

CAPÍTULO I

FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. INTRODUCCIÓN

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de pavimentos, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos.

En la actualidad los pavimentos asfálticos son las obras de ingeniería a las que se les realizan más reparaciones debido a su rápido desgaste, en consecuencia de ello se generan gastos excesivos en su reparación encareciendo el proyecto final, lo que ha llevado al desarrollo de diferentes estudios en la búsqueda de materiales aditivos para mejorar sus propiedades mecánicas y así poder garantizar el buen funcionamiento de la mezcla asfáltica en la carpeta de rodadura.

La mejora de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con cemento portland o cal hidratada depende de varios factores a considerar, los más importantes son el tipo de filler y el porcentaje de filler añadido en relación con la masa total del agregado.

Lo que el autor propone en esta investigación es obtener el contenido óptimo de cemento portland y fibras de coco y analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas en relación a la mezcla asfáltica convencional.

El aporte de esta investigación es la aplicación práctica del cemento portland y las fibras de coco en diseños de mezclas asfálticas, los resultados servirán para un análisis del comportamiento si verdaderamente existen mejoras en las propiedades mecánicas.

1.2. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

En las últimas décadas el tema referente a la contaminación ha adquirido una mayor connotación en la sociedad, generando un aumento de personas comprometidas a nivel mundial en lucha contra este problema, el compromiso involucra el sector dirigente (político), social y económico, de esta manera se ven comprometidos especialistas sólidamente formados con el fin de ofrecer soluciones realistas y vanguardistas.

La constante alza en la demanda y producción ha producido una carrera sin fin por satisfacer necesidades sin saber que estas pueden llevarnos a un desequilibrio ambiental,

Rosato M. et al (2011) define lo anterior como: "El constante aumento de producción y de consumo, observado en las últimas décadas, nos ha llevado a una creciente acumulación de residuos que constituyen una amenaza para el equilibrio ecológico."

La lucha constante del hombre vs la contaminación ha generado que gran cantidad de procesos industriales, constructivos, etc., sufran una reinención desde su transformación de materia prima a producto consolidado, debido a la anterior el sectores de la ingeniería civil se ven encausados en diseñar procesos constructivos que disminuyan el impacto ambiental normal que estos tenían en sus inicios. La amplia utilización de pavimentos asfálticos a nivel mundial ha originado que se midan y contemplen los daños causados por la construcción de vías en asfalto, en el estudio realizado por Rosato M. et al (2011) identifican el ruido y la vibración causado por la maquinaria utilizada en la pavimentación como perjudicial para la salud humana y el ambiente afectando flora y fauna. Son innumerables las alternativas de construcción de pavimentos amigables con el ambiental, unas más importantes que otras o de más amplio campo de aplicación, la investigación originada por Hernández, J. et al, implementan un pavimento permeable con el fin de evitar la escorrentía en lugares urbanos con el fin de evitar inundaciones en sitios públicos y viviendas.

Según los aportes de algunos autores como:

- En Brasil, Colares, Casagrande y Barbosa (2008) desarrollaron el trabajo titulado *Viabilidad de la fibra de coco en la mezcla de asfalto tipo SMA*. La investigación tuvo como objetivo evaluar la viabilidad de la incorporación de las fibras de coco en mezclas de tipo SMA (*Stone Mastic Asphalt*). Al respecto, los autores realizaron un análisis de la factibilidad de utilizar fibras de coco en la mezcla, a través de pruebas de laboratorio en las que hicieron mediciones sobre pruebas de escorrentía, resistencia a la tracción, módulo resiliente, fatiga y la resistencia a la tracción retenida por la humedad inducida. Cabe anotar que las mezclas SMA tienen entre sus características principales que cuenta con una gradación discontinua y un alto contenido de agregado grueso. De esta manera, en los procesos de mezclado y compactación, que se realizan a altas temperaturas, es cuando se añaden las fibras en las mezclas, las cuales son generalmente de celulosa.

Los valores obtenidos de las pruebas con fibras de coco, se compararon con los obtenidos para mezclas SMA que se hicieron con fibra de celulosa, considerando el

mismo tamaño de partícula aglutinante, agregado y asfalto. Entre los principales resultados se encontró que la fibra de coco cumple con los requisitos de la prueba de escorrentía y no interfiere en los parámetros de la mecánica de la mezcla. Como conclusiones se planteó que la fibra de coco tuvo un buen rendimiento, aunque se presentaron dificultades para un tamaño de 30 mm inicial. En este sentido se consideró que la fibra de coco debe tener un tamaño máximo de 10 mm. También se señaló que la viabilidad de utilizar la fibra de coco es importante debido a que es económicamente viable comparado con la fibra de celulosa, más cuando la fibra de coco sea abundante en la región.

- En India, Pranowo, Jachrizal y Jayanti (2013) realizaron el trabajo titulado *Contribución de la fibra de coco corta a la resistencia al deslizamiento del pavimento*. El objetivo general que se planteó fue describir el efecto de la adición de fibra de coco a mezclas de asfalto con respecto a la vulnerabilidad a los efectos de la temperatura, determinando los cambios en la resistencia al deslizamiento después de varias cargas de vehículos. Los autores parte de la base de que en las zonas con clima tropical, cuando se presenta un aumento en la temperatura de la superficie, se puede producir una afectación negativa del desempeño de mezclas de asfalto que hacen parte de la capa superficial de las estructuras de pavimento. Al respecto se señala que en la mezcla de asfalto un componente principal es el ligante de asfalto el cual requiere aditivos ante el hecho de que el asfalto puede ser muy blando para la pavimentación cuando hay altas temperaturas en verano, puede ser muy frágil en las regiones con temperaturas bajo cero en época de invierno. Frente a esta situación, el uso de aditivos u otros compuestos puede ser necesario para mejorar el desempeño del asfalto en temperaturas extremas.

Es por ello que se señala a la fibra de coco como una posibilidad de incluir en materiales compuestos, la cual requiere un tratamiento antes de su incorporación en la mezcla. Aunque las fibras de coco pueden presentarse en el comercio como largas, cortas y mixtas, con base en las pruebas realizadas en el estudio, se encontró que las fibras cortas de coco, son las más adecuadas. Además, se hizo la comparación de las mezclas con un 0.75% y con un 1.5% de contenido de fibra de coco, incluyendo un asfalto virgen con alto grado de penetración y un bajo punto de reblandecimiento, con miras a poder analizar la manera en que esta fibra contribuye para la resistencia al derrape de las

mezclas de asfalto. Al respecto se encontró que al adicionar un 0.75% de fibra de coco en la mezcla de asfalto se mejora el rendimiento en cuanto a la mejora de la resistencia al derrape, aunque no se aumentó la resistencia del asfalto a los efectos de cambio de temperatura. Así mismo, se obtuvo que la resistencia al derrape va disminuyendo en la medida en que se aumenta la cantidad de vehículos que pasaron por los asfaltos con la mencionada adición de fibra de coco.

- En España, se efectuó el trabajo titulado *Fibras de celulosa aditivadas para mezclas tipo SMA con propiedades mejoradas*, por parte de Lanchas y Núñez (2013), con el objetivo de analizar la influencia de la adición de la fibra de celulosa para la optimización del desempeño en las mezclas tipo SMA. Se partió de que estas mezclas contienen altas dotaciones de ligante, lo que implica que la superficie del material mineral no tenga la capacidad de absorber todo el ligante. Por ello, siempre se ha integrado en sus fórmulas el uso de fibras estabilizantes que buscan evitar ese escurrimiento. Además, dichas fibras también favorecen un reparto más homogéneo de la mezcla formando una capa gruesa y homogénea alrededor de los componentes áridos. En este orden de ideas, en el trabajo se analiza el desarrollo de mezclas que basándose en los principios constitutivos de las SMA convencionales, puedan favorecer la potenciación de los aspectos funcionales, a la vez que la reducción del impacto medioambiental para contribuir de este modo a la mayor sostenibilidad de la construcción y conservación de las carreteras. Al respecto se encontró que para las mezclas SMA (particularmente las mezclas tipo SMA 11 y SMA 16) el mejor producto estabilizante son las fibras de celulosa recubiertas de betún y granuladas, las cuales actúan como inhibidoras del escurrimiento, y además, favorecen el reparto homogéneo del ligante, lo que redundará en un desempeño superior de las mezclas tipo SMA. Por otra parte, se añaden beneficios como que la de presentación de estas fibras posibilita la automatización del almacenado, así como la dosificación e incorporación en la amasadora, lo cual deriva en una producción más constante y uniforme.

- En Colombia, Preciado y Sierra (2013), realizaron el trabajo titulado *Utilización de fibras desechas de procesos industriales como estabilizador de mezclas asfálticas SMA*. Este estudio parte de que las mezclas tipo SMA tienen como ventaja la posibilidad de maximizar la resistencia al amueblamiento y la durabilidad; sin embargo, la mezcla tiene

como característica que presenta segregación entre los agregados y el asfalto, los que implica el escurrimiento del mismo asfalto. Por ello se requiere el uso de fibras que reduzcan el escurrimiento, por lo que se suelen emplear fibras de celulosa politizadas y premezcladas con asfalto. En Colombia no se producen estas fibras por lo que su importación aumenta el costo de la mezcla respecto al costo de una mezcla convencional.

En este orden de ideas, la investigación se orientó en buscar una alternativa para reemplazar de forma eficiente la fibra de celulosa, entre las que se analizaron la fibra de polipropileno proveniente de la producción de elementos de higiene y seguridad, y la fibra de la cáscara de coco. Luego de someter las mezclas a pruebas de desempeño mecánico como módulo recipiente, deformación plástica, y susceptibilidad a la humedad, se halló que las fibras producto de desechos industriales analizadas, incluida la fibra de coco, tienen la capacidad de inhibir el escurrimiento del asfalto y, además, no se produce una alteración apreciable de las propiedades mecánicas estudiadas, en comparación a los resultados que se presentan al emplear la fibra de celulosa.

Con el fin de generar propuestas novedosas y poco perjudiciales para el ambiente, se implementa la investigación de una mezcla asfáltica compuesta por fibras de coco y cemento portland, basados en implementar algo novedoso, es así que en este proyecto se analizara el comportamiento de las propiedades mecánicas para una mezcla asfáltica con granulometría continua.

Si la variación presentada demuestra una optimización en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, esto dará lugar para que se realicen otras investigaciones más a detalle para demostrar si es viable la utilización de este tipo de mezclas mejoradas en proyectos viales de medio y alto volumen de tráfico.

1.3. SITUACIÓN PROBLÉMICA

En nuestro medio utilizamos filler proveniente mediante la trituración de rocas o chancado, y no se considera el uso de otros fillers de gran magnitud como en este caso de procedencia industrial. Es por esta razón que en el presente estudio propone el cemento Portland como una alternativa como filler en una mezcla asfáltica.

El comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales en algunos casos no contempla la realidad de la región en la que se vive, por lo que el pavimento lleva a

presentar efectos de deterioro, fatiga y baja rigidez principalmente en la carpeta de rodadura.

La solución a este fenómeno de deterioro, baja rigidez y fatiga del asfalto es el de adicionar en la mezcla cemento portland y fibras de coco que mejoren las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con el objeto de mejorar su comportamiento, ventajas y desventajas en relación al comportamiento de las mezclas asfálticas convencionales.

1.4. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera mejoramos el comportamiento de las mezclas asfálticas adicionando cemento Portland y fibras de coco?

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Analizar el comportamiento de las mezclas asfálticas empleando el contenido óptimo de cemento portland y fibras de coco, de tal manera que pueda mejorar sus propiedades mecánicas en capas de rodadura, aplicando el método Marshall.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar información teórica de aplicación de cemento portland y fibras de cáscara de coco en mezclas asfálticas.
- Caracterizar los materiales de aportación de diferente procedencia.
- Caracterizar cemento asfáltico (85-100).
- Elaborar varios diseños Marshall con diferentes porcentajes de fibra de coco para determinar su contenido óptimo.
- Utilizar el contenido óptimo de fibras para trabajar con distintos porcentajes de filler (cemento) determinando su contenido óptimo del filler.
- Emplear el equipo Marshall para obtener valores de estabilidad y fluencia para cada uno de los diseños realizados.
- Analizar la estabilidad, fluencia, % de vacíos y densidad, de las mezclas asfálticas calientes con adición de cemento Portland y fibras de coco después de la rotura de briquetas.

- Determinar la incidencia en el costo de una mezcla asfáltica modificada con la adición de cemento Portland y fibras de coco en relación a una mezcla asfáltica normal.

1.6. HIPÓTESIS

Si utilizamos el contenido óptimo de fibras en varios diseños con diferentes porcentajes de filler (cemento Portland) en las mezclas asfálticas, entonces se podrá mejorar las propiedades que cumplan con las especificaciones técnicas para el diseño de pavimentos flexibles a menor costo.

1.7. ALCANCE

El desarrollo de esta investigación buscar aportar con datos y resultados de contenido óptimo de las fibras de coco y cemento Portland que busquen mejorar las propiedades del pavimento asfáltico, probando que la estabilidad del pavimento asfáltico aumente y por lo tanto alargue el periodo de vida de mismo y el envejecimiento prematuro del asfalto, muchas veces, esto se visualiza superficialmente sin la necesidad de que exista un hundimiento y en otras ocasiones de forma más severa con el desprendimiento de la carpeta asfáltica por consiguiente la aparición de baches causando malestar y desconformidad en los usuarios.

Todos los ensayos para caracterizar los materiales, cemento asfáltico se realizaran comprobando que se cumpla las normas AASHTO y ASTM.

Cada diseño de mezclas asfáltica se realizara siguiendo los pasos del método Marshall.

1.8. PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES A UTILIZAR

Los agregados pétreos que se utilizara en la caracterización de agregados serán proporcionados por la chancadora San José de Charaja, chancadora y distribuidora de áridos Erika S.R.L y la seleccionadora de áridos San Blas.

Luego de caracterizar los agregados se optara por utilizar el agregado pétreo de la chancadora que tenga las mejores propiedades y cumplan las especificaciones de las normas AASHTO y ASTM, para luego utilizarlo en el diseño de mezclas asfálticas.

El cemento Portland que se utilizara para el diseño de la mezcla asfáltica será cemento El Puente IP-30 SOBOCE S.A.

El tipo de cemento asfáltico que se utiliza en la investigación será un asfalto normal de penetración 85 – 100, obtenido de la Alcaldía Municipal.

Las fibras de coco tienen su procedencia en el mercado abasto del Sur del departamento de Santa Cruz.

1.9. DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.9.1. Variables independientes (Xi)

Porcentaje de filler

1.9.2. Variables dependientes (Yi)

Estabilidad.

Fluencia.

Densidad

Porcentaje de vacíos.

1.9.3. Conceptualización y operacionalidad de las variables

Tabla 1.1. Conceptualización y operacionalidad de las variables.

Variable independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Porcentaje de filler	Se refiere a los distintos porcentajes de filler (cemento) y fibras de coco, que se adicionarán a las mezclas asfálticas.	Agregados de aportación	Caracterización	Ensayos en laboratorio de hormigones y asfaltos
Variable dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Estabilidad	Se refiere a los parámetros, que caracterizan a la resistencia de una mezcla asfáltica.	Mezcla asfáltica	Mezcla Asfáltica Convencional	Ensayos Método Marshall
Fluencia			Mezcla Asfáltica con distintos porcentajes de filler	
Porcentaje de vacíos				
Densidad				

Fuente: Elaboración propia.

1.10. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.10.1. Unidad de estudio

Mezclas asfálticas calientes.

1.10.2. Población

Mezclas asfálticas modificadas.

1.10.3. Muestra

Cemento Portland y fibras de coco.

Tabla 1.2. Nivel de confianza.

Nivel de confianza %	Nivel de significancia Z
50	0.57
80	1.28
85	1.44
90	1.64
95	1.96
99	2.68

Fuente: Elaboración propia.

$$n_i = \frac{\sum_{i=1}^n N_i * P_i * q_i}{(N * D) + \left(\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^n N_i * P_i * q_i\right)}$$

$$D = \frac{E^2}{Z^2} \quad N = \sum N_i \quad W_i = \frac{N_i}{N}$$

Dónde:

N_i = Población inicial

N = Muestra

P_i = Probabilidad de que ocurra 50%

Q_i = Probabilidad de que no ocurra 50%

E = Error 5%

Z = Nivel de significancia 1.96

NC = Nivel de confianza 95%

1.10.4. Selección de las técnicas de muestreo

La técnica de muestreo más apropiada para estos casos donde se tiene diferentes muestras es el muestreo estratificado por afijación proporcional.

Tabla 1.3. Muestra estratificada por afijación proporcional.

	Grupos	Ni	Pi	qi	Pi*qi	Ni*Pi*qi	Wi	ni
Caracterización del material pétreo	Análisis granulométrico de los agregados	27.00	0.50	0.50	0.25	6.75	0.04	9.00
	Peso unitario de los agregados gruesos y finos	27.00	0.50	0.50	0.25	6.75	0.04	9.00
	Peso específico y absorción del agregado grueso	17.00	0.50	0.50	0.25	4.25	0.02	6.00
	Peso específico y absorción del agregado fino	8.00	0.50	0.50	0.25	2.00	0.01	3.00
	Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	17.00	0.50	0.50	0.25	4.25	0.02	6.00
	Ensayo de desgaste de los agregados por medio de la Máquina de los Ángeles	17.00	0.50	0.50	0.25	4.25	0.02	6.00
	Método para determinar el equivalente de arena	17.00	0.50	0.50	0.25	4.25	0.02	6.00
	Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso y fino	8.00	0.50	0.50	0.25	2.00	0.01	3.00
	Método para determinar el índice de lajas	8.00	0.50	0.50	0.25	2.00	0.01	3.00
	Finura del cemento	2.00	0.50	0.50	0.25	0.50	0.00	1.00

Caracterización del ligante	Ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola	2.00	0.50	0.50	0.25	0.50	0.00	1.00
	Ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de Cleveland	2.00	0.50	0.50	0.25	0.50	0.00	1.00
	Ensayo de penetración de materiales bituminosos	8.00	0.50	0.50	0.25	2.00	0.01	3.00
	Película delgada	8.00	0.50	0.50	0.25	2.00	0.01	3.00
	Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos	8.00	0.50	0.50	0.25	2.00	0.01	3.00
	Ensayo para determinar la gravedad específica de materiales bituminosos	2.00	0.50	0.50	0.25	0.50	0.00	1.00
	Ensayo resistencia Marshall convencional	Briquetas convencionales	135.00	0.50	0.50	0.25	33.75	0.18
Ensayo resistencia Marshall con cemento y fibras de coco	Briquetas con % cemento y fibras de coco	448.00	0.50	0.50	0.25	112.00	0.59	150.00
Total=		761.00	.			190.25		255.00

Fuente: Elaboración propia.

