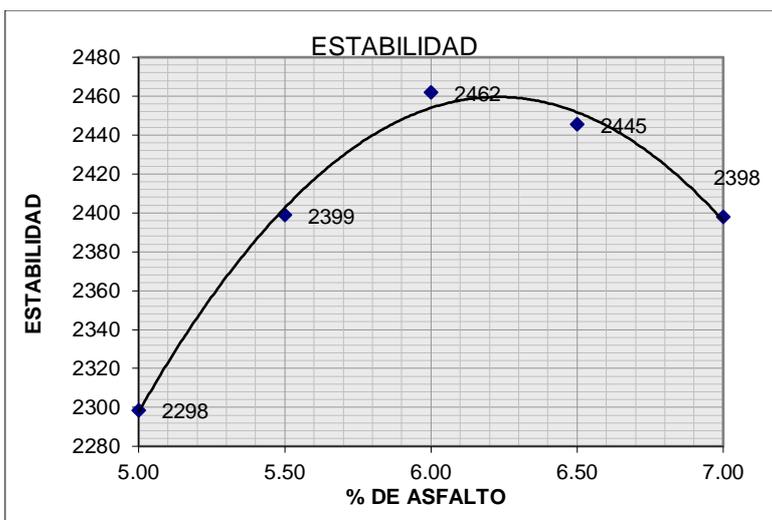
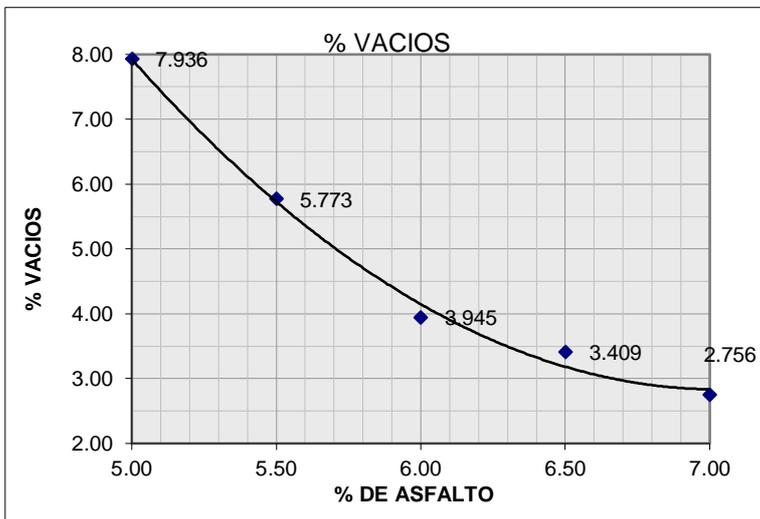
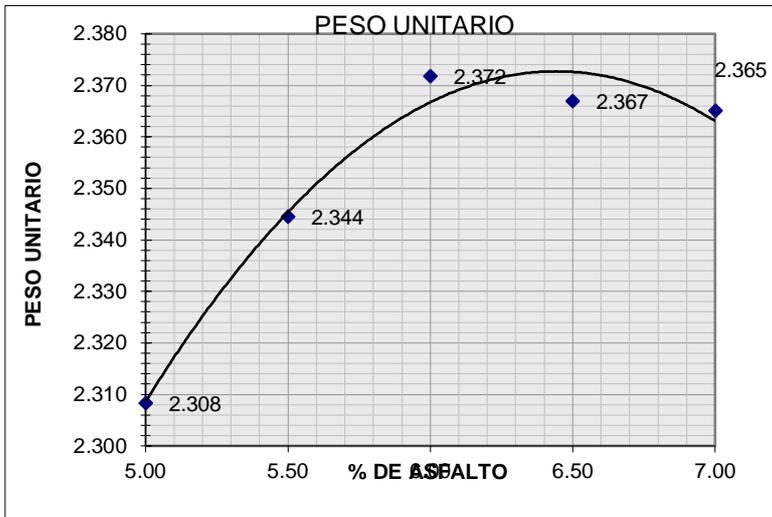
4.12 Gráficos de Ensayo Marshall