1.11. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS

1.11.1. Listado de actividades a realizar

Obtención y selección de los diferentes materiales.

1.- Caracterización del material pétreo.

Análisis granulométrico de los agregados.

Peso unitario de los agregados gruesos y finos.

Peso específico y absorción del agregado grueso.

Peso específico y absorción del agregado fino.

Porcentaje de caras fracturadas en los agregados.

Ensayo de desgaste de los agregados por medio de la Máquina de los Ángeles.

Método para determinar el equivalente de arena.

Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso y fino.

Método para determinar el índice de lasjas.

Finura del cemento.

2.- Caracterización del ligante (cemento asfáltico).

Ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola.

Ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de Cleveland.

Ensayo de penetración de materiales bituminosos.

Película delgada.

Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos.

Ensayo para determinar la gravedad específica de materiales bituminosos.

3.- Ensayos Marshall.

Estabilidad.

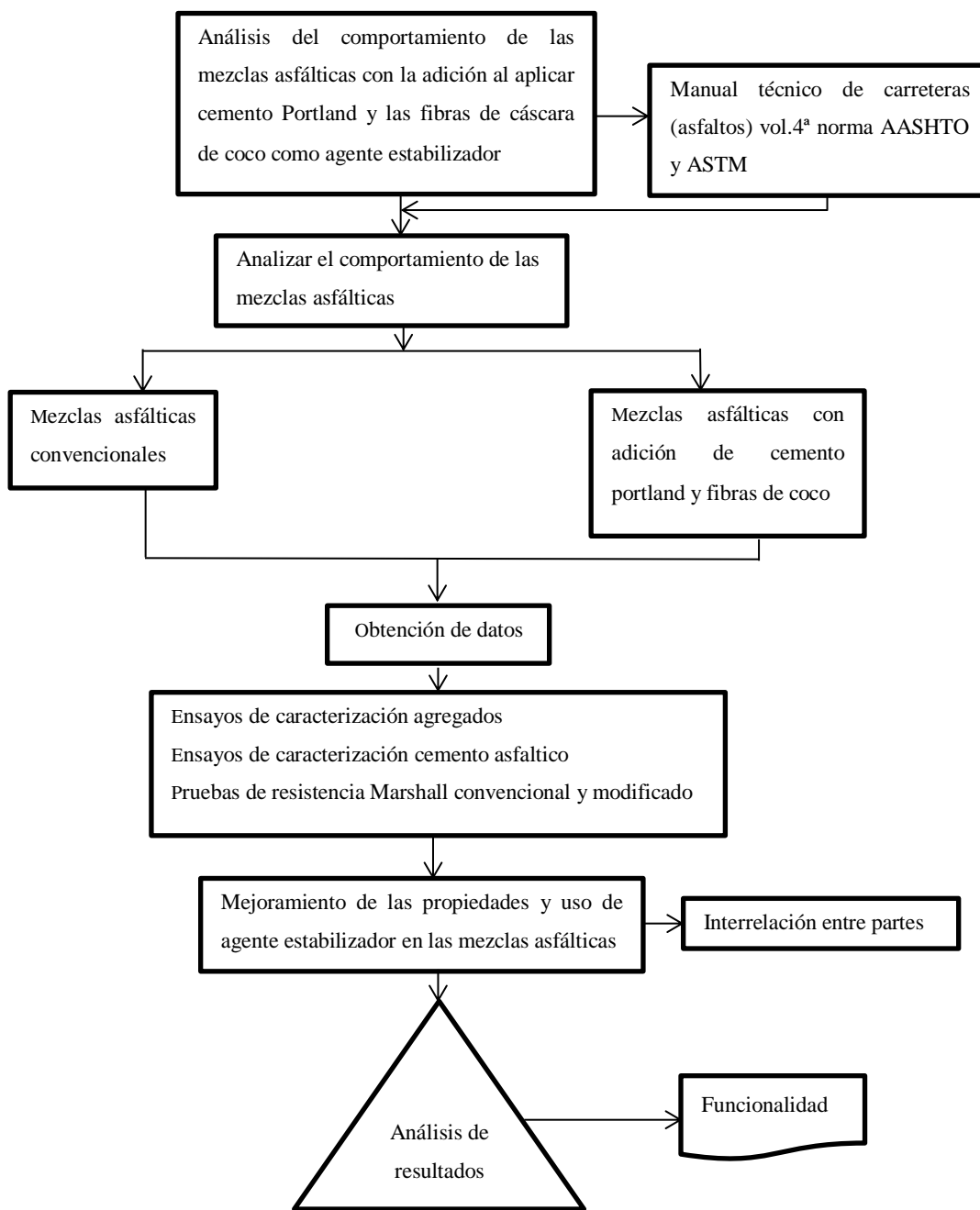
Fluencia.

Porcentaje de vacíos.

Densidad.

1.11.2. Esquema de actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva

Figura 1.1. Esquema de actividades en función al procedimiento de la perspectiva



Fuente: Elaboración propia.

1.11.3. Cronograma de actividades

Tabla 1.4. Cronograma de actividades.

N°	Actividades	Semanas													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Planificación y revisión secuencia de actividades.	■													
2	Obtención de los materiales necesarios para la caracterización de los agregados.		■												
3	Estudio sobre el procedimiento en laboratorio para la preparación de mezclas asfálticas		■												
4	Programación de actividades en laboratorio.		■												
5	Pruebas de laboratorio			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
6	Análisis y depuración de datos erróneos											■	■		
7	Análisis estadístico de los datos												■	■	
8	Análisis de resultados obtenidos													■	
9	Conclusiones y recomendaciones														■

Fuente: Elaboración propia.

1.11.4. Productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva

Obtención de datos, se realizará la obtención de muestras tanto de material pétreo, cemento, fibras de coco y cemento asfáltico.

Ensayos de caracterización de agregados, se realizaran los siguientes: análisis granulométrico de los agregados, peso unitario de los agregados gruesos y finos, peso específico y absorción del agregado grueso, peso específico y absorción del agregado fino, porcentaje de caras fracturadas en los agregados, ensayo de desgaste de los agregados por medio de la Máquina de los Ángeles, método para determinar el equivalente de arena, método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso y fino, método para determinar el índice de lajas, finura del cemento.

Ensayos de caracterización del cemento asfáltico, se realizaron los siguientes: ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola, ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de Cleveland, ensayo de penetración de

materiales bituminosos, película delgada, ensayo de ductilidad de materiales bituminosos, ensayo para determinar la gravedad específica de materiales bituminosos.

Pruebas de estabilidad y fluencia Marshall convencional y modificado, El procedimiento para el diseño está propuesto por el manual técnico para el diseño de carreteras.

Se aplicará cemento Portland en reemplazo del filler en varias proporciones cumpliendo las especificaciones técnicas.

Uso de agente estabilizador en las mezclas asfálticas, las fibras que se emplean deben ser capaces de inhibir el escurrimiento del asfalto. Se trabajará con el contenido óptimo de fibra de coco.

Interrelación entre partes, se aplicará la estadística descriptiva para interrelacionar la variable independiente (X) y las variables dependientes (Y1, Y2, Y3 y Y4).

1.11.5. Resultados esperados

Los resultados esperados del análisis del comportamiento de mezclas asfálticas al aplicar cemento Portland y fibras de coco son:

Aumento en la fluencia y estabilidad Marshall.

Cumplir con el objeto de estudio y la perspectiva de solución, se establecerá las ventajas y desventajas que se pudieran observar.

1.11.6. Análisis de resultados

Selección de programa a utilizar.

El programa a utilizar en el análisis de resultados será el MiniTAB.

Estadística descriptiva.

VARIABLES DEPENDIENTES:

Y1 = Estabilidad

Y3 = Porcentaje de vacíos

Y2 = Fluencia

Y4 = Densidad

Analizar los datos por variable.

Tabulación de datos.

Calcular las medias.

Media.- Es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable. Suma de los valores divididos por el tamaño de la muestra, es muy sensible a los valores extremos.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n X_i = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

Mediana.- Es un conjunto de datos ordenados de mayor a menor, la mediana corresponde al dato central, aquel que deja un 50% de la información abajo y el otro 50% es mayor. Es un valor que divide las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos.

$$\text{Me} = \begin{cases} \frac{X_{n+1}}{2} & \text{si } n \text{ es impar} \\ \left(\frac{X_n}{2} + \frac{X_{n+1}}{2} \right) * \frac{1}{2} & \text{si } n \text{ es par} \end{cases}$$

Moda.- Es el valor o los valores donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.

Calcular las medidas de dispersión.

Desviación estándar.- Es la raíz cuadrada de la varianza, es la más usada de las medidas de dispersión.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Para población}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Para muestras}$$

\bar{X} = Se trata de la media seleccionada, se debe seleccionar la que tenga menor dispersión.

Estadística inferencial, seleccionada para comprobar la hipótesis formulada.

Se debe hacer una relación entre las variables.

X1 → Y1

X1 → Y2

X1 → Y3

X1 → Y4

Tabulación ordenada de los datos.

Graficar y relacionar con las variables independientes.

Describir y explicar las relaciones funcionales entre las variables.

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos agregados quedan cubiertos por una película continua del ligante. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El asfalto y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

2.1.1. Clasificación de mezcla asfáltica

Las mezclas asfálticas se clasifican de acuerdo a diferentes parámetros, entre ellos:

Tabla 2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas.

Clasificación de mezclas asfálticas	Fracción de agregado	Masilla asfáltica
		Mortero asfáltico
		Concreto asfáltico
		Macadam asfáltico
	Temperatura de puesta en obra	Mezclas en caliente
		Mezclas en frío
	Proporción de vacíos	Mezclas densas
		Mezclas semi densas
		Mezclas abiertas
		Mezclas porosas o drenantes
	Tamaño máximo del agregado	Mezclas gruesas
		Mezclas finas
	Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
		Sin esqueleto mineral
	Granulometría	Mezclas continuas
		Mezclas discontinuas

Fuente: Elaboración propia.

2.1.2. Características de la mezcla (analizando el método Marshall)

La mezcla asfáltica en caliente preparada en laboratorio debe ser analizada para determinar el desempeño posible en la estructura del pavimento. Determinando así, características principales y la influencia que estas tienen en el comportamiento de la mezcla. Las cuales se detallan a continuación:

2.1.2.1. Densidad

Está definida como su peso unitario, es decir, el peso de un volumen específico de mezcla compactada. La densidad es una característica importante para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entrara en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura más durable. La densidad de la muestra compactada se expresa en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3) o libras por pie cúbico (lb/pie^3), se calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ($1,000 \text{ kg}/\text{m}^3$ o $62.416 \text{ lb}/\text{pie}^3$). La densidad patrón obtenida en laboratorio se utiliza como referencia para determinar si la densidad del pavimento compactado en la obra es adecuada o no. Difícilmente en la compactación in-situ se obtiene la densidad patrón, por lo tanto las especificaciones permiten un porcentaje aceptable.

2.1.2.2. Vacíos de aire

Están presentes entre los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinado porcentaje de vacíos, ya que estos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras elaboradas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales debe estar entre 3% y 5%. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico.

A mayor permeabilidad, mayor contenido de vacíos; permitiendo pasajes a través de la mezcla del agua y el aire causando un deterioro irreversible a la carpeta asfáltica.

Por otra parte un contenido muy bajo de permeabilidad, es decir bajo contenido de vacíos, tiende a producir exudación de asfalto. La exudación consiste en que el exceso de asfalto es exprimido, o expulsado fuera de la mezcla hacia la superficie. La relación

de la densidad y el contenido de vacíos demuestra que a mayor densidad, menor porcentaje de vacíos y a menor densidad, mayor porcentaje de vacíos en la mezcla. En campo las especificaciones para la densidad requieren acomodar el menor número posible de vacíos inferior al 8%.

2.1.2.3. Vacíos en el agregado mineral (VAM)

Son los espacios de aire que existen de entre las partículas de agregado y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla asfáltica compactada de pavimentación. Es decir el VAM es el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla.

El volumen efectivo de asfalto es todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado. Si el VAM es mayor, existirá más espacio para la película de asfalto. Hay que tener en cuenta que entre más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado se obtiene mayor durabilidad de una mezcla. Por lo anteriormente descrito existen valores mínimos de VAM recomendados y especificados en función del tamaño del agregado. Puede resultar que para economizar el contenido de asfalto en un diseño de mezcla disminuyamos los valores de VAM establecidos como mínimos, siendo esto completamente perjudicial y dañino para la calidad de la carpeta asfáltica, obteniéndose películas delgadas de asfalto en el agregado y una mezcla de baja durabilidad y apariencia seca.

2.1.2.4. Contenido de asfalto

El contenido de asfalto de una mezcla en particular es establecido usando los criterios descritos por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran medida de su granulometría y la capacidad de absorción del agregado. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Si en una granulometría el porcentaje de finos es considerablemente alto, el área superficial total será mayor, requiriendo así mayor cantidad de asfalto para cubrir todas las partículas.

Las mezclas gruesas exigen menos asfalto debido a que el área superficial total es menor. Si a la mezcla se le agrega pequeños incrementos de filler (fracciones de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (No. 200)) existe una tendencia a absorber la mayor parte del contenido de asfalto, resultando una mezcla inestable y seca.

Caso contrario al efectuar pequeñas disminuciones de filler nos da como resultado una mezcla muy rica (húmeda).

Figura 2.1. Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica.



Fuente: (CORTEZ García, GUZMÁN Henríquez, & REYES Rodríguez, 2007)

Es así que los incrementos o disminuciones de filler causan cambios en las propiedades de la mezcla, llegando a variar de seca a húmeda. La capacidad de absorción del agregado en una mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto.

Técnicamente se habla de dos tipos de asfalto al referirse al asfalto absorbido y el no-absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto: cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto: volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla.

2.1.2.5. Vacíos llenos de asfalto (RBV)

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

2.1.3. Propiedades de las mezclas asfálticas

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en la selección del tipo y granulometría del agregado a emplear, y de la selección del tipo y contenido de asfalto, de tal manera que se obtengan las propiedades deseadas en la mezcla y se satisfagan los requisitos específicos del proyecto. La selección apropiada de los materiales (con la calidad suficiente) que constituirán la mezcla y de sus proporciones correctas, requiere el conocimiento de las propiedades más significativas de las mezclas, y de su influencia en el comportamiento del pavimento. Para una aplicación específica e independientemente del procedimiento de diseño empleado.

2.1.3.1. Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas

Esta propiedad se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir la deformación y el desplazamiento, debidos a las cargas que resultan del tránsito vehicular. Un pavimento es estable cuando conserva su forma; y es inestable cuando desarrolla deformaciones permanentes, corrugaciones y otros signos de desplazamiento de la mezcla.

2.1.3.2. Durabilidad

Es la propiedad de la mezcla asfáltica que describe su capacidad para resistir los efectos perjudiciales del aire, agua, temperatura y tránsito que pueden provocar envejecimiento del asfalto, desintegración del agregado y desprendimiento de la película de asfalto del agregado. Una buena mezcla asfáltica no debe sufrir envejecimiento excesivo durante la vida en servicio. Esta propiedad se relaciona con el espesor de la película de asfalto, y con los vacíos de aire.

2.1.3.3. Flexibilidad

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para amoldarse, sin sufrir agrietamiento o fisuración, a los asentamientos y movimientos graduales de la base y la subrasante. En ocasiones esta propiedad presenta conflictos con los requerimientos de estabilidad.

2.1.3.4. Resistencia a la fatiga

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir cargas repetidas causadas por el paso de los vehículos. El agrietamiento por fatiga está relacionado con el contenido y la rigidez del asfalto. Por su parte, los contenidos de asfalto muy altos harán que la mezcla

tienda más a deformarse elásticamente (o deformarse menos) que a fracturarse bajo carga repetida.

2.1.3.5. Resistencia al fracturamiento por baja temperatura

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no agrietarse en condiciones de bajas temperaturas. Depende principalmente de la rigidez del asfalto a bajas temperaturas.

2.1.3.6. Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad

Es la resistencia al paso de agua y aire hacia el interior, o a través de la mezcla asfáltica. La resistencia al daño por humedad se relaciona con las propiedades químicas del agregado mineral y el contenido de vacíos de aire en la mezcla compactada, y por tanto con los procesos de oxidación del asfalto, su adherencia y el drenaje del pavimento.

2.1.3.7. Resistencia al deslizamiento

Es la capacidad de la mezcla asfáltica para no perder adherencia entre el neumático y la superficie de rodamiento, en particular cuando está húmeda. Una resistencia al deslizamiento baja se relaciona generalmente con las características del agregado y el contenido de asfalto.

2.1.3.8. Trabajabilidad

Es la facilidad con la cual una mezcla asfáltica puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. El asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, sí tiene algún efecto sobre esta propiedad.

Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

2.1.4. Componentes de las mezclas asfálticas

2.1.4.1. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico es una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presenta en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino

y de color negro. Son productos de la destilación natural o artificial del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles del petróleo.

El asfalto es un material que se puede encontrar en la naturaleza en yacimientos naturales o puede ser obtenido como subproducto de la destilación de determinados crudos de petróleo. Tiene una consistencia sólida, al calentarlo se ablanda y se vuelve líquido, lo que le permite recubrir los agregados durante el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente. El asfalto cambia su comportamiento dependiendo de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. Es más duro a bajas temperaturas y más blando a altas, por esto, se debe seleccionar el tipo de asfalto más conveniente dependiendo del clima del sitio de colocación.

El asfalto ha sido utilizado para la construcción de carreteras desde la antigüedad ya que tiene ciertas características físicas que le permiten su uso como aglutinante en la mezcla asfáltica. El asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes, que tiene las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.

Proporciona una fuerte unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir el espesor de la carpeta asfáltica.

2.1.4.2. Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades

2.1.4.2.1. Ensayo de penetración de materiales bituminosos (AASHTO T49-97; ASTM D5)

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia, valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

2.1.4.2.2. Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos (AASHTO T51-00; ASTM D113)

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra se tracciona a la velocidad y temperatura especificadas. A menos que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de 25 °C y a una velocidad de 5cm/min. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

2.1.4.2.3. Ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de Cleveland (AASHTO T48; ASTM D22)

El método define la determinación de los puntos de inflamación y combustión por medio de la copa abierta de Cleveland, para productos del petróleo y otros líquidos, excepto aceites combustibles y materiales que tienen un punto de inflamación por debajo de los 70°C determinado por medio de este método de ensayo.

2.1.4.2.4. Ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (AASHTO T53-92; ASTM D36-89)

Este método establece el procedimiento para determinar la temperatura del punto de ablandamiento de un material bituminoso.

2.1.4.2.5. Ensayo para determinar la gravedad específica de materiales bituminosos (AASHTO T228-93; ASTM D70-76)

Este método establece el procedimiento para determinar la densidad de los asfaltos, mediante el uso del picnómetro a la temperatura requerida.

2.1.4.2.6. Película delgada (AASHTO T179-05; ASTM D 17-54)

Este método se refiere a la determinación del efecto del calor y del aire sobre una película de materiales asfálticos semisólidos. Los efectos de este procedimiento se determinan a partir de la medición de ciertas propiedades seleccionadas del asfalto, antes y después del ensayo.

2.1.4.3. Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tabla 2.2. Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración.

Pruebas	Grado de penetración									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Penetración a 25°C (77°F), 100g, 5 seg.	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación °C (°F)	232	-	232	-	232	-	218	-	177	-
	450	-	450	-	450	-	425	-	350	-
Ductilidad a 25°C (77°F), 5cm/min, cm	100	-	100	-	100	-	100	-	-	-
Solubilidad en tricloroetileno, porcentaje	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-
Prueba en horno de película delgada (TFO), 3.2MM(1/8in), 163°C (325°F), 5 horas perdida por calentamiento, porcentaje.	-	1	-	1	-	1	-	1	-	2
	58	-	54	-	50	-	46	-	40	-
Penetración del residuo, porcentaje del original	-	-	50	-	75	-	100	-	100	-

Fuente: (CORTEZ García, GUZMÁN Henríquez, & REYES Rodríguez, 2007)

2.1.4.4. Agregados pétreos

Un agregado pétreo es un material mineral duro e inerte, usado en forma de partículas gradadas o fragmentos, como parte de un pavimento flexible. Los agregados se usan tanto en las capas de base granular como para la elaboración de la mezcla asfáltica. (Asociación de productores y pavimentadores de Colombia, 2004).

El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso y entre el 75 y 85% en volumen en la mayoría de las estructuras de pavimento. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor determinante en el comportamiento del pavimento.

2.1.4.5. Clasificación de los agregados pétreos

Los agregados utilizados en mezclas asfálticas se clasifican de acuerdo a su origen, estos pueden ser:

Agregados naturales.

Agregados procesados.

Agregados sintéticos.

2.1.4.6. Propiedades de los agregados pétreos

En una mezcla asfáltica en caliente densamente gradada, el agregado conforma entre el 90 y 95 por ciento en peso, de la mezcla. Esto hace que la calidad del agregado utilizado sea un factor crítico en el comportamiento de la carpeta de rodadura.

Las propiedades más comunes para considerar apropiados de un agregado para mezclas asfálticas son las siguientes.

Gradación y tamaño máximo de la partícula.

Tamaño máximo del agregado.

Limpieza.

Dureza.

Forma de la partícula.

Textura de la superficie.

Capacidad de absorción.

Afinidad con el cemento asfáltico.

2.1.4.7. Ensayos realizados a los agregados

2.1.4.7.1. Análisis granulométrico de los agregados (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136)

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

2.1.4.7.2. Peso unitario de los agregados gruesos y finos (AASHTO T19; ASTM C 29M-97)

Determinar el peso unitario suelto o compactado y el porcentaje de los vacíos de los agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos.

2.1.4.7.3. Peso específico y absorción del agregado grueso (AASHTO T85; ASTM C127)

Establecer un procedimiento para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24

horas) del agregado grueso. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basados en agregados remojados en agua después de 24 horas.

2.1.4.7.4. Peso específico y absorción del agregado fino (AASHTO T84; ASTM C128)

Determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

2.1.4.7.5. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D5821-95)

Este ensayo determina el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de la muestra del agregado grueso.

2.1.4.7.6. Ensayo de desgaste de los agregados por medio de la Máquina de los Ángeles (AASHTO T96; ASTM C131)

Este ensayo es para estimar el efecto perjudicial que origina a los materiales su grado de alteración, su baja resistencia estructural, plano de debilitamiento, plano de cristalización, forma de las partículas, cuyo objetivo es determinar la dureza de los materiales pétreos que se emplean en mezclas asfálticas.

2.1.4.7.7. Método para determinar el equivalente de arena (AASHTO T176; ASTM D2419)

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (N° 4).

2.1.4.7.8. Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso y fino (AASHTO T104-99; ASTM E88)

Establecer un método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados a la desintegración por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

2.1.4.7.9. Método para determinar el índice de lajas (AASHTO C142)

Este ensayo establece el procedimiento para determinar el índice de lajas de un árido, se define el índice de lajas como el porcentaje en peso de partículas que tienen un espesor (dimensión mínima) inferior a 0,6 veces la dimensión media de la fracción de árido considerada.

2.1.4.7.10. Finura del cemento (ASTM C 184 - 66)

Esta norma establece el método de ensayo para la determinación de la finura del cemento por medio de tamices.

2.1.4.8. Especificaciones que deben cumplir los agregados

2.1.4.8.1. Agregado grueso

Este material debe consistir en grava de buena calidad triturada (Retenidos en la malla de 4.75 mm) y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría estipulados y llene además los requisitos siguientes:

Tabla 2.3. Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría.

Designación de tamices			
Para agregados gruesos		Para agregados finos	
Sistema métrico	Sistema habitual norteamericano	Sistema métrico	Sistema habitual norteamericano
63.00 mm	2 1/2 pulg.	2.36 mm	N° 8
50.00 mm	2 pulg.	1.18 mm	N° 16
37.50 mm	1 1/2 pulg.	0.60 mm	N° 30
25.00 mm	1 pulg.	0.30 mm	N° 50
19.00 mm	3/4 pulg.	0.15 mm	N° 100
12.50 mm	1/2 pulg.	0.07 mm	N° 200
9.50 mm	3/8 pulg.		
4.75 mm	N° 4		

Fuente: (CORTEZ García, GUZMÁN Henríquez, & REYES Rodríguez, 2007).

Tabla 2.4. Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso.

N°	Parámetro	Norma	Especificación
1	Abrasión de los ángeles	AASHTO T 96	40 % máx.
2	Durabilidad, sulfato de sodio	AASHTO T 104	12 % máx.
3	Caras fracturadas	ASTM D 5821	75 % min.

Fuente: (CORTEZ García, GUZMÁN Henríquez, & REYES Rodríguez, 2007).

2.1.4.8.2. Agregado fino

Este material está formado por arenas naturales, arena de piedra chancada tamizada, o su combinación y deberá tener una granulometría que (material que pasa la malla 4.75 mm), al combinarse con otras fracciones en la proporción adecuada, la mezcla resultante puede satisfacer la granulometría requerida según AASHTO M 29 incluyendo la pérdida en sulfato, y que llene además los requisitos siguientes:

Tabla 2.5. Especificaciones que debe cumplir el agregado fino.

N°	Parámetro	Norma	Especificación
1	Índice de durabilidad (fino)	AASHTO T 210	35 % min
2	Equivalente de arena	AASHTO T 176	45 % min
3	Durabilidad, sulfato de sodio	AASHTO T 104	15 % máx.

Fuente: (CORTEZ García, GUZMÁN Henríquez, & REYES Rodríguez, 2007).

La graduación del agregado fino será conforme a la siguiente graduación.

Tabla 2.6. Graduación del agregado fino de acuerdo a AASHTO M 29.

Graduación del agregado fino						
Tamaño del tamiz		Cantidad más fina que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), Masa, %				
		Graduación N° 1	Graduación N° 2	Graduación N° 3	Graduación N° 4	Graduación N° 5
3/8"	9.50 mm	100	---	---	100	100
N° 4	4.75 mm	95 a 100	100	100	80 a 100	80 a 100
N° 8	2.36 mm	70 a 100	75 a 100	95 a 100	65 a 100	65 a 100
N° 16	1.18 mm	40 a 80	50 a 74	85 a 100	40 a 80	40 a 80
N° 30	0.60 mm	20 a 65	28 a 52	65 a 90	20 a 65	20 a 65
N° 50	0.30 mm	7 a 40	8 a 30	30 a 60	7 a 40	7 a 46
N° 100	0.15 mm	2 a 20	0 a 12	5 a 25	2 a 20	2 a 30
N° 200	0.07 mm	0 a 10	0 a 5	0 a 5	0 a 10	----

Fuente: (American Association of State Highway and Transportation officials, 2008).

2.1.4.9. Filler (llenante mineral)

El filler consiste en material finamente dividido donde sus partículas pasan a través del tamiz 0,075 mm (No. 200), generalmente son provenientes de rocas, cal hidratada, cemento hidráulico, cenizas volantes u otro material adecuado.

Se incorpora a las mezclas asfálticas con el fin de modificar sus propiedades mecánicas y complementar la fracción granulométrica, para generar una mezcla bien gradada y un mejor comportamiento de esta.

2.1.4.9.1. Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas

Las principales propiedades de las mezclas asfálticas que determinan su calidad se resumen en tres que son: Resistencia ante la deformación, flexibilidad y durabilidad.

Mejorar la mezcla sin el empleo exagerado de asfalto

Esto debido a que el filler actúa como rellenedor de vacíos, lo cual permite disminuir espacios libres existentes entre agregados mayores. Esta actividad además depende de los vacíos de la mezcla, ya que cuando el agregado está bien graduado y la forma de sus partículas permiten una ajustada distribución, entonces la necesidad de agregar filler es menor, incluso puede llegar a ser inconveniente por disminuir exageradamente se obtendrían mezclas pobres de ligante de menor durabilidad.

Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica

Esto debido a que el filler aumenta de manera importante la viscosidad del asfalto, mejor dicho la combinación de filler-asfalto es un sistema de alta viscosidad el cual participa de manera importante en la resistencia ante la deformación.

Incrementar la durabilidad de la mezcla

Esto debido a que el filler actúa como rellenedor de vacíos, lo cual permite disminuir la porosidad dificultando la entrada de agentes agresivos como el agua, aire; además de que es el principal aglomerante dentro de la mezcla asfáltica y mantiene unidos a los agregados.

2.1.4.9.2. Efecto del filler como componente de las mezclas asfálticas

El principal efecto que tiene el filler sobre los pavimentos es el aumento de durabilidad debido a que se reduce el contenido de vacíos y se disminuye la penetración del agua a las capas inferiores. El incremento excesivo de filler en la mezcla asfáltica también genera problemas en su comportamiento, consigue que el pavimento se endurezca demasiado y en consecuencia se vuelva frágil ocasionando fisuras en la capa de rodadura. El general el efecto de la adición del filler es endurecer el asfalto, en términos prácticos significa que existirá una reducción en su deformación o fluencia producida por la acción de una carga, también existirá un incremento en su punto de ablandamiento y un incremento en su rigidez.

2.1.4.10. Especificaciones del filler

La granulometría debe cumplir con lo establecido en la siguiente tabla.

Tabla 2.7. Granulometría que debe cumplir el filler de acuerdo con la norma ASTM.

Tamaño del tamiz	Porcentaje pasante (%)
Nº 30	100
Nº 50	95 – 100
Nº 200	70 - 100

Fuente: (*Standard Specifications for Bituminous Concrete Paviment, 2004*).

2.1.5. Fibras

2.1.5.1. Definición de fibras

De acuerdo a Martínez (2006) las fibras son estructuras unidimensionales, largas y delgadas. Tienen como propósito principal la creación de tejidos, su característica principal es su longitud muy superior a su diámetro estas pueden dividirse en 3 tipos: fibras naturales, fibras celulósicas hechas por el hombre y las no celulósicas hechas por el hombre.

Fibras Naturales se dividen en: fibras de origen animal, fibras de origen vegetal y fibras de origen mineral.

Fibras de origen animal

Desde el punto de vista químico las fibras son proteínas resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos (Martínez de las Marías).

Fibras de origen vegetal

Son principal compuestas de celulósicas y resistentes a los ácidos orgánicos.

Fibras de origen mineral

La fibra de vidrio es la única fibra de origen inorgánico que se utiliza a amplia escala puesto que está presente en muchos utensilios.

Además de las fibras naturales en el mercado se encuentran las siguientes:

Fibras celulósicas hechas por el hombre

Son fibras de origen natural pero con un tratamiento realizado por el hombre para la industrialización de estas.

Fibras no celulósicas hechas por el hombre

Llamadas también químicas sintéticas, pueden ser modificables a voluntad del hombre mejorando sus características, no están sujetas a cosechas ni volumen de producción.

2.1.5.2. Fibra de coco

Los parámetros que describen una fibra son su longitud, su diámetro y su aspecto o esbeltez, que es la relación existente entre la longitud y el diámetro.

La fibra de coco es un material orgánico y su proceso de fabricación forma parte de una gran industria que emplea el coco como material base.

Existen dos tipos de fibra de coco: fibras de color marrón, extraídos de coco maduros, y fibras blancas, provenientes de cocos inmaduros.

Con el fin de reducir costos y gastos energéticos la fibra de coco no sufre ninguna alteración química, debido a que lo que se busca es la implementación de alternativas amigables y que no causen daño al ambiente, para la utilización de este material en la mezcla solamente son necesarias herramientas básicas como lo son las tijeras pero a futuro al querer industrializar y generar fibras de coco para utilizarlas en mezclas asfálticas se necesitaría de una trituradora que genere la calidad y cantidad de material en un menor tiempo.

El material conseguido inicialmente fue deshilado de la cascara de coco para finalmente obtener las fibras; posteriormente las fibras se cortan para dejar hilos de menor tamaño aproximadamente de 1 a 4 cm de largo.

El material implementado en la adición presenta tamaños heterogéneos; ya que los cortes se realizaron manualmente, además la cascara libera un polvo que también es utilizado en la mezcla.

Figura 2.2. Proceso de trituración de la cáscara de coco a fibras.



Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la fibra de coco, se halló que el valor de mercado es reducido, hay una gran posibilidad de producción, y se tiene un aprovechamiento actual casi nulo. Además, requiere la separación del polvo, que es cerca de 50% de la masa, y un posterior secado.

2.1.5.3. Características de la fibra de coco

Es una fibra multicelular que tiene como principal componente la celulosa y el leño lo que confiere elevados índices de rigidez y dureza.

Es un material con alta resistencia al impacto.

La fibra de coco es resistente a las bacterias por lo que es poco probable que exista proliferación de hongos en las mismas.

La resistencia, durabilidad y resiliencia, convierten a la fibra de coco en un material versátil y perfectamente indicado para los mercados del aislamiento (térmico y acústico).

Es un material 100% de origen natural con alto grado de estabilidad lo que lo hace un material con buenas características físico mecánicas por largo periodo.

2.1.5.4. Fibra agente estabilizador para el pavimento asfáltico

La fibra de coco posee propiedades como resistencia a esfuerzos de flexión, tracción, compresión, torsión, dureza, estabilidad, que son beneficiosas para mezclas que requieren altos estándares de calidad ya que se adapta fácilmente por ser un material de origen vegetal y no reacciona negativamente en las distintas aplicaciones que se le dé.

2.1.5.5. Propiedades del pavimento asfáltico con fibras

Excelente estabilidad en altas temperaturas

Debido a que las mezclas tienen un esqueleto autoportante de áridos grueso de buena calidad, que proporciona un incremento de la fricción interna y de la resistencia al corte confiriéndoles una estabilidad muy alta.

Buena flexibilidad a bajas temperaturas

Debido al empleo de una mezcla rica en estabilizadores el aumento en la resistencia al fisuramiento térmico es muy considerable evitando la llamada piel de cocodrilo.

Resistencia al desgaste

Debido a que la mezcla presenta una baja cantidad de vacíos. Este tipo de mezclas no son susceptibles al envejecimiento prematuro ya que las características de la mezcla la hacen altamente impermeable.

Alta adherencia entre agregados

Ya que con la incorporación de fibras celulósicas como estabilizador, se previene un escurrimiento del ligante obteniendo una masa espesa y rica en filler - fibra aumentando la adherencia entre bitumen y agregados.

Mezclas sin tendencia a separarse

Debido que es una mezcla gradada con una uniformidad elevada se obtiene una eficiente estabilidad del mortero que evita segregación de partículas gruesas.

Resistencia al deslizamiento

Debido a la profundidad de su textura superficial y al uso de áridos gruesos, se obtiene una excelente resistencia al deslizamiento.

2.1.5.6. Especificaciones de las fibras

Las fibras podrán ser de origen natural o artificial que no provoquen reacciones perjudiciales en la mezcla norma AASHTO MP8.

Tabla 2.8. Propiedades de fibra celulósicas, AASHTO MP8.

Propiedades	Especificación
Longitud de fibra (máx.)	6 mm
Análisis por tamizado	
Pasa tamiz N° 100	70±10%
Pasa tamiz N° 20	85%(±10%)
Pasa tamiz N° 40	65%(±10%)
Pasa tamiz N° 140	30%(±10%)

Fuente: (JIMÉNEZ Rojano, 2016).

2.2. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, MÉTODO MARSHALL

2.2.1. Metodología

El método de diseño de mezclas Marshall fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del departamento de autopistas del estado de Mississippi. Posteriormente, el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró el procedimiento de prueba Marshall.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que desarrollará cuando es ensayado a una temperatura de 60 °C. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0,25 mm (1/100"), que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

El método Marshall sólo establece requisitos para la granulometría y los parámetros volumétricos de la mezcla. Los requisitos de calidad del agregado y del asfalto los fijan las dependencias encargadas del desarrollo de la infraestructura.

2.2.2. Propósito de la metodología

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 elaboración de la mezcla.

El método original de Marshall, sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1 plg) o menor. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente.

2.2.3. Descripción general

El método Marshall usa muestras de ensayo (probetas) de 64 mm (2.5 plg) de espesor por 102 mm (4 plg) de diámetro. Una serie de muestras de ensayo, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar la mezcla asfáltica. Los dos aspectos principales del método de diseño son: análisis de densidad vacíos y el ensayo de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

Preparación para efectuar los procedimientos Marshall

Los agregados y asfaltos presentan diferentes características, que tienen un impacto directo sobre la naturaleza del pavimento. El primer paso en el método de diseño, es determinar las cualidades que se necesita en una determinada mezcla asfáltica, y posteriormente seleccionar el tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

Selección de las muestras de material

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras de asfalto y del agregado que van a ser utilizados en la mezcla asfáltica. 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 de los procedimientos de diseño de la mezcla determinan la "receta" para la elaboración de la mezcla final usada en el proceso de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en laboratorio tienen características idénticas a los usados en el producto final.

Preparación del agregado

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va ser usado debe ser ya conocida con el propósito de establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar claramente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico, con la finalidad de preparar una serie de briquetas que tengan diferentes contenidos de asfalto.

Se prepara una dosificación por el método de tanteo, en función de una faja de trabajo que se adecue al proyecto, y de una granulometría conocida de los agregados disponibles (grava de 3/4, gravilla de 3/8, arena natural y filler).

Como indica el nombre del método, se tantea con diferentes porcentajes de agregado, hasta que se encuentre una combinación que se adecue de mejor manera posible a la faja de trabajo.