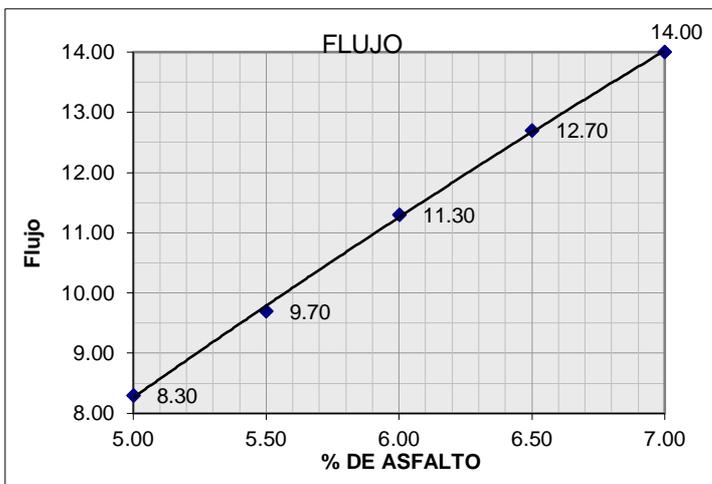
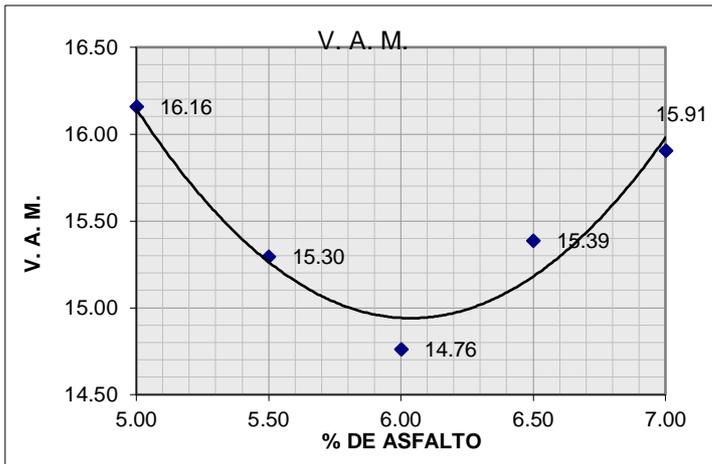
Mezcla Convencional





Con Polímeros SBS





De acuerdo a las curvas obtenidas, se debe tomar en cuenta el porcentaje de valor máximo de las curvas de estabilidad, peso unitario y % vacíos, para así sacar un promedio entre las tres y obtener el contenido de asfalto óptimo.

Para Mezcla Convencional

$$\%Asfalto \acute{O}ptimo = \frac{6.4 + 6.3 + 6.3}{3}$$

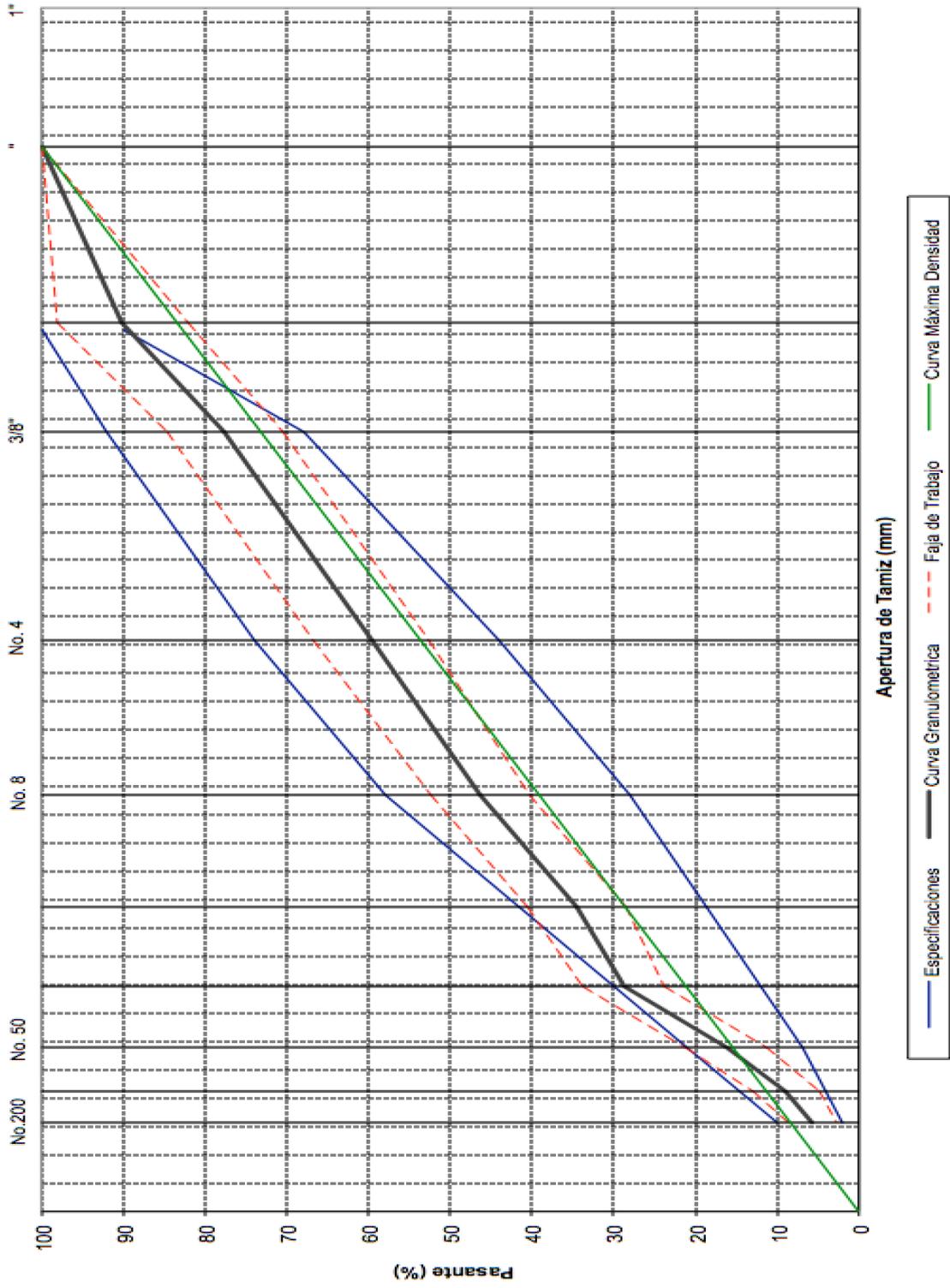
$$\%Asfalto \acute{O}ptimo = 6.3$$

Para Mezcla Con Polímeros

$$\%Asfalto \acute{O}ptimo = \frac{6.1 + 6.1 + 6.1}{3}$$

$$\%Asfalto \acute{O}ptimo = 6.10$$

**CURVA DE MAXIMA DENSIDAD
APERTURA DE TAMIZ POTENCIA 0.45**



CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 Análisis de Precio Unitario para mezcla convencional

Proyecto: Tesis

RUBRO: **UNIDAD:** m³

DESCRIPCIÓN Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta

:

M) EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIENTO R	COSTO D=CxR
Herramienta menor (5%MO)	1	0,338	0,338	1,0000	0,3382
Planta de asfalto	1	100,000	100,000	0,1200	12,0000
SUB-TOTAL M:					12,3382

N) MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDA D A	JORNAL/HOR A B	COSTO HORA C=AxB	RENDIMIEN T O R	COST O D=Cx R
Op. Planta asfáltica (Grupo I)	1	4,18	4,180	0,1200	0,5016
Maestro de obra (Est. Ocup. C1)	1	4,18	4,180	0,1200	0,5016
Ayud. Maquinaria (Est. Ocup. C3)	1	3,84	3,840	0,1200	0,4608
Peón (Est. Ocup. E2)	2	3,75	7,500	0,1200	0,9000
SUB-TOTAL N:					2,3640

O) MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO C=AxB
Cemento asfáltico	Lts	155,000	0,300	46,5000
Agregados para carpeta asfáltica	m3	1,350	15,000	20,2500
Diesel	Lts	30,000	0,280	8,4000
SUB-TOTAL O:				75,1500

P) TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUB-TOTAL P:				
Nota: Estos precios no incluyen IVA	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):			89,8520
	GASTOS GENERALES:			15,0 0%
	INDIRECTOS Y UTILIDAD:			13,4778
	COSTO TOTAL DEL RUBRO:			103,329 8
	VALOR OFERTADO:			103,33

O) MATERIALES				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNITARIO (B)	COSTO C=AxB
Cemento asfáltico	Lts	155,000	0,300	46,5000
Agregados para carpeta asfáltica	m3	1,350	15,000	20,2500
Diesel	Lts	30,000	0,280	8,4000
Polimeros de Adherencia Asfáltica	Kg.	95,000	0,600	57,0000
SUB-TOTAL O:				132,1500

P) TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=AxB
SUB-TOTAL P:				
Nota: Estos precios no incluyen IVA	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P):			146,8520
	GASTOS GENERALES:			15,00%
	INDIRECTOS Y UTILIDAD:			
	COSTO TOTAL DEL RUBRO:			168,8798
	VALOR OFERTADO:			168,88

Al comparar ambos análisis de precio unitario se evidencia que al usar polímeros se tiene una diferencia de \$65,55 extra por metro cúbico, es decir, resulta 63% más caro realizar la carpeta de rodadura con polímeros SBS.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Al realizar un análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las respectivas mezclas de asfalto en caliente, se puede concluir lo siguiente:

- Este estudio ha demostrado que en cuanto a resistencia a las deformaciones plásticas, el polímero SBS contribuye significativamente. De la misma manera con respecto a la resistencia a la acción de la temperatura.
- En 1m^3 de mezcla en producción con la mezcla convencional se utilizan cuatro galones de diesel, mientras que en el mismo 1m^3 de mezcla al aplicar el polímero SBS se utilizarían 3 galones por 1m^3 . Esto es debido a que a diferencia de la mezcla convencional cuyo porcentaje óptimo de asfalto fue de 6,3%, en la mezcla con polímeros se obtuvo como porcentaje óptimo 6,1%.
- Los resultados de esta investigación obtenidos en el ensayo Rice demuestran que el polímero SBS mejoró satisfactoriamente la adherencia entre los áridos y el debido a que la gravedad Máxima Teórica Rice disminuyó en un 1,6%.
- Al realizar las pruebas a las briquetas con diferentes porcentajes de polímero, se tuvo que el porcentaje óptimo de polímero para trabajar es de 3%, con 6,1% de asfalto.
- En cuanto al ámbito económico, se evidenció que al hacer uso de polímeros se tiene un costo inicial en un 63% más alto, pero esta diferencia queda justificada debido a la mejora en las propiedades de la mezcla asfáltica que brindan los polímeros. Dado que es común observar que en las vías estatales el mantenimiento de las mismas es realizado año tras año debido problemas evidentes como la pérdida de finos en la carpeta asfáltica, agrietamiento longitudinal, etc., es por esto que se justifica el uso de polímeros, ya que reducen este tipo de fallas ya que este aditivo ayuda a que la piedra se adhiera al asfalto evitando así el desprendimiento de finos brindando al asfalto más años de vida útil, y como consecuencia se reducen los gastos en mantenimiento.