Sabiendo que la muestra final se tiene que elaborar con briquetas con un peso de 1200g; se determina el contenido de asfalto en peso equivalente a un porcentaje del peso total de la briketa, conociendo el peso del agregado que tiene que ocupar cada briketa por la diferencia en peso entre el total de la briketa y el peso del asfalto, se separa una dosificación en pesos retenidos, que aporta cada tamiz.

Se prepara un número determinado de muestras de agregado para cada contenido de asfalto para elaborar un punto en la curva de dosificación Marshall y se separa cada uno en fuentes o bandejas correctamente identificadas.

Es importante mencionar que, para la elaboración del método tradicional de mezcla asfáltica en caliente, el agregado tiene que estar seco, para tal fin, antes de efectuar el pesado se deja el material en horno a 110 °C durante 24 horas.

Preparación de las muestras de ensayo (briquetas)

Las briquetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentos son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, como se mencionó anteriormente. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados de análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

El asfalto y el agregado se calientan por separado y se mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén recubiertas (esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta).

La mezcla se vierte en los moldes pre-calentados, luego se procede a la compactación con el martillo, el número de golpes se especifica en la tabla 2.10. Después de completar la compactación, las briquetas se dejan enfriar para luego proceder a su extracción de los moldes.

2.2.4. Especificaciones de la metodología

La selección del contenido óptimo de cemento asfáltico depende de muchos criterios. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. El rango de vacíos de aire es de 3% al 5%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido de asfalto deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (Tabla 2.11). Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitará hacer ajustes, o rediseñar la mezcla.

2.2.4.1. Granulometría

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y de las líneas de control (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. La Tabla 2.9 presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la norma AASHTO.

Tabla 2.9. Granulometrías que deben cumplir los agregados para el diseño Marshall.

Granulometría para el diseño Marshall						
Malla mm	Porcentaje por peso que pasa por la malla estándar (AASHTO T 27 y AASHTO T 11)					
	Designación de la granulometría					
	A	B	C	D	E	F
37.50	100	-	-	-	-	-
25.00	97 a 100	100	100	-	-	-
19.00	-	97 a 100	97 a 100	100	100	-
12.50	-	76 a 88	(±5)	97 a 100	97 a 100	-
9.50	53 a 70	-	(±6)	-	(±5)	100
4.75	40 a 52	49 a 59	(±7)	57 a 69	(±6)	33 a 47
2.36	-	-	-	-	-	-
1.18	25 a 39	36 a 45	(±5)	41 a 49	(±6)	7 a 13
6.00	12 a 22	20 a 28	(±4)	22 a 30	(±4)	-
0.30	8 a 16	13 a 21	(±3)	13 a 21	(±3)	-
0.15	-	-	-	-	-	-
0.07	3 a 8	3 a 7	3 a 8	3 a 8	3 a 8	2 a 4

Fuente: (Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), 2013).

2.2.4.2. Golpes de compactación

El proceso de compactación se realiza mediante una serie de golpes con el martillo Marshall sobre ambas caras de la muestra, según el propósito y tránsito esperado de la mezcla que se está diseñando.

Tabla 2.10. Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo.

Número de golpes			
Condición de tránsito que resultan en un ES AL S de diseño (8millones)	Alto	Medio	Bajo
	> 10 hasta 30	Entre 0.3 hasta 30	< 0.3
Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo	75.00	50.00	35.00

Fuente: (Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), 2013).

2.2.4.3. Parámetros volumétricos de diseño Marshall

La volumetría de la mezcla para encontrar el contenido de asfalto óptimo debe cumplir los parámetros establecidos en las Tablas 2.11 y 2.12. El flujo y estabilidad Marshall se tienen que medir de acuerdo con el método AASHTO T 245.

Tabla 2.11. Requisitos para la mezcla asfáltica Marshall (AASHTO T 2459).

Criterio para mezcla del método Marshall	Tránsito liviano carpeta y base		Tránsito mediano carpeta y base		Tránsito pesado carpeta y base	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	35.00	35.00	50.00	50.00	75.00	75.00
Estabilidad N (lb)	335.00	-	5358.00	-	8006.00	-
	750.00		1200.00		1800.00	
Flujo, 0.25mm (0.01plg)	8.00	18.00	8.00	16.00	8.00	14.00
% Vacíos	3.00	5.00	3.00	5.00	3.00	5.00
% VAM	Ver tabla 2.12					
% RBV	70.00	80.00	65.00	78.00	65.00	75.00

Fuente: (Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), 2013).

Tabla 2.12. Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral (VAM).

Tamaño máximo en mm porcentaje		VAM mínimo, por ciento		
		Vacíos de diseño, por ciento		
mm	plg.	3	4	5
1.18	N° 16	21.50	22.50	23.50
2.36	N° 8	19.00	20.00	21.00
4.75	N° 4	16.00	17.00	18.00
9.50	3/8	14.00	15.00	16.00
12.50	1/2	13.00	14.00	15.00
19.00	3/4	12.00	13.00	14.00
25.00	1.00	11.00	12.00	13.00
37.50	1.50	10.00	11.00	12.00
50.00	2.00	9.50	10.50	11.50
63.00	2.50	9.00	10.00	11.00

Fuente: (Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA), 2013).

2.2.5. Ensayos realizados a la mezcla asfáltica compactada

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

2.2.5.1. Determinación de la gravedad específica bulk

El ensayo de gravedad específica bulk de mezclas asfálticas compactadas utilizando especímenes saturados superficialmente secos puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado. Este ensayo se desarrolla de acuerdo con la norma

AASHTO T 166-05, para la gravedad específica bulk de mezclas asfálticas compactadas usando especímenes cubiertos con parafina la norma AASHTO T 275 es aplicada. Para determinar cuál norma se debe utilizar, se realizarán pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se utiliza la norma AASHTO T 166-05, en caso contrario, se recurre a la norma AASHTO T 275.

2.2.5.2. Ensayo de estabilidad y fluencia

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

Las briquetas confeccionadas con cemento asfáltico se deben sumergir en un baño María a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) de 30 a 40 minutos antes de la prueba. Remueva el espécimen de ensayo del baño maría y cuidadosamente se secará la superficie. Colocándolo y centrándolo en la mordaza inferior, se procederá a colocará la mordaza superior y se centrará completamente en el aparato de carga. Posteriormente se aplica la carga de prueba al espécimen a una velocidad constante de $50 \pm 1\text{ mm/min}$ (2 plg/min), hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse como el valor de estabilidad Marshall.

Mientras que el ensayo de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir habrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0.25 mm ($1/100$) será el valor del flujo Marshall. El procedimiento completo de estabilidad y fluencia, comenzando desde el momento en que se retira la probeta del agua, no debe durar más de 30 s.

2.2.5.3. Análisis de densidad y vacíos

Después de completar las pruebas de estabilidad y flujo, se realiza el análisis de densidad y vacíos para cada serie de especímenes de prueba. Resulta conveniente determinar la gravedad específica teórica máxima (AASHTO T 209) para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente aquellos que estén cerca del contenido óptimo de asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado se calculará de estos valores. Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica

efectiva del total del agregado; el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas; la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos (Vv); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (RBV) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM).

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES Y CEMENTO ASFÁLTICO

3.1. IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO

Los materiales a utilizar deben cumplir ciertas especificaciones de las normas ASTM y AASHTO. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes, el criterio asumido para seleccionar un banco de material fue el analizar sus propiedades de tres chancadoras mediante ensayos de laboratorio y seleccionar el mejor para realizar la investigación.

1.- Agregados pétreos proporcionados por la chancadora y distribuidora de áridos Erika S.R.L., la misma se encuentra ubicada 8,6 km de la ciudad de Tarija, carretera a San Lorenzo, en la comunidad de Rancho Sud de la provincia Méndez.

Figura 3.1. Zona de muestreo 1.



Fuente: Elaboración propia.

2.- Agregados pétreos proporcionados por la chancadora San José de Charaja, la misma se encuentra ubicada a 43 km de la ciudad de Tarija, en la comunidad de San José de Charaja de la provincia Uriondo.

Figura 3.2. Zona de muestreo 2.



Fuente: Elaboración propia.

3.- Agregados pétreos proporcionados por la seleccionadora de áridos San Blas, la misma se encuentra ubicada a 6.5 km de la ciudad de Tarija, en la zona de San Blas de la provincia Cercado.

Figura 3.3. Zona de muestreo 3.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.4. Agregado pétreo.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. PROCEDENCIA DEL CEMENTO PORTLAND Y LA FIBRA DE COCO

Los materiales que se adicionan en reemplazo del filler y el agente estabilizador tienen su procedencia en la ciudad de Tarija y en la ciudad de Santa Cruz.

1.- Cemento Portland usado en reemplazo del filler fue comprado de una tienda comercializadora de cemento Portland IP-30, la planta de SOBOCE S.A. se encuentra ubicada a 100 km de la ciudad de Tarija, la fábrica de cemento El Puente cubre los mercados del Sur del país, específicamente los departamentos de Tarija y Potosí.

Figura 3.5. Fábrica de cemento el puente.



Fuente: (SOBOCE, 2018)

2.- La fibra de coco usado como agente estabilizador fue comprado en el mercado abasto del Sur, la misma se encuentra ubicada en la ciudad de Santa Cruz, entre la avenida Pirafí y avenida Roque Aguilera próxima al cuarto anillo.

Figura 3.6. Mercado abasto del Sur.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7. Cáscara de coco.



Fuente: Elaboración propia.

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.3.1. Agregado grueso

Tabla 3.1. Granulometría del agregado de 3/4" (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136).

Granulometría grava 3/4"										
% Que pasa	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25.00 mm	19.10 mm	12.70 mm	9.50 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.07 mm
Charaja	100.00	93.58	41.78	12.38	1.12	1.10	1.07	1.05	1.05	0.89
Erika	100.00	99.01	68.43	33.82	1.79	1.23	1.15	1.12	1.12	0.88
San Blas	100.00	93.93	64.84	42.69	14.41	10.84	10.60	10.54	10.50	10.49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2. Granulometría del agregado de 3/8" (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136).

Granulometría gravilla 3/8"										
% Que pasa	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25.00 mm	19.10 mm	12.70 mm	9.50 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.07 mm
Charaja	100.00	100.00	100.00	75.58	29.61	8.16	4.61	3.31	3.31	1.39
Erika	100.00	100.00	100.00	99.64	26.37	2.12	1.48	1.40	1.40	1.12
San Blas	100.00	100.00	99.17	88.63	8.52	0.16	0.10	0.09	0.09	0.06

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.3. Peso unitario del agregado de 3/4" (AASHTO T19; ASTM C 29M-97).

Procedencia	Charaja (3/4")	Erika (3/4")	San Blas (3/4")
"P.U.S." Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.40	1.42	1.53
"P.U.C." Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1.51	1.56	1.61

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4. Peso unitario del agregado de 3/8" (AASHTO T19; ASTM C 29M-97).

Procedencia	Charaja (3/8")	Erika (3/8")	San Blas (3/8")
"P.U.S." Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.44	1.46	1.54
"P.U.C." Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1.56	1.60	1.62

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5. Peso específico y absorción del agregado de 3/4" (AASHTO T85; ASTM C127).

Procedencia	Charaja (3/4")	Erika (3/4")	San Blas (3/4")
"G" Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.69	2.71	2.69
"Gb" Peso específico bruto m.s. (gr/cm ³)	2.64	2.54	2.56
"Gbs" Peso específico bruto s.s.s (gr/cm ³)	2.66	2.60	2.61
(%) Porcentaje de absorción	0.78	2.35	1.91

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6. Peso específico y absorción del agregado de 3/8" (AASHTO T85; ASTM C127).

Procedencia	Charaja (3/8")	Erika (3/8")	San Blas (3/8")
"G" Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.67	2.74	2.68
"Gb" Peso específico bruto m.s. (gr/cm ³)	2.55	2.54	2.57
"Gbs" Peso específico bruto s.s.s (gr/cm ³)	2.60	2.61	2.61
(%) Porcentaje de absorción	1.74	2.84	1.58

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.7. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados de 3/4" (ASTM D5821-95).

Procedencia	Charaja (3/4")	Erika (3/4")	San Blas (3/4")
Caras fracturadas (%)	99.85	94.85	72.55

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados de 3/8" (ASTM D5821-95).

Procedencia	Charaja (3/8")	Erika (3/8")	San Blas (3/8")
Caras fracturadas (%)	96.12	93.47	89.08

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9. Ensayo de desgaste de los agregados de 3/4" por medio de la Máquina de los Ángeles (AASHTO T96; ASTM C131).

Procedencia	Charaja (3/4")	Erika (3/4")	San Blas (3/4")
Desgaste de los Ángeles (%)	18.92	27.12	32.96

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.10. Ensayo de desgaste de los agregados de 3/8" por medio de la Máquina de los Ángeles (AASHTO T96; ASTM C131).

Procedencia	Charaja (3/8")	Erika (3/8")	San Blas (3/8")
Desgaste de los Ángeles (%)	32.60	28.38	34.84

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.11. Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso (AASHTO T104-99; ASTM E88).

Procedencia	Charaja	Erika	San Blas
Durabilidad a los sulfatos agregado grueso (%)	0.95	2.36	1.28

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12. Método para determinar el índice de lajas en los agregados de 3/4" (AASHTO C142).

Procedencia	Charaja (3/4")	Erika (3/4")	San Blas (3/4")
Laminaridad (%)	3.00	7.06	4.72

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.13. Método para determinar el índice de lajas en los agregados de 3/8" (AASHTO C142).

Procedencia	Charaja (3/8")	Erika (3/8")	San Blas (3/8")
Laminaridad (%)	1.18	2.55	1.87

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Agregado fino

Tabla 3.14. Granulometría de la arena (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136).

Granulometría arena triturada										
% Que pasa	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25.00 mm	19.10 mm	12.70 mm	9.50 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.07 mm
Charaja	100.00	100.00	100.00	100.00	98.30	78.50	58.90	31.50	18.98	11.69
Erika	100.00	100.00	100.00	100.00	98.35	85.03	65.50	39.11	28.82	12.83
San Blas	100.00	100.00	100.00	100.00	96.70	89.49	78.37	50.24	24.72	4.91

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.15. Granulometría de la arena lavada (AASHTO T27-99; ASTM E40 C-136).

Granulometría arena triturada lavada Charaja										
% Que pasa	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25.00 mm	19.10 mm	12.70 mm	9.50 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.07 mm
Charaja	100.00	100.00	100.00	100.00	97.58	75.64	54.30	24.22	12.82	2.99

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.16. Granulometría del filler natural (ASTM E 40).

Granulometría filler										
% Que pasa	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25.00 mm	19.10 mm	12.70 mm	9.50 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.07 mm
Charaja	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	55.20	23.00	13.00
Erika	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	52.80	15.20	4.00
San Blas	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	51.40	5.40	0.60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.17. Peso unitario de la arena (AASHTO T19; ASTM C 29M-97).

Procedencia	Charaja	Erika	San Blas
"P.U.S." Peso unitario suelto (gr/cm ³)	1.61	1.55	1.43
"P.U.C." Peso unitario compactado (gr/cm ³)	1.79	1.75	1.66

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.18. Peso específico y absorción del agregado fino (AASHTO T84; ASTM C128).

Procedencia	Charaja	Erika	San Blas
"G" Peso específico aparente (gr/cm ³)	2.67	2.68	2.65
"Gb" Peso específico bruto m.s. (gr/cm ³)	2.62	2.58	2.60
"Gbs" Peso específico bruto s.s.s (gr/cm ³)	2.64	2.62	2.62
(%) Porcentaje de absorción	0.74	1.53	0.66
Promedio	2.64	2.63	2.63

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.19. Método para determinar el equivalente de arena (AASHTO T176; ASTM D2419).

Procedencia	Charaja	Erika	San Blas
Equivalente de Arena promedio (%)	47.00	52.00	61.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.20. Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado fino (AASHTO T104-99; ASTM E88).

Procedencia	Charaja	Erika	San Blas
Durabilidad a los sulfatos agregado fino (%)	1.52	0.97	1.15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.21. Porcentaje de finura del cemento (ASTM E 117 - AASHTO T 11).

Finura del cemento Portland										
% Que pasa	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25.00 mm	19.10 mm	12.70 mm	9.50 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.07 mm
M - 1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.87
M - 2	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.89
M - 3	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.88
Prom.	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.88

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Resultados de la caracterización de agregados

Tabla 3.22. Resultados finales de la caracterización de los agregados.

N°	Parámetro	Norma	Especificación	Resultados					
				Charaja		Erika		San Blas	
1	Peso específico y absorción del agregado grueso (gr/cm ³)	AASHTO T 85; ASTM C 127		2.69	2.67	2.71	2.74	2.69	2.68
2	Peso específico y absorción del agregado fino (gr/cm ³)	AASHTO T 84		2.64		2.63		2.63	
3	Método para determinar el equivalente de arena	AASHTO T 176; ASTM D 2419	45 % min	47.00		52.00		61.00	
4	Ensayo de desgaste de los agregados por medio de la máquina de los Ángeles	AASHTO T 96; ASTM C 131	40 % máx.	18.90	32.60	27.10	28.40	33.90	34.80
5	Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso y fino	AASHTO T 104-99; ASTM E 88	12 % máx.	2.47		3.33		2.44	
6	Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	ASTM D 5821-95	75 % min.	99.80	96.10	94.80	93.40	72.50	89.10
7	Método para determinar el índice de lajas en los agregados	AASHTO C 142	10 % máx.	3.00	1.28	7.06	2.55	4.72	1.87

8	Peso unitario de los agregados gruesos y finos	AASHTO T 19; ASTM C 29M-97		Suelto	Comp.	Suelto	Comp.	Suelto	Comp.
			3/4"	1.40	1.51	1.42	1.56	1.53	1.61
			3/8"	1.44	1.56	1.46	1.60		
			Arena triturada	1.61	1.79	1.55	1.75	1.43	1.66

Fuente: Elaboración propia.

Ver procedimientos de cada ensayo de caracterización más a detalle en los **Anexo D.1**.

Como se puede observar en las planillas de resultados finales y realizado un análisis granulométrico de los agregados procedentes de la chancadora San José de Charaja, chancadora y distribuidora de áridos Erika S.R.L y seleccionadora de áridos San Blas, se optó por trabajar con los materiales procedente de la chancadora de San José de Charaja ya que los materiales cumplen con todas las especificaciones de las normas AASHTO Y ASTM en relación a los agregados de las demás chancadoras estudiadas.

3.4. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

3.4.1. Resultados de la caracterización de cemento asfáltico

Tabla 3.23. Resultados de la caracterización del cemento asfáltico.

N°	Parámetro	Norma	Resultados	Especificaciones	
				Mín.	Max
1	Ensayo de penetración de materiales bituminosos	AASHTO T49-97; ASTM D 5	94.00	85.00	100.00
2	Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos	AASHTO T51-00; ASTM D 113	102.00	75.00	-
3	Ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de Cleveland	AASHTO T48; ASTM D 22	280.00	>232.00	-
4	Ensayo para determinar la gravedad específica de materiales bituminosos	AASHTO T228-93; ASTM D 70-76	1.01	-	-
5	Ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola	AASHTO T53-92; ASTM D 36-89	39.00	-	-
6	Película delgada	AASHTO T179-05; ASTM D 17-54	0.19	-	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Ver procedimientos de cada ensayo de caracterización más a detalle en los **Anexo D.2**.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. PREDISEÑO PARA OBTENER EL CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO Y DE FIBRAS DE COCO

Para realizar la mezcla se utilizó agregados provenientes de la chancadora San José de Charaja. En el diseño de la faja se mezcló los agregados gruesos, intermedios y finos mediante tanteos, verificando que la curva granulométrica este dentro de los parámetros establecidos por la norma AASHTO.

Para obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico y el óptimo de fibras de coco a usar, realizando 3 diseños con un porcentaje de fibra de 0.04%, 0.08% y 0.12% del total de la mezcla de 1200 gr.

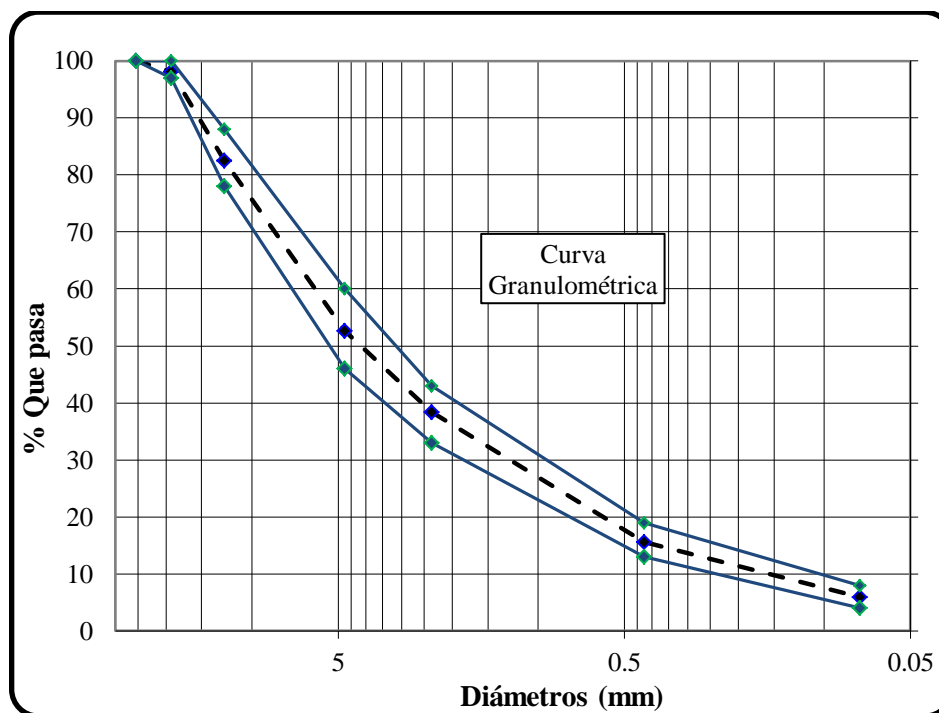
4.1.1. Mezclas para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico

Tabla 4.1. Dosificación de los agregados con 0.04% de fibra de coco.

Agregados		Grava - Charaja		Gravilla - Charaja		Arena triturada - Charaja		% Que pasa
% Usado		30%		24%		46%		
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	
Pulg.	mm.							
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	24.00	100.00	46.00	100.00
3/4"	19.10	93.58	28.07	100.00	24.00	100.00	46.00	98.07
1/2"	12.50	41.78	12.53	100.00	24.00	100.00	46.00	82.53
3/8"	9.50	12.38	3.71	75.58	18.14	100.00	46.00	67.85
N°4	4.75	1.12	0.34	29.61	7.11	98.30	45.22	52.66
N°8	2.36	1.10	0.33	8.16	1.96	78.50	36.11	38.40
N°16	1.18	1.07	0.32	4.61	1.11	58.90	27.09	28.52
N°40	0.42	1.05	0.32	3.31	0.79	31.50	14.49	15.60
N°80	0.18	1.05	0.32	3.31	0.79	18.98	8.73	9.84
N°200	0.07	0.89	0.27	1.39	0.33	11.69	5.38	5.98

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.1. Curva granulométrica de los agregados con 0.04% de fibra de coco.



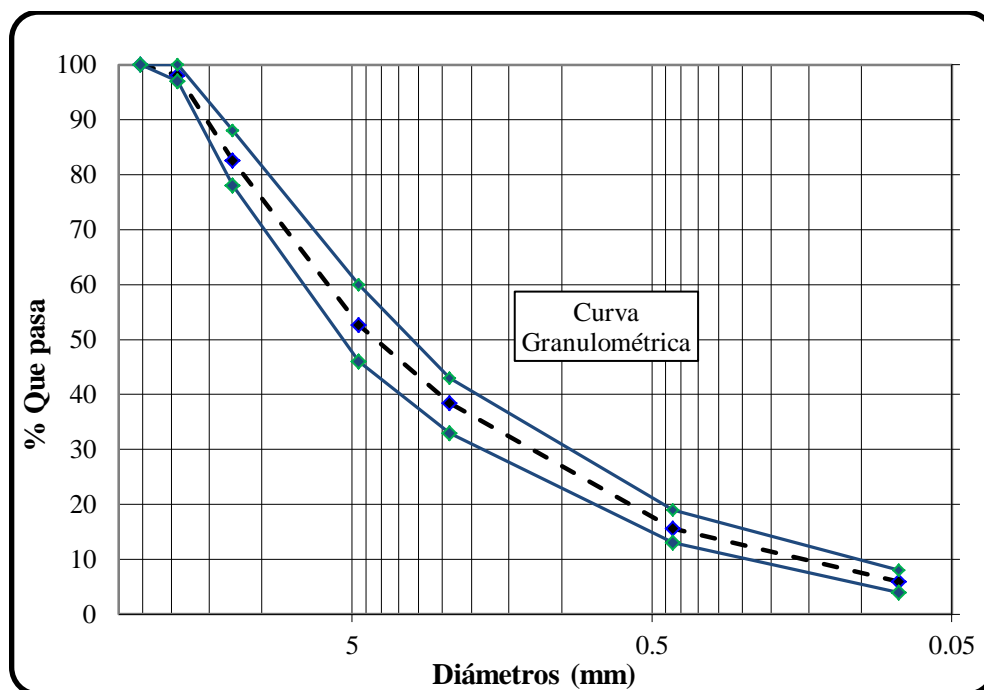
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2. Dosificación de los agregados con 0.08% de fibra de coco.

Agregados		Grava - Charaja		Gravilla - Charaja		Arena triturada - Charaja		% Que pasa
% Usado		30%		24%		46%		
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	
Pulg.	mm.							
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	24.00	100.00	46.00	100.00
3/4"	19.10	93.60	28.10	100.00	24.00	100.00	46.00	98.10
1/2"	12.50	41.80	12.50	100.00	24.00	100.00	46.00	82.50
3/8"	9.50	12.40	3.70	75.60	18.10	100.00	46.00	67.90
N°4	4.75	1.10	0.30	29.60	7.10	98.30	45.20	52.70
N°8	2.36	1.10	0.30	8.20	2.00	78.50	36.10	38.40
N°16	1.18	1.10	0.30	4.60	1.10	58.90	27.10	28.50
N°40	0.42	1.10	0.30	3.30	0.80	31.50	14.50	15.60
N°80	0.18	1.10	0.30	3.30	0.80	19.00	8.70	9.80
N°200	0.07	0.90	0.30	1.40	0.30	11.70	5.40	6.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2. Curva granulométrica de los agregados con 0.08% de fibra de coco.



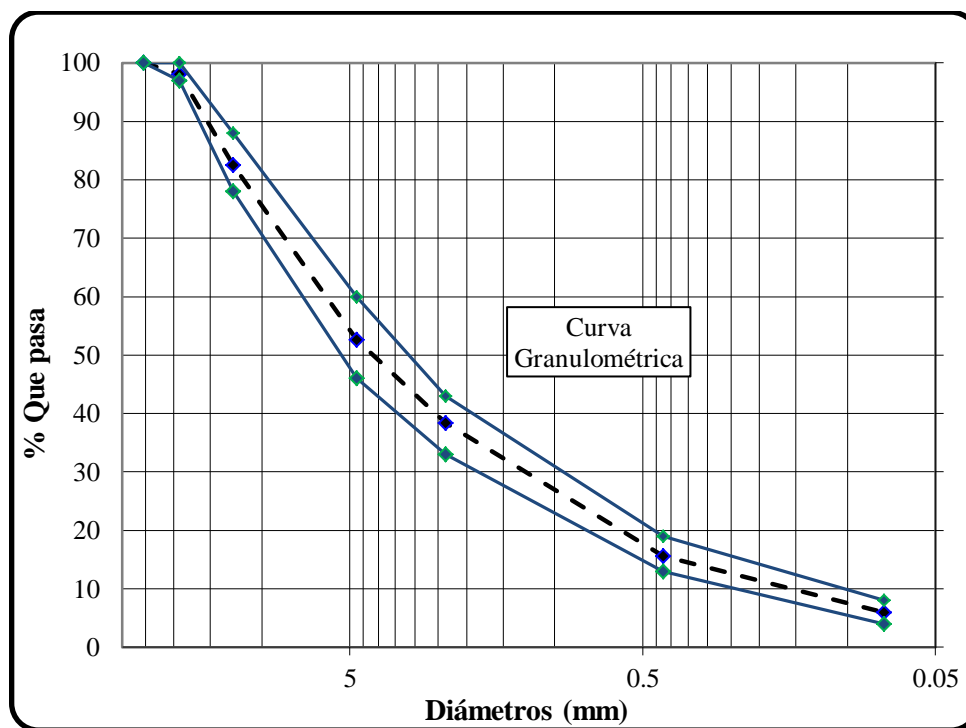
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3. Dosificación de los agregados con 0.12% de fibra de coco.

Agregados		Grava - Charaja		Gravilla - Charaja		Arena triturada - Charaja		% Que pasa
% Usado		30%		24%		46%		
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	
Pulg.	mm.							
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	24.00	100.00	46.00	100.00
3/4"	19.10	93.60	28.10	100.00	24.00	100.00	46.00	98.10
1/2"	12.50	41.80	12.50	100.00	24.00	100.00	46.00	82.50
3/8"	9.50	12.40	3.70	75.60	18.10	100.00	46.00	67.90
N°4	4.75	1.10	0.30	29.60	7.10	98.30	45.20	52.70
N°8	2.36	1.10	0.30	8.20	2.00	78.50	36.10	38.40
N°16	1.18	1.10	0.30	4.60	1.10	58.90	27.10	28.50
N°40	0.42	1.10	0.30	3.30	0.80	31.50	14.50	15.60
N°80	0.18	1.10	0.30	3.30	0.80	19.00	8.70	9.80
N°200	0.07	0.90	0.30	1.40	0.30	11.70	5.40	6.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.3. Curva granulométrica de los agregados con 0.12% de fibra de coco.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Dosificaciones de los especímenes

Tabla 4.4. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% de fibra de coco.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.
1"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	98.10	1.90	1.90	22.10	22.10	21.90	21.90	21.80	21.80	21.70	21.70	21.60	21.60
1/2"	82.50	17.50	15.50	178.00	200.10	177.10	199.00	176.20	198.0	175.20	196.9	174.30	195.90
3/8"	67.90	32.10	14.70	168.20	368.30	167.30	366.30	166.40	364.40	165.50	362.5	164.70	360.50
N°4	52.70	47.30	15.20	174.00	542.30	173.10	539.50	172.20	536.60	171.30	533.8	170.40	530.90
N°10	38.40	61.60	14.30	163.40	705.70	162.50	702.00	161.70	698.30	160.80	694.6	160.00	690.90
N°16	28.50	71.50	9.90	113.10	818.80	112.60	814.50	112.00	810.20	111.40	806.0	110.80	801.70
N°40	15.60	84.40	12.90	148.00	966.80	147.30	961.80	146.50	956.70	145.70	951.7	144.90	946.60
N°80	9.80	90.20	5.80	66.00	1032.80	65.60	1027.40	65.30	1022.00	64.90	1016.6	64.60	1011.20
N°200	6.00	94.00	3.90	44.20	1077.10	44.00	1071.40	43.80	1065.80	43.50	1060.1	43.30	1054.50
Filler	0.00	100.00	6.00	68.50	1145.50	68.10	1139.50	67.80	1133.50	67.40	1127.5	67.00	1121.60
Peso total (gr)				1145.50		1139.50		1133.50		1127.50		1121.60	

Peso muestra (gr)	1145.50	1139.50	1133.50	1127.50	1121.60
Peso asfalto (gr)	54.00	60.00	66.00	72.00	78.00
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1199.50	1199.50	1199.50	1199.50	1199.50
Fibra de coco (gr)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Total (gr)	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 0.08% de fibra de coco.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.
1"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	98.10	1.90	1.90	22.10	22.10	21.90	21.90	21.80	21.80	21.70	21.70	21.60	21.60
1/2"	82.50	17.50	15.50	177.90	200.00	177.00	199.00	176.10	197.90	175.20	196.90	174.20	195.80
3/8"	67.90	32.10	14.70	168.10	368.10	167.20	366.20	166.30	364.30	165.50	362.30	164.60	360.40
Nº4	52.70	47.30	15.20	174.00	542.10	173.10	539.20	172.10	536.40	171.20	533.60	170.30	530.70
Nº10	38.40	61.60	14.30	163.30	705.40	162.50	701.70	161.60	698.00	160.70	694.30	159.90	690.60
Nº16	28.50	71.50	9.90	113.10	818.50	112.50	814.20	111.90	809.90	111.30	805.60	110.70	801.30
Nº40	15.60	84.40	12.90	148.00	966.50	147.20	961.40	146.40	956.30	145.60	951.30	144.90	946.20
Nº80	9.80	90.20	5.80	65.90	1032.40	65.60	1027.00	65.30	1021.60	64.90	1016.20	64.60	1010.80
Nº200	6.00	94.00	3.90	44.20	1076.60	44.00	1071.00	43.80	1065.40	43.50	1059.70	43.30	1054.10
Filler	0.00	100.00	6.00	68.50	1145.10	68.10	1139.10	67.70	1133.10	67.40	1127.10	67.00	1121.10
Peso total (gr)				1145.10		1139.10		1133.10		1127.10		1121.10	

Peso muestra (gr)	1145.10	1139.10	1133.10	1127.10	1121.10
Peso asfalto (gr)	54.00	60.00	65.90	71.90	77.90
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1199.00	1199.00	1199.00	1199.00	1199.00
Fibra de coco (gr)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Total (gr)	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica convencional con 0.12% de fibra de coco.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.
1"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	98.10	1.90	1.90	22.00	22.00	21.90	21.90	21.80	21.80	21.70	21.70	21.60	21.60
1/2"	82.50	17.50	15.50	177.90	199.90	176.90	198.90	176.00	197.80	175.10	196.80	174.10	195.70
3/8"	67.90	32.10	14.70	168.00	368.00	167.20	366.00	166.30	364.10	165.40	362.20	164.50	360.30
Nº4	52.70	47.30	15.20	173.90	541.90	173.00	539.00	172.10	536.20	171.20	533.30	170.30	530.50
Nº10	38.40	61.60	14.30	163.20	705.10	162.40	701.40	161.50	697.70	160.70	694.00	159.80	690.30
Nº16	28.50	71.50	9.90	113.10	818.20	112.50	813.90	111.90	809.60	111.30	805.30	110.70	801.00
Nº40	15.60	84.40	12.90	147.90	966.10	147.10	961.00	146.40	956.00	145.60	950.90	144.80	945.80
Nº80	9.80	90.20	5.80	65.90	1032.00	65.60	1026.6	65.20	1021.20	64.90	1015.80	64.50	1010.40
Nº200	6.00	94.00	3.90	44.20	1076.20	44.00	1070.60	43.70	1064.90	43.50	1059.30	43.30	1053.70
Filler	0.00	100.00	6.00	68.40	1144.60	68.10	1138.60	67.70	1132.60	67.40	1126.60	67.00	1120.70
Peso total (gr)				1144.60		1138.60		1132.60		1126.60		1120.70	

Peso muestra (gr)	1144.60	1138.60	1132.60	1126.60	1120.70
Peso asfalto (gr)	53.90	59.90	65.90	71.90	77.90
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1198.60	1198.60	1198.60	1198.60	1198.60
Fibra de coco (gr)	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
Total (gr)	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas mostradas anteriormente nos muestran las cantidades de agregados y cemento asfáltico con las que se realizará el diseño y así poder obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico para cada uno de los diseños.

4.1.3. Resultados de las muestras

Una vez que se hayan extraído las briquetas de los moldes de compactación se procederá a realizar los ensayos de gravedad específica, estabilidad y fluencia.

Tabla 4.7. Resultados de la dosificación para el diseño con 0.04% de fibra de coco.

% de asfalto	Densidad promedio (kg/cm ³)	Densidad máxima teórica (kg/cm ³)	Vv (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad (Lb)	Flujo (1/100)
4.50	2.31	2.48	6.96	17.19	59.51	1892.79	10.57
5.00	2.33	2.46	5.58	17.03	67.22	2221.04	10.70
5.50	2.33	2.45	4.52	17.16	73.65	2262.21	11.27
6.00	2.33	2.43	3.89	17.66	78.00	2078.80	12.63
6.50	2.32	2.41	3.51	18.38	80.92	1771.89	15.03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8. Resultados de la dosificación para el diseño con 0.08% de fibra de coco.

% de asfalto	Densidad promedio (kg/cm ³)	Densidad máxima teórica (kg/cm ³)	Vv (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad (Lb)	Flujo (1/100)
4.50	2.32	2.48	6.72	16.97	60.43	1888.04	11.73
5.00	2.34	2.46	4.93	16.46	70.03	2283.51	11.30
5.50	2.35	2.45	3.93	16.65	76.38	2289.27	11.43
6.00	2.34	2.43	3.47	17.31	79.94	2214.28	12.63
6.50	2.32	2.41	3.60	18.45	80.52	1813.43	14.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.9. Resultados de la dosificación para el diseño con 0.12% de fibra de coco.

% de asfalto	Densidad promedio (kg/cm ³)	Densidad máxima teórica (kg/cm ³)	Vv (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad (Lb)	Flujo (1/100)
4.50	2.37	2.48	4.68	15.16	69.14	1981.12	12.03
5.00	2.39	2.46	2.87	14.65	80.38	2240.32	12.47
5.50	2.40	2.45	1.81	14.80	87.79	2268.65	13.60
6.00	2.40	2.43	1.31	15.46	91.51	2169.13	15.33
6.50	2.37	2.41	1.53	16.71	90.82	1876.85	17.33

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.10. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 0.04% de fibra de coco.

Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.72	2.33	-----	-----
% Vacíos	5.87	4.00	3.00	5.00
R.B.V.	5.20	70.00	65.00	75.00
V.A.M	5.00	17.00		
Estabilidad (lb)	5.31	2275.24	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	4.21	11.00	8.00	14.00
Promedio (%)	5.22	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 0.08% de fibra de coco.

Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.56	2.35	-----	-----
% vacíos	5.44	4.00	3.00	5.00
R.B.V.	5.00	70.00	65.00	75.00
V.A.M	5.15	16.49		
Estabilidad (lb)	5.46	2385.83	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.05	11.22	8.00	14.00
Promedio (%)	5.28	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 0.12% de fibra de coco.

Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.55	2.40	-----	-----
% Vacíos	4.67	4.00	3.00	5.00
R.B.V.	4.53	70.00	65.00	75.00
V.A.M	5.15	14.63		
Estabilidad (lb)	5.43	2639.80	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	4.52	12.00	8.00	14.00
Promedio (%)	4.97	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las graficas		

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se determina el contenido óptimo de cemento asfáltico y con la ayuda de las mismas gráficas, podemos encontrar los valores de las características de la mezcla asfáltica.

Tabla 4.13. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 0.04% de fibra de coco.

Valores obtenidos del diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.22	2.33	-----	-----
% Vacíos	5.22	5.08	3.00	5.00
R.B.V.	5.22	70.27	65.00	75.00
V.A.M	5.22	17.05		
Estabilidad (lb)	5.22	2270.76	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.22	10.79	8.00	14.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.46	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 0.08% de fibra de coco.

Valores obtenidos del diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.28	2.35	-----	-----
% Vacíos	5.28	4.31	3.00	5.00
R.B.V.	5.28	73.95	65.00	75.00
V.A.M	5.28	16.51		
Estabilidad (lb)	5.28	2368.66	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.28	11.31	8.00	14.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.34	

Fuente: Elaboración propia.

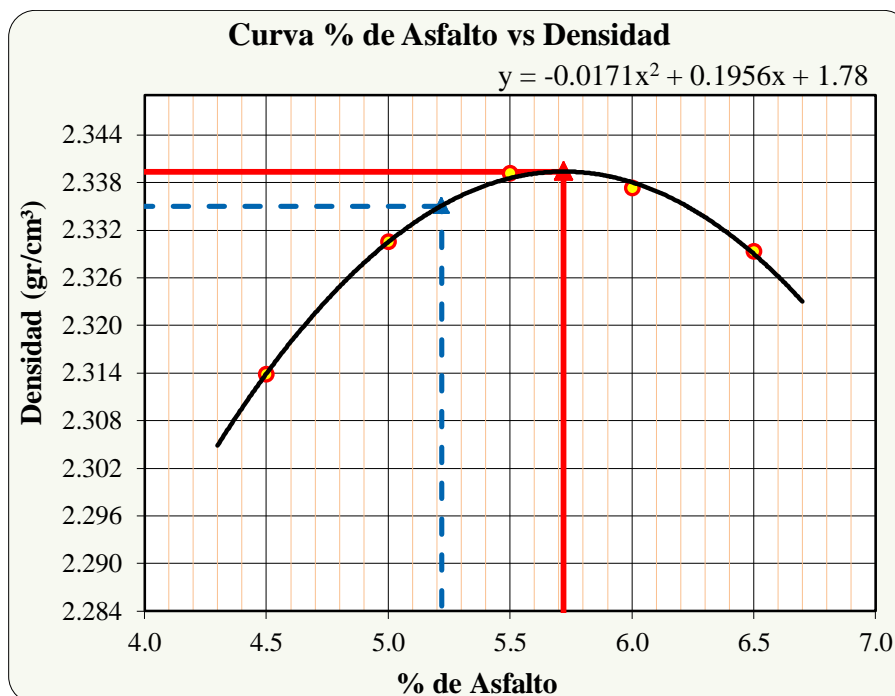
Tabla 4.15. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 0.12% de fibra de coco.

Valores obtenidos del diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	4.97	2.39	-----	-----
% vacíos	4.97	2.98	3.00	5.00
R.B.V.	4.97	79.88	65.00	75.00
V.A.M	4.97	14.67		
Estabilidad (lb)	4.97	2200.96	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	4.97	12.40	8.00	14.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.26	

Fuente: Elaboración propia.

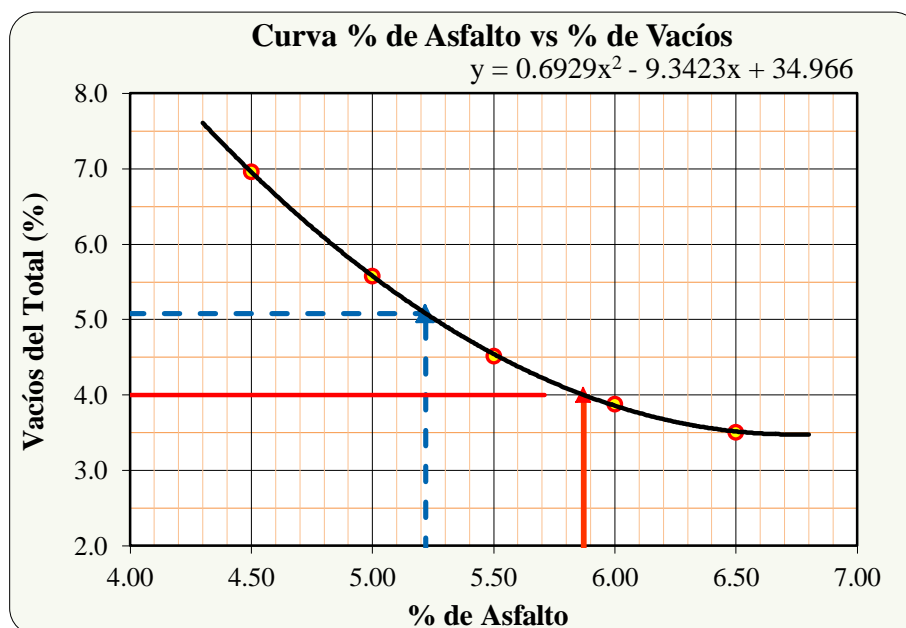
4.1.4. Gráficos de ensayos Marshall vs cemento asfáltico para un diseño normal con un 0.04% de fibra de coco

Figura 4.4. % asfalto vs densidad del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% fibra.



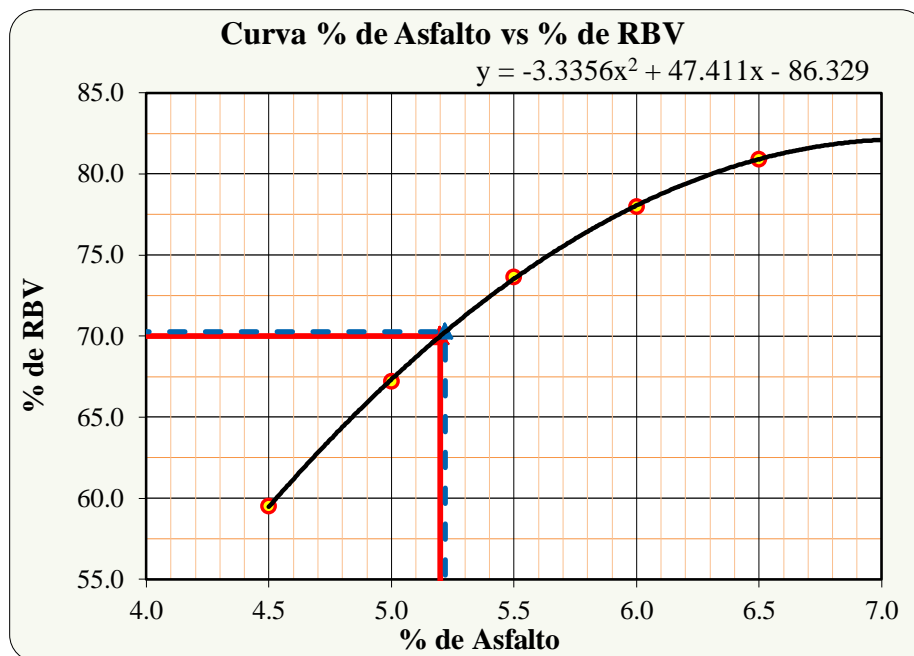
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5. % asfalto vs % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% fibra.



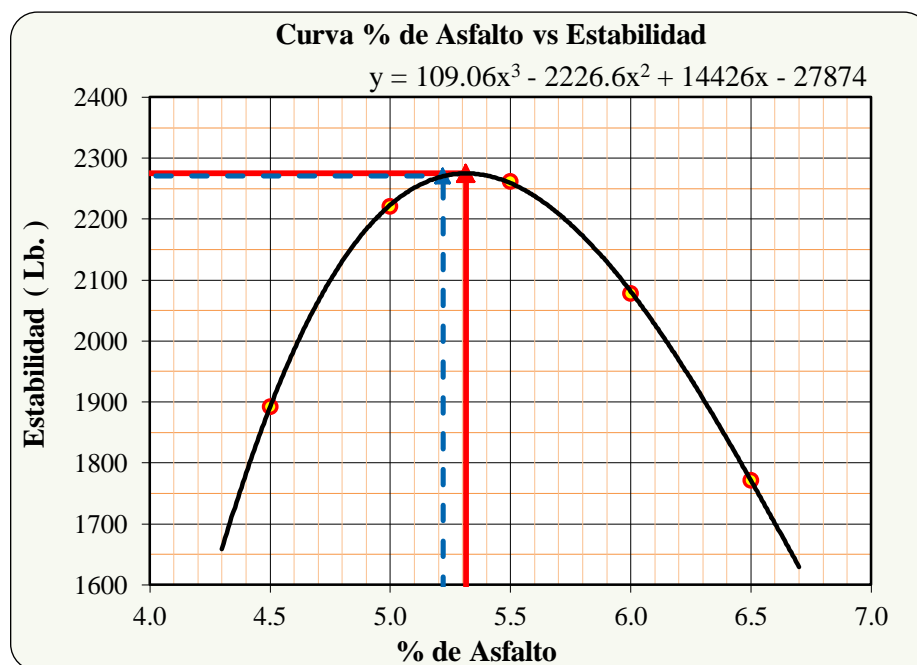
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.6. % asfalto vs % RBV del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% fibra.



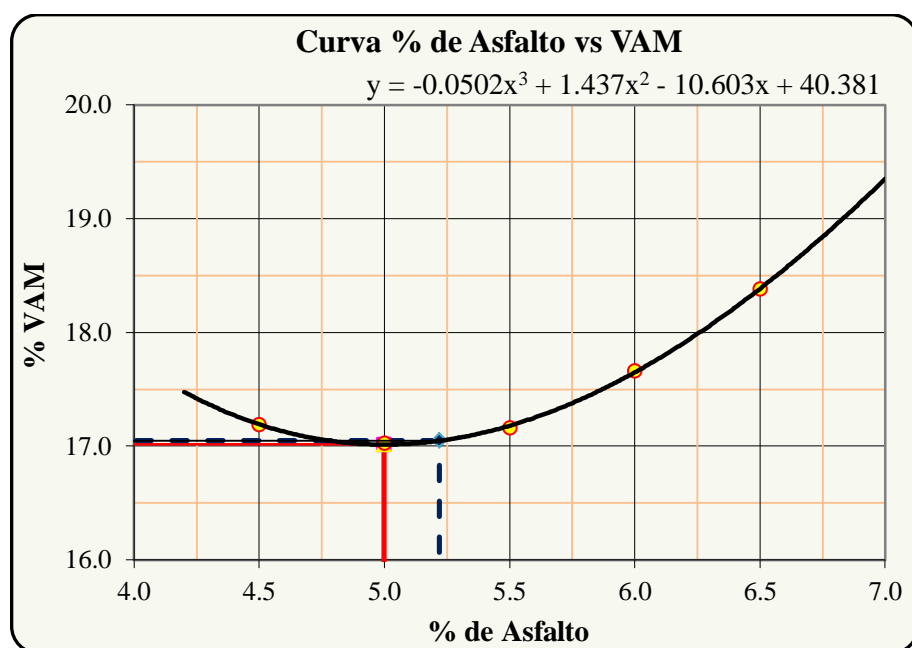
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.7. % asfalto vs estabilidad del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% fibra.



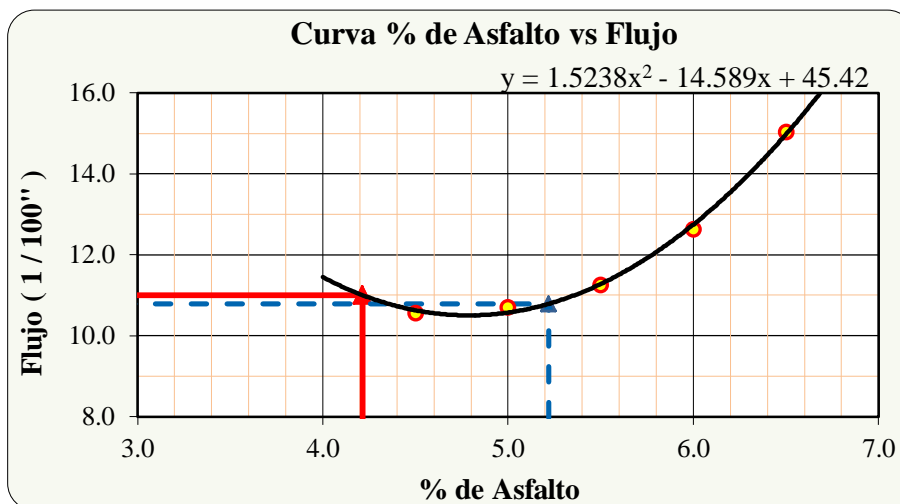
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.8. % asfalto vs % VAM del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% fibra.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.9. % asfalto vs flujo del diseño de la mezcla asfáltica con 0.04% fibra.



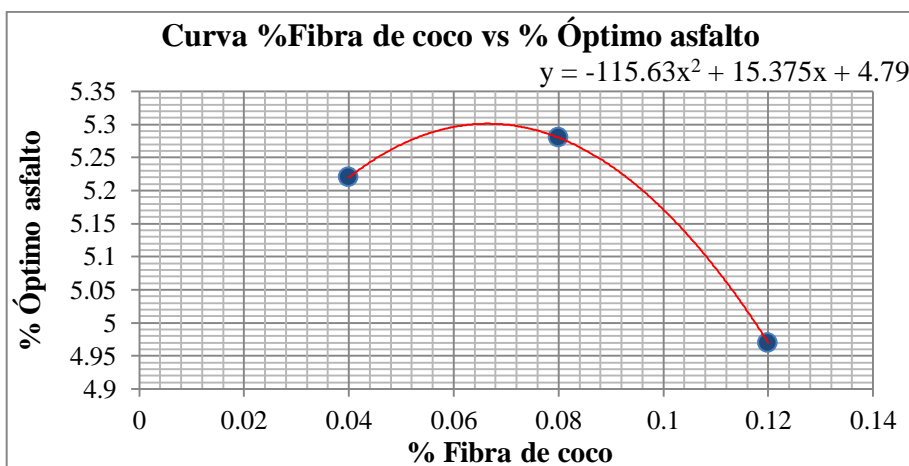
Fuente: Elaboración propia.

Se realizara estas gráficas de ensayo Marshall para cada uno de los diseños realizados.

Ver gráficas más a detalle de cada diseño en el **Anexo D.3**.

Una vez determinado el contenido óptimo de cemento asfáltico en cada diseño y teniendo como dato el porcentaje de fibra para cada diseño, se determinara el porcentaje óptimo de fibras de coco a utilizar para posteriormente trabajar en los nuevos diseños Marshall donde se aplicara el cemento Portland.

Figura 4.10. % Óptimo de cemento asfáltico vs % fibra de coco.



Fuente: Elaboración propia.

$$y = -115.63 * (0.066)^2 + 15.375 * (0.066) + 4.79 = 5.30\%$$

Luego de graficar y resolver la ecuación polinómica de 2° orden se determinó que para un 0.066% de fibras se obtendrá un 5.30% de contenido óptimo de cemento asfáltico.

4.2. DISEÑO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND Y FIBRAS DE COCO

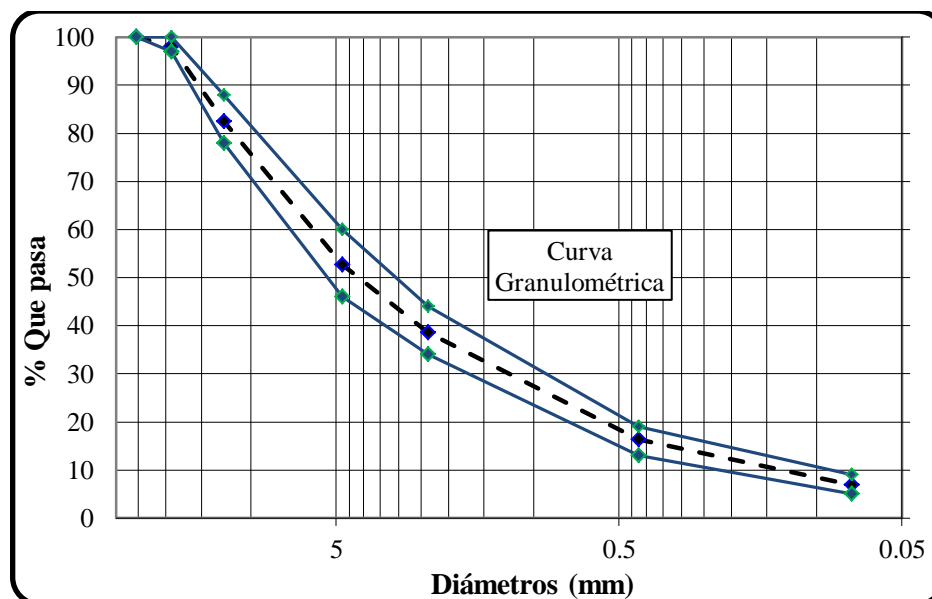
4.2.1. Mezclas para obtener el diseño óptimo de cemento asfáltico

Tabla 4.16. Dosificación de los agregados con 1% de filler (cemento Portland).