6.2 Recomendaciones

De acuerdo a las conclusiones obtenidas, se recomienda lo siguiente:

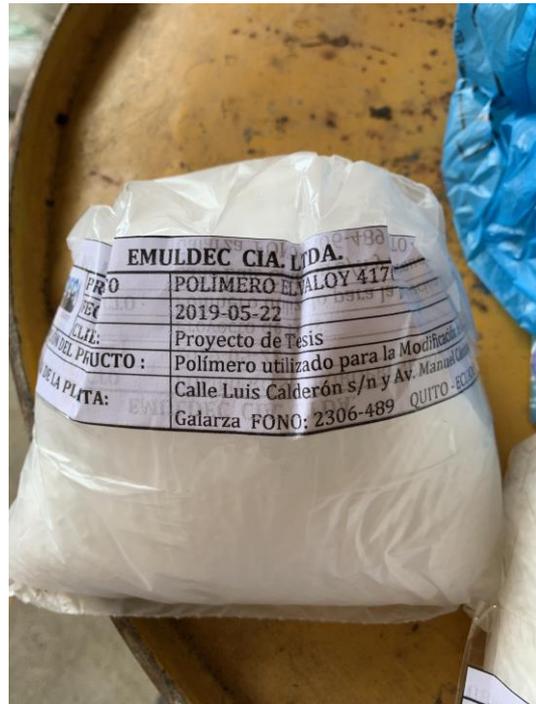
- Es recomendable usar polímeros SBS para modificar asfaltos en vías que presenten constantes problemas de desgaste, siempre y cuando cumplan con condiciones similares a las expuestas en este trabajo de investigación.
- Se recomienda ser cuidadoso en cuanto a la temperatura a la que es agregado el polímero, ya que si se mezcla a una temperatura menor a 135°C la mezcla no presentaría mejora alguna en sus propiedades.
- Según los ensayos realizados, es apropiado usar el 3% de polímeros en la mezcla asfáltica, sin embargo, se recomienda realizar ensayos previos al asfalto ya que no siempre cuentan con las mismas propiedades.

Bibliografía

- Asociación de Productores y Pavimentadores Asfálticos de Colombia ASOPAC. (2004). Cartilla del pavimento asfáltico. *Cartilla del pavimento asfáltico*, 51.
- Avellan Cruz, M. D. (2007). *ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2705_C.pdf
- AYALA AVELLÁN, G. G. (2017). *ESTABILIZACIÓN Y CONTROL DE SUELOS EXPANSIVOS USANDO POLÍMEROS*.
- Badillo, S., & Rodríguez, R. (2008). *Mecánica de Suelos* (Vol. II). México, Distrito Federal: Limusa.
- Cremadres Ibáñez, I. (s.f.). *Asfaltos modificados*.
- Crespo, C. (2004). *Vías De Comunicación* (3era ed.). (Limusa, Ed.) México.
- EC, D. (2017). *Tipos de Pavimento*. Obtenido de <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/444347-tipos-de-pavimento/>
- FARINGO BILBAO, D. R. (2014). *ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE COSTOS ENTRE PAVIEMTNO RÍGIDO Y PAVIMENTO FLEXIBLE*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2559/1/T-UCE-0011-87.pdf>
- López, S., & Veloz, Y. (2013). *Artículo Científico: Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros sbr y sbs, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba*. (S. ESPE, Ed.) Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6471>
- Maila Paucar , M. E. (2013). *COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO ETILENO VINIL ACETATO (EVA)*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec:8080/bitstream/25000/742/1/T-UCE-0011-31.pdf>
- Ministerio de Obras Públicas. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes* (Vol. I). Quito, Ecuador.
- Montejo Fonseca, A. (2006). *Ingeniería de Pavimentos* (3a edición ed., Vol. II). Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Montejo Fonseca, A. (2006). *Ingeniería de Pavimentos (Fundamentos, estudios básicos y diseño)* (3era edición ed., Vol. I). Bogotá.
- Padilla Rodríguez, A. (s.f.). *Mezclas Asfálticas*. Obtenido de [upc.edu: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14)
- Prado, J. (2013). *Uso de Polímeros en el Asfalto*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/raysugar5/metodologia-de-la-invest-uso-de-polimeros-en-el-asfalto>
- Reyes Lizcano, F. A. (2003). *Diseño racional de pavimentos* (1era Edición ed.). Bogotá.
- Robert, G. (2014). *Materiales Bituminosos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/lmanosguerrero/matbituminosos>
- WULF RODRIGUEZ, F. A. (2008). *“ANÁLISIS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMERO”*. Obtenido de [cybertesis: http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/sources/bmfciw961a.pdf](http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/sources/bmfciw961a.pdf)
- Wulf Rodríguez, F. A. (2008). *“ANÁLISIS DE PAVIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMERO”*. Obtenido de [cybertesis: http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/sources/bmfciw961a.pdf](http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/sources/bmfciw961a.pdf)

Anexos

Tipo de Polímero SBS (Tipo I) a ser utilizado en esta tesis.