Agregado		Grava - Charaja		Gravilla - Charaja		Arena triturada - Charaja		Filler - cemento Portland		% Que pasa
% usado		30%		24%		45%		1%		
tamices		% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	
pulg	mm.									
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	24.00	100.00	45.00	100.00	1.00	100.00
3/4"	19.10	93.58	28.07	100.00	24.00	100.00	45.00	100.00	1.00	98.10
1/2"	12.50	41.78	12.53	100.00	24.00	100.00	45.00	100.00	1.00	82.50
3/8"	9.50	12.38	3.71	75.58	18.14	100.00	45.00	100.00	1.00	67.90
N°4	4.75	1.12	0.34	29.61	7.11	98.30	44.24	100.00	1.00	52.70
N°8	2.36	1.10	0.33	8.16	1.96	78.50	35.33	100.00	1.00	38.60
N°16	1.18	1.07	0.32	4.61	1.11	58.90	26.51	100.00	1.00	28.90
N°40	0.42	1.05	0.32	3.31	0.79	31.50	14.18	100.00	1.00	16.30
N°80	0.18	1.05	0.32	3.31	0.79	18.98	8.54	100.00	1.00	10.70
N°200	0.07	0.89	0.27	1.39	0.33	11.69	5.26	98.88	0.99	6.80

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.11. Curva granulométrica de los agregados con 1% de filler (cemento Portland).



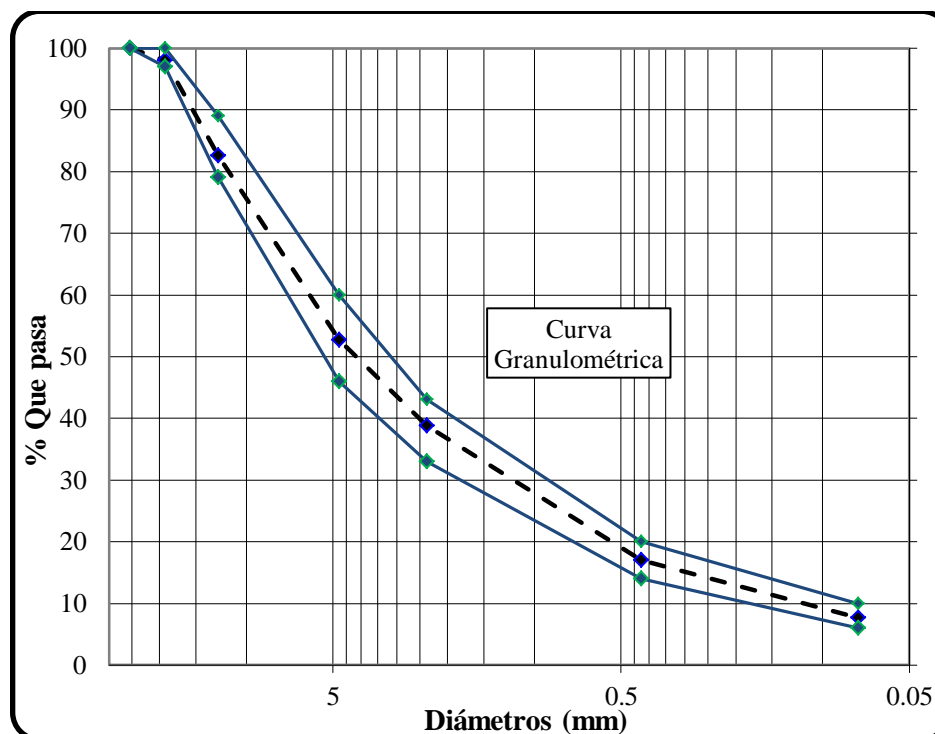
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.17. Dosificación de los agregados con 2% de filler (cemento Portland).

Agregado		Grava - Charaja		Gravilla - Charaja		Arena triturada - Charaja		Filler - cemento portland		% Que pasa
% usado		30%		24%		44%		2%		
tamices		% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	
pulg	mm.									
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	24.00	100.00	44.00	100.00	2.00	100.00
3/4"	19.10	93.58	28.07	100.00	24.00	100.00	44.00	100.00	2.00	98.10
1/2"	12.50	41.78	12.53	100.00	24.00	100.00	44.00	100.00	2.00	82.50
3/8"	9.50	12.38	3.71	75.58	18.14	100.00	44.00	100.00	2.00	67.90
N°4	4.75	1.12	0.34	29.61	7.11	98.30	43.25	100.00	2.00	52.70
N°8	2.30	1.10	0.33	8.16	1.96	78.50	34.54	100.00	2.00	38.80
N°16	1.18	1.07	0.32	4.61	1.11	58.90	25.92	100.00	2.00	29.30
N°40	0.42	1.05	0.32	3.31	0.79	31.50	13.86	100.00	2.00	17.00
N°80	0.18	1.05	0.32	3.31	0.79	18.98	8.35	100.00	2.00	11.50
N°200	0.07	0.89	0.27	1.39	0.33	11.69	5.14	98.88	1.98	7.70

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.12. Curva granulométrica de los agregados con 2% de filler (cemento Portland).



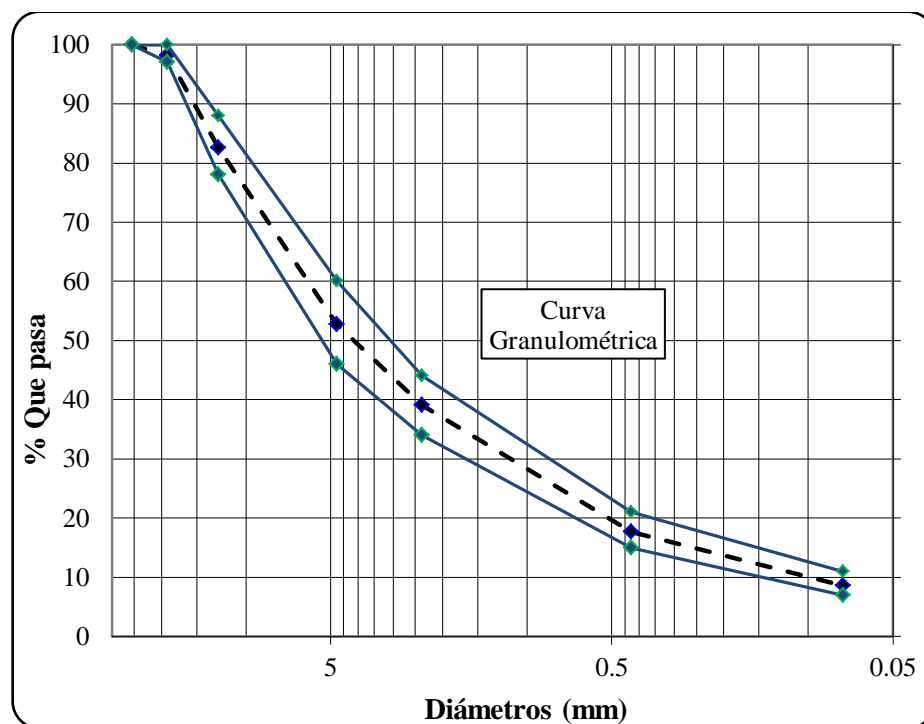
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.18. Dosificación de los agregados con 3% de filler (cemento Portland).

Agregados		Grava - Charaja		Gravilla - Charaja		arena triturada - Charaja		filler - cemento portland		% Que pasa
% Usado		30%		24%		43%		3%		
Tamices		% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	
pulg	mm.									
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	24.00	100.00	43.00	100.00	3.00	100.00
3/4"	19.10	93.58	28.07	100.00	24.00	100.00	43.00	100.00	3.00	98.10
1/2"	12.50	41.78	12.53	100.00	24.00	100.00	43.00	100.00	3.00	82.50
3/8"	9.50	12.38	3.71	75.58	18.14	100.00	43.00	100.00	3.00	67.90
N°4	4.75	1.12	0.34	29.61	7.11	98.30	42.27	100.00	3.00	52.70
N°8	2.36	1.10	0.33	8.16	1.96	78.50	33.76	100.00	3.00	39.00
N°16	1.18	1.07	0.32	4.61	1.11	58.90	25.33	100.00	3.00	29.80
N°40	0.42	1.05	0.32	3.31	0.79	31.50	13.55	100.00	3.00	17.70
N°80	0.18	1.05	0.32	3.31	0.79	18.98	8.16	100.00	3.00	12.30
N°200	0.07	0.89	0.27	1.39	0.33	11.69	5.03	98.88	2.97	8.60

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.13. Curva granulométrica de los agregados con 3% de filler (cemento Portland).



Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Dosificación de los especímenes (modificados)

Los porcentajes de cemento asfáltico para los que se preparara la mezcla son de: 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

Tabla 4.19. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.
1"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	98.10	1.90	1.90	22.10	22.10	21.90	21.90	21.80	21.80	21.70	21.70	21.60	21.60
1/2"	82.50	17.50	15.50	178.00	200.00	177.00	199.00	176.10	197.90	175.20	196.90	174.20	195.80
3/8"	67.90	32.10	14.70	168.10	368.20	167.30	366.20	166.40	364.30	165.50	362.40	164.60	360.40
N°4	52.70	47.30	15.20	173.80	542.00	172.90	539.10	172.00	536.30	171.10	533.40	170.20	530.60
N°8	38.60	61.40	14.10	161.10	703.00	160.20	699.30	159.40	695.70	158.50	692.00	157.70	688.30
N°16	28.90	71.10	9.70	110.90	813.90	110.30	809.60	109.70	805.40	109.10	801.10	108.50	796.90
N°40	16.30	83.70	12.60	144.90	958.70	144.10	953.70	143.30	948.70	142.60	943.70	141.80	938.70
N°80	10.70	89.30	5.60	64.50	1023.30	64.20	1017.90	63.80	1012.60	63.50	1007.20	63.20	1001.80
N°200	6.80	93.20	3.80	43.50	1066.80	43.30	1061.20	43.10	1055.60	42.80	1050.00	42.60	1044.50
Filler	0.00	100.00	6.80	78.40	1145.20	78.00	1139.20	77.60	1133.30	77.20	1127.30	76.80	1121.30
Peso total (gr)				1145.20		1139.20		1133.30		1127.30		1121.30	

Peso muestra (gr)	1145.20	1139.20	1133.30	1127.30	1121.30
Peso asfalto (gr)	54.00	60.00	66.00	72.00	77.90
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1199.20	1199.20	1199.20	1199.20	1199.20
Fibra de coco (gr)	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Total (gr)	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.20. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.
1"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	98.10	1.90	1.90	22.10	22.10	21.90	21.90	21.80	21.80	21.70	21.70	21.60	21.60
1/2"	82.50	17.50	15.50	178.00	200.00	177.00	199.00	176.10	197.90	175.20	196.90	174.20	195.80
3/8"	67.90	32.10	14.70	168.10	368.20	167.30	366.20	166.40	364.30	165.50	362.40	164.60	360.40
Nº4	52.70	47.30	15.20	173.60	541.80	172.70	538.90	171.80	536.10	170.90	533.30	170.00	530.40
Nº8	38.80	61.20	13.90	158.80	700.60	158.00	696.90	157.10	693.20	156.30	689.60	155.50	685.90
Nº16	29.30	70.70	9.50	108.60	809.20	108.10	805.00	107.50	800.70	106.90	796.50	106.40	792.20
Nº40	17.00	83.00	12.40	141.70	950.90	141.00	945.90	140.20	940.90	139.50	936.00	138.70	931.00
Nº80	11.50	88.50	5.50	63.10	1014.00	62.80	1008.70	62.40	1003.40	62.10	998.10	61.80	992.80
Nº200	7.70	92.30	3.70	42.80	1056.80	42.60	1051.30	42.40	1045.70	42.10	1040.20	41.90	1034.70
Filler	0.00	100.00	7.70	88.40	1145.20	88.00	1139.20	87.50	1133.30	87.00	1127.30	86.60	1121.30
Peso total (gr)				1145.20		1139.20		1133.30		1127.30		1121.30	

Peso muestra (gr)	1145.20	1139.20	1133.30	1127.30	1121.30
Peso asfalto (gr)	54.00	60.00	66.00	72.00	77.90
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1199.20	1199.20	1199.20	1199.20	1199.20
Fibra de coco (gr)	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Total (gr)	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.21. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.
1"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	98.10	1.90	1.90	22.10	22.10	21.90	21.90	21.80	21.80	21.70	21.70	21.60	21.60
1/2"	82.50	17.50	15.50	178.00	200.00	177.00	199.00	176.10	197.90	175.20	196.90	174.20	195.80
3/8"	67.90	32.10	14.70	168.10	368.20	167.30	366.20	166.40	364.30	165.50	362.40	164.60	360.40
Nº4	52.70	47.30	15.10	173.40	541.60	172.50	538.70	171.60	535.90	170.70	533.10	169.80	530.20
Nº8	39.00	61.00	13.70	156.50	698.10	155.70	694.40	154.90	690.80	154.10	687.10	153.30	683.50
Nº16	29.80	70.20	9.30	106.40	804.50	105.80	800.30	105.30	796.10	104.70	791.80	104.20	787.60
Nº40	17.70	82.30	12.10	138.60	943.10	137.80	938.10	137.10	933.20	136.40	928.20	135.70	923.30
Nº80	12.30	87.70	5.40	61.70	1004.70	61.30	999.50	61.00	994.20	60.70	988.90	60.40	983.70
Nº200	8.60	91.40	3.70	42.10	1046.80	41.90	1041.30	41.70	1035.90	41.50	1030.40	41.20	1024.90
Filler	0.00	100.00	8.60	98.40	1145.20	97.90	1139.20	97.40	1133.30	96.90	1127.30	96.40	1121.30
Peso total (gr)				1145.20		1139.20		1133.30		1127.30		1121.30	

Peso muestra (gr)	1145.20	1139.20	1133.30	1127.30	1121.30
Peso asfalto (gr)	54.00	60.00	66.000	72.00	77.90
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1199.20	1199.20	1199.20	1199.20	1199.20
Fibra de coco (gr)	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
Total (gr)	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas mostradas anteriormente nos muestran las cantidades de agregados y cemento asfáltico con las que se realizará el diseño y así poder obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico para cada uno de los diseños.

4.2.3. Resultados de las muestras modificadas con cemento Portland y fibras de coco

Una vez que se hayan extraído las briquetas de los moldes de compactación se procederá a realizar los ensayos de gravedad específica, estabilidad y fluencia.

A continuación se muestra los resultados obtenidos del diseño de la mezcla asfáltica modificada con adición de cemento Portland y fibras de coco.

Tabla 4.22. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland).

% de asfalto	Densidad promedio (kg/cm ³)	Densidad máxima teórica (kg/cm ³)	V _v (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad (Lb)	Flujo (1/100)
4.50	2.39	2.48	3.69	14.28	74.16	2116.62	9.47
5.00	2.40	2.46	2.50	14.32	82.53	2412.97	9.30
5.50	2.41	2.45	1.63	14.65	88.87	2506.41	11.00
6.00	2.40	2.43	1.06	15.24	93.03	2445.61	13.67
6.50	2.39	2.41	0.90	16.18	94.42	2281.54	17.33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.23. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de filler (cemento Portland).

% de asfalto	Densidad promedio (kg/cm ³)	Densidad máxima teórica (kg/cm ³)	V _v (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad (Lb)	Flujo (1/100)
4.50	2.39	2.48	3.81	14.39	73.50	2203.37	9.67
5.00	2.41	2.46	2.34	14.18	83.51	2501.57	9.53
5.50	2.41	2.45	1.42	14.46	90.21	2652.84	11.33
6.00	2.40	2.43	0.99	15.18	93.49	2594.57	14.67
6.50	2.38	2.41	1.11	16.36	93.19	2310.39	19.33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.24. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de filler (cemento Portland).

% de asfalto	Densidad promedio (kg/cm ³)	Densidad máxima teórica (kg/cm ³)	V _v (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad (Lb)	Flujo (1/100)
4.50	2.40	2.48	3.42	14.04	75.64	2088.02	10.83
5.00	2.42	2.46	1.79	13.70	86.93	2501.40	11.27
5.50	2.43	2.45	0.82	13.95	94.14	2585.47	13.43
6.00	2.41	2.43	0.56	14.82	96.20	2478.42	16.47
6.50	2.39	2.41	0.96	16.23	94.06	2187.48	22.57

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.25. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 1% de filler (cemento Portland).

Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.45	2.40	-----	-----
% Vacíos	4.39	4.00	3.00	5.00
R.B.V.	4.30	70.00	65.00	75.00
V.A.M	4.69	14.259		
Estabilidad (lb)	5.62	2510.64	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.52	11.00	8.00	14.00
Promedio (%)	4.99	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.26. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 2% de filler (cemento Portland).

Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.45	2.42	-----	-----
% vacíos	4.45	4.00	3.00	5.00
R.B.V.	4.36	70.00	65.00	75.00
V.A.M	4.96	14.19		
Estabilidad (lb)	5.58	2651.03	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.43	11.00	8.00	14.00
Promedio (%)	5.04	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.27. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 3% de filler (cemento Portland).

Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.41	2.43	-----	-----
% Vacíos	4.36	4.00	3.00	5.00
R.B.V.	4.31	70.00	65.00	75.00
V.A.M	5.03	13.69		
Estabilidad (lb)	5.54	2597.30	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	4.44	11.00	8.00	14.00
Promedio (%)	4.85	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las graficas		

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se determina el contenido óptimo de cemento asfáltico y con la ayuda de las mismas gráficas, podemos encontrar los valores de las características de la mezcla asfáltica.

Tabla 4.28. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 1% de filler (cemento Portland).

Valores obtenidos del diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	4.99	2.40	-----	-----
% Vacíos	4.99	2.51	3.00	5.00
R.B.V.	4.99	82.50	65.00	75.00
V.A.M	4.99	14.312		
Estabilidad (lb)	4.99	2389.47	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	4.99	9.51	8.00	14.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.46	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.29. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 2% de filler
(cemento Portland).

Valores obtenidos del diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.04	2.41	-----	-----
% Vacíos	5.04	2.24	3.00	5.00
R.B.V.	5.04	84.22	65.00	75.00
V.A.M	5.04	14.19		
Estabilidad (lb)	5.04	2537.33	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.04	9.74	8.00	14.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.34	

Fuente: Elaboración propia.