Peso natural de agregados: $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{8}$ y arena



Lavado de agregados : $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{8}$ y arena para determinar granulometría



Secado de agregados : $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{8}$ y arena



Tamizado de materiales

$\frac{3}{4}$



$\frac{3}{8}$



Arena



Tamizado de Material

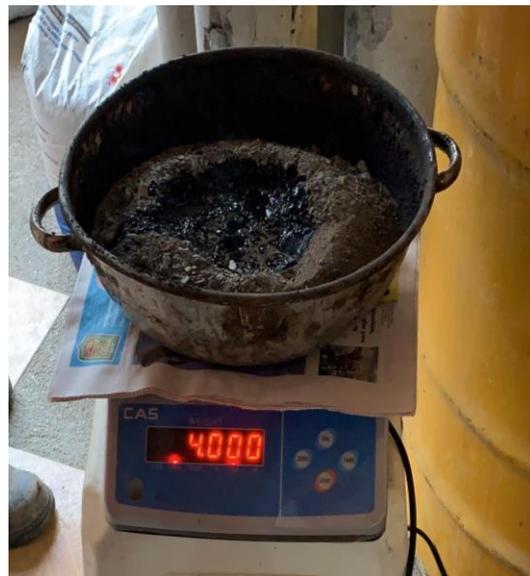


Muestra de AC- 20, como llega de refinería Esmeraldas.



Peso del material para determinar el contenido óptimo de asfalto AC-20: 5% - 5,5% - 6% - 6,5% y 7%.

5,0%



5,5%



6,0%



***Nota: En este punto se usó 5000gr en esta muestra , para usar posteriormente 1000gr en ensayo Rice.**

6,5%



7,0%



Ensayo de compactación Marshall



15 Briquetas con los diferentes porcentajes de asfalto.



Ensayo de Peladura.



PESO DE BRIQUETAS EN SECO



PESO DE BRIQUETAS EN AGUA



PESAS DE LAS BALANZAS



BAÑO DE MARIA PARA LAS BRIQUETAS



TEMPERATURA ACORDE PARA EL PESADO DE LAS BRIQUETAS



MAQUINA DE ENSAYO MARSHALL Y C.B. R.



CALIBRACION DE LA MAQUINA MARSHALL EN CADA AÑO



MANIOBRA Y TABULACION DE RESULTADOS



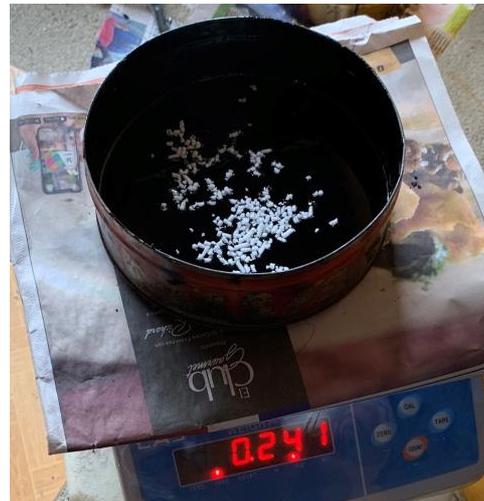
5,0% de AC-20 / 2,5% de Polímero SBS



5,5% de AC-20 / 2,6% de Polímero SBS



6,0% de AC-20 / 3% de Polímero SBS



6,5% de AC-20 / 2,7% de Polímero SBS



7,0% de AC-20 / 2,8% de Polímero SBS





Ensayo de Peladura