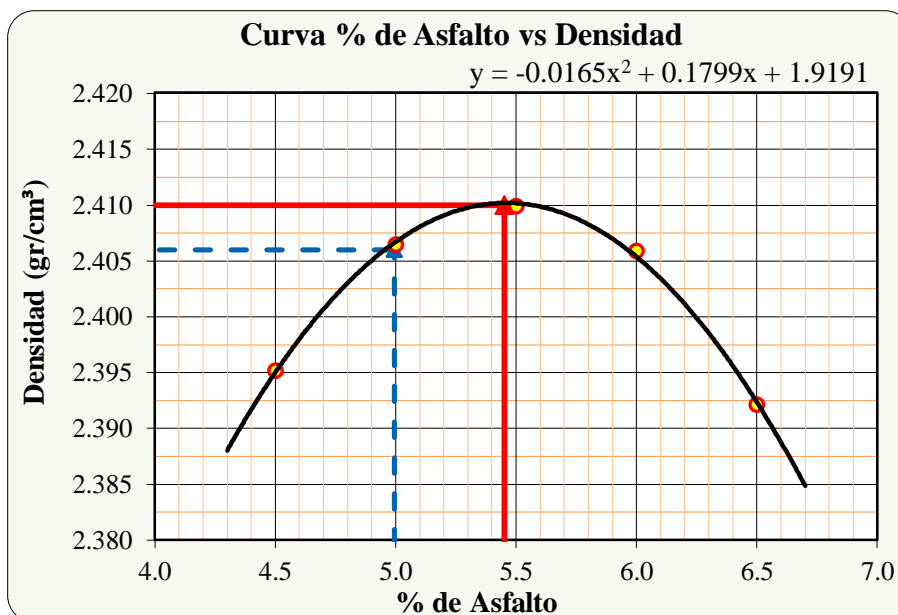
Tabla 4.30. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 3% de filler
(cemento Portland).

Valores obtenidos del diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	4.85	2.41	-----	-----
% vacíos	4.85	2.20	3.00	5.00
R.B.V.	4.85	84.08	65.00	75.00
V.A.M	4.85	13.73		
Estabilidad (lb)	4.85	2380.64	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	4.85	10.91	8.00	14.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.26	

Fuente: Elaboración propia.

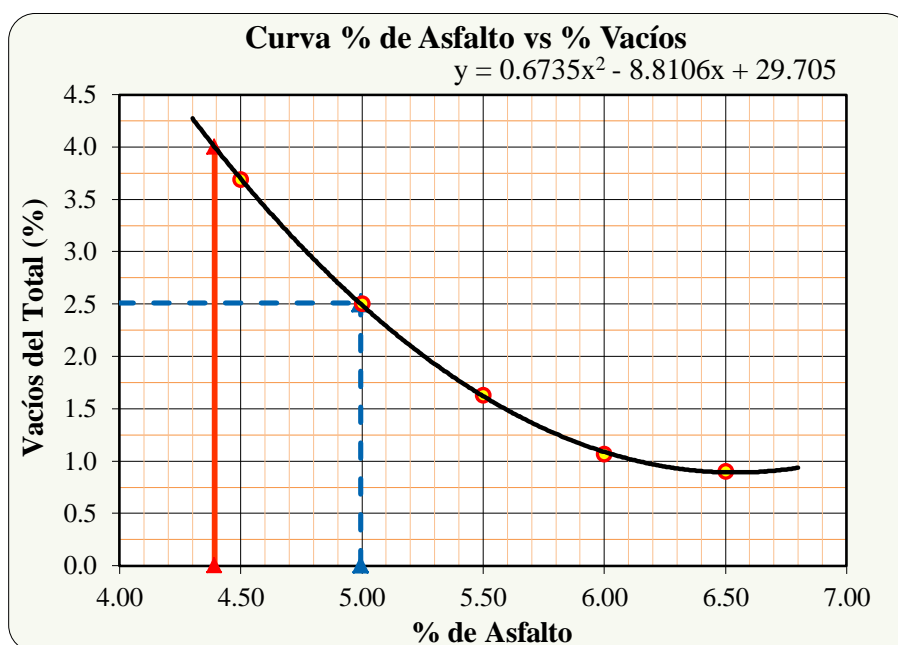
4.2.4. Gráficos de ensayos Marshall vs cemento asfáltico para un diseño modificado con 1% de filler (cemento Portland)

Figura 4.14. % asfalto vs densidad del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler (cemento Portland).



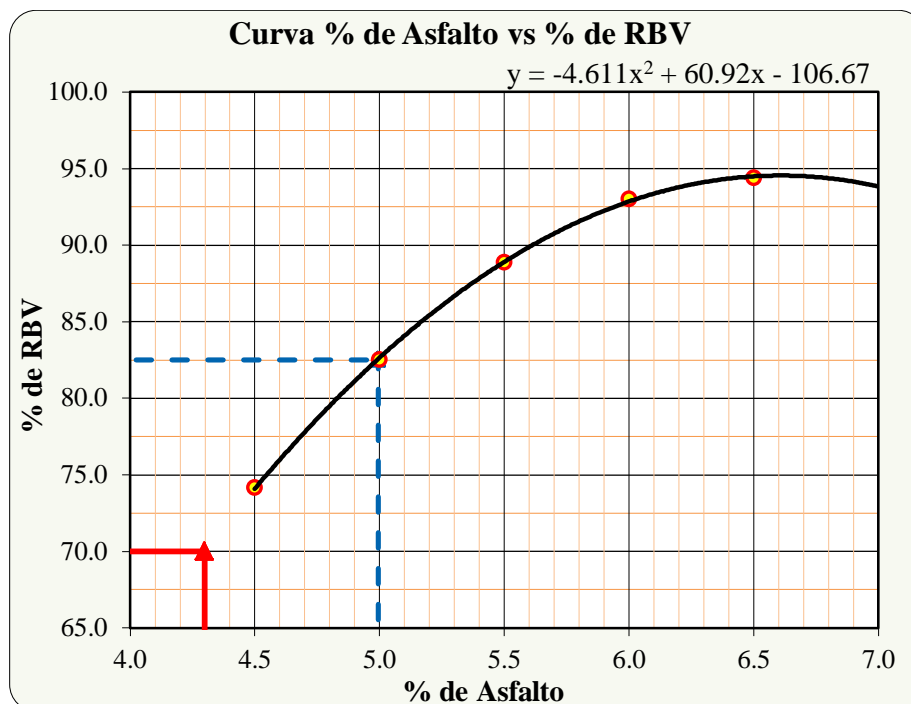
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.15. % asfalto vs % vacíos del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler (cemento Portland).



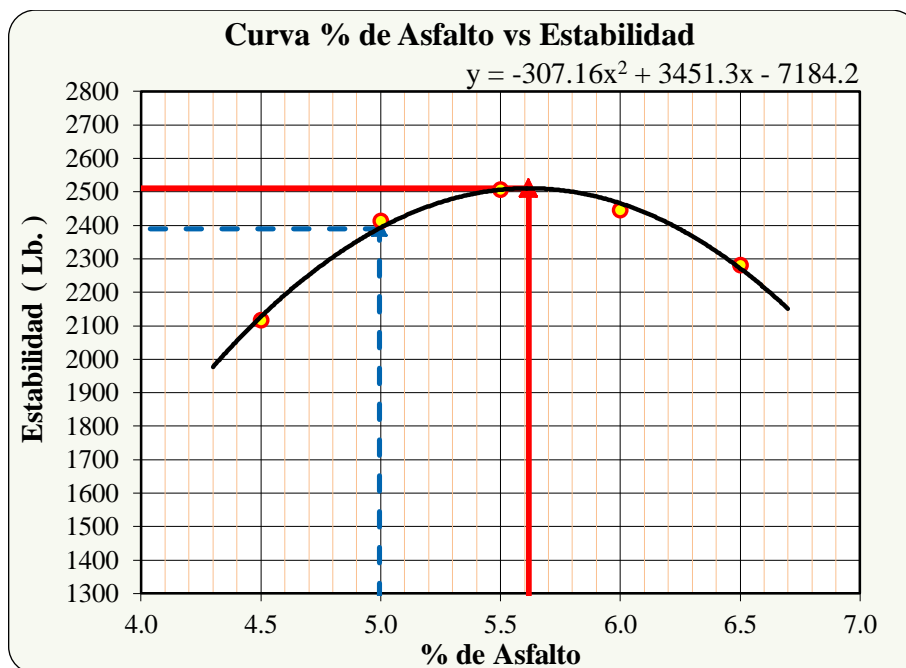
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.16. % asfalto vs % RBV del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler (cemento Portland).



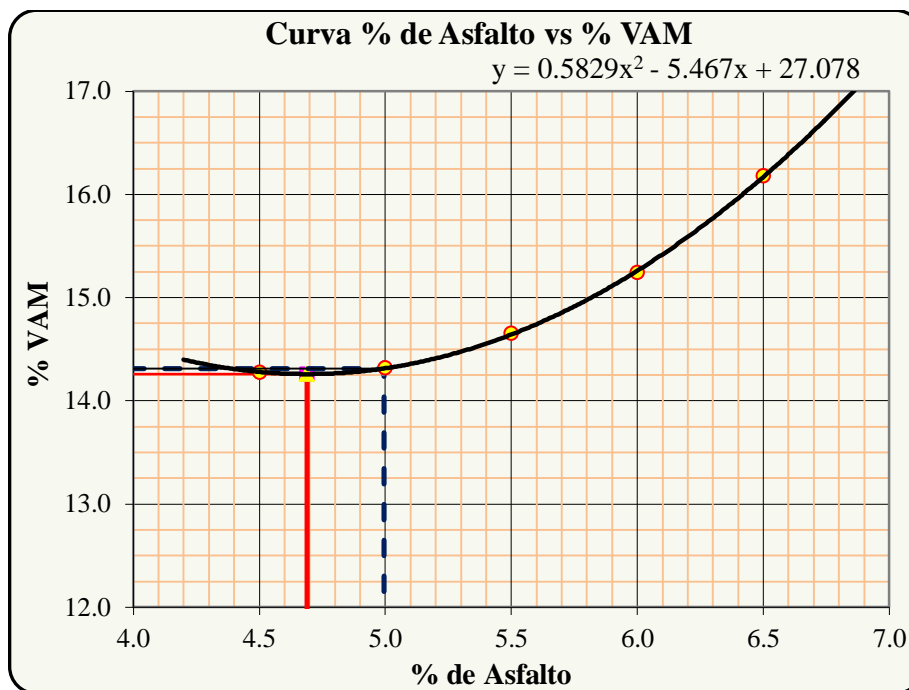
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.17. % asfalto vs estabilidad del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler (cemento Portland).



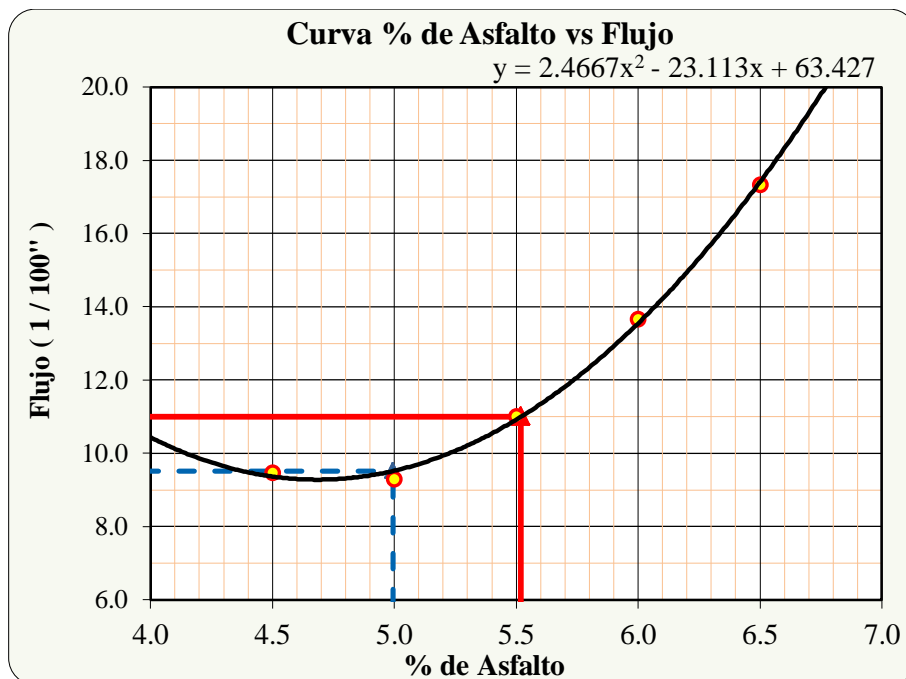
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.18. % asfalto vs % VAM del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler (cemento Portland).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.19. % asfalto vs flujo del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler (cemento Portland).



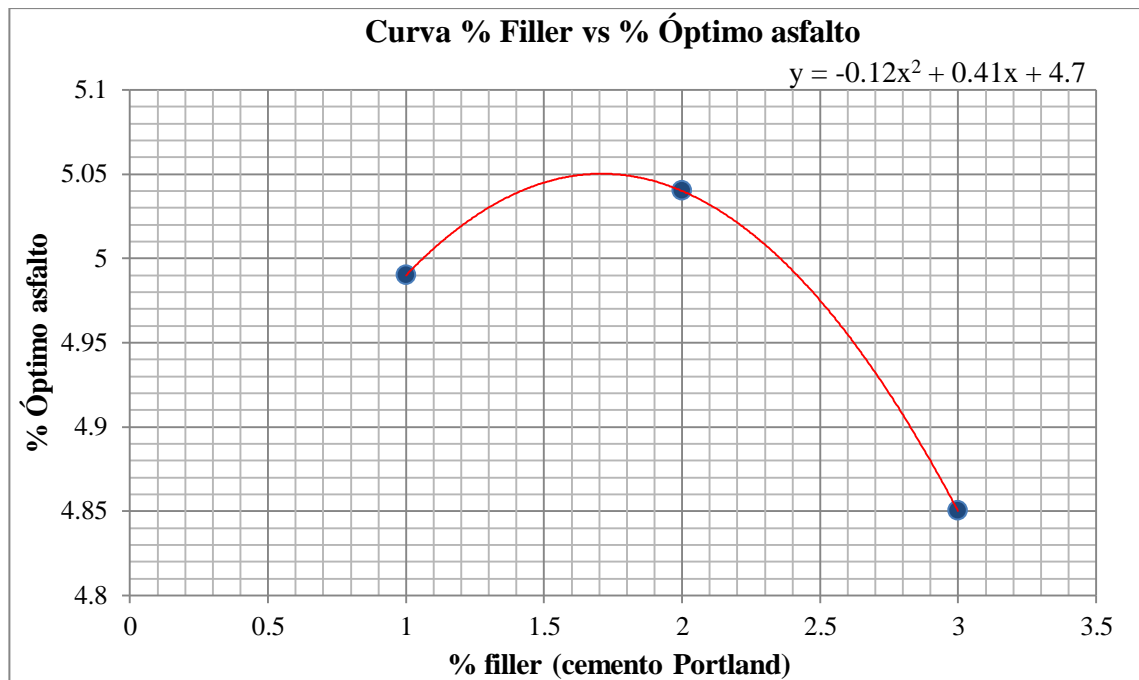
Fuente: Elaboración propia.

Se realizara estas gráficas de ensayo Marshall para cada uno de los diseños realizados.

Ver gráficas más a detalle de cada diseño en el **Anexo D.3**.

Una vez determinado el contenido óptimo de cemento asfáltico en cada diseño y teniendo como dato el porcentaje de filler empleado para cada diseño, se determinara el porcentaje óptimo de cemento asfáltico y el óptimo de filler (cemento Portland).

Figura 4.20. % Óptimo de cemento asfáltico vs % filler (cemento Portland).



Fuente: Elaboración propia.

$$y = -0.12 * (1.71)^2 + 0.41 * (1.71) + 4.7 = 5.05 \%$$

Luego de graficar y resolver la ecuación polinómica de 2° orden se determinó que para un 1.71% de filler (cemento Portland) se obtendrá un 5.05% de contenido óptimo de cemento asfáltico.

4.3. DISEÑO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA NORMAL CON FILLER NATURAL

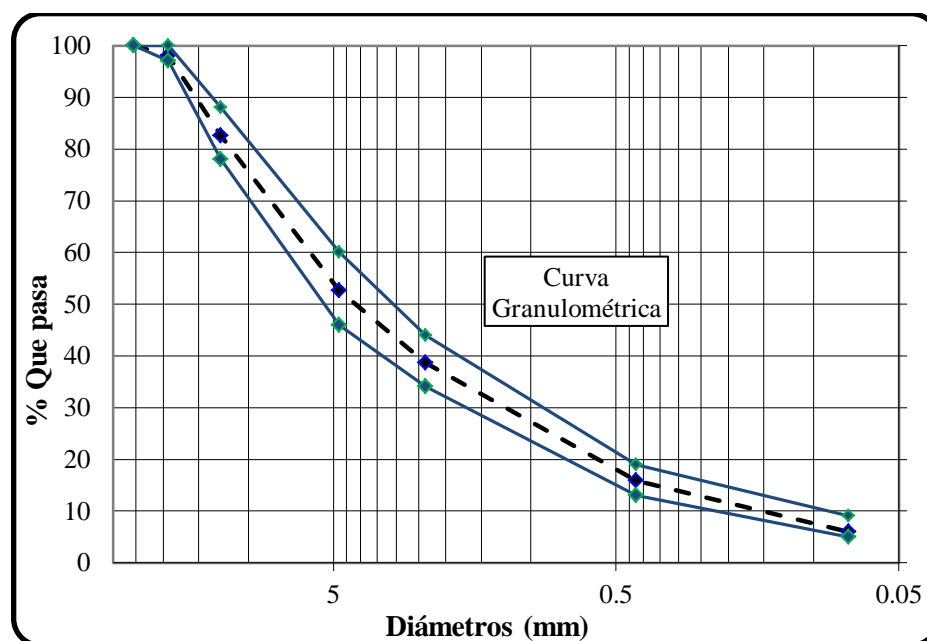
4.3.1. Mezclas para obtener el diseño óptimo de cemento asfáltico

Tabla 4.31. Dosificación de los agregados con 1% de filler natural.

Agregado		Grava - Charaja		Gravilla - Charaja		Arena triturada - Charaja		Filler natural		% Que pasa
% usado		30%		24%		45%		1%		
tamices		% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	
pulg	mm.									
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	24.00	100.00	45.00	100.00	1.00	100.00
3/4"	19.10	93.58	28.07	100.00	24.00	100.00	45.00	100.00	1.00	98.10
1/2"	12.50	41.78	12.53	100.00	24.00	100.00	45.00	100.00	1.00	82.50
3/8"	9.50	12.38	3.71	75.58	18.14	100.00	45.00	100.00	1.00	67.90
N°4	4.75	1.12	0.34	29.61	7.11	98.30	44.24	100.00	1.00	52.70
N°8	2.36	1.10	0.33	8.16	1.96	78.50	35.33	100.00	1.00	38.60
N°16	1.18	1.07	0.32	4.61	1.11	58.90	26.51	100.00	1.00	28.90
N°40	0.42	1.05	0.32	3.31	0.79	31.50	14.18	55.20	0.55	15.80
N°80	0.18	1.05	0.32	3.31	0.79	18.98	8.54	23.00	0.23	9.90
N°200	0.07	0.89	0.27	1.39	0.33	11.69	5.26	13.00	0.13	6.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.21. Curva granulométrica de los agregados con 1% de filler natural.



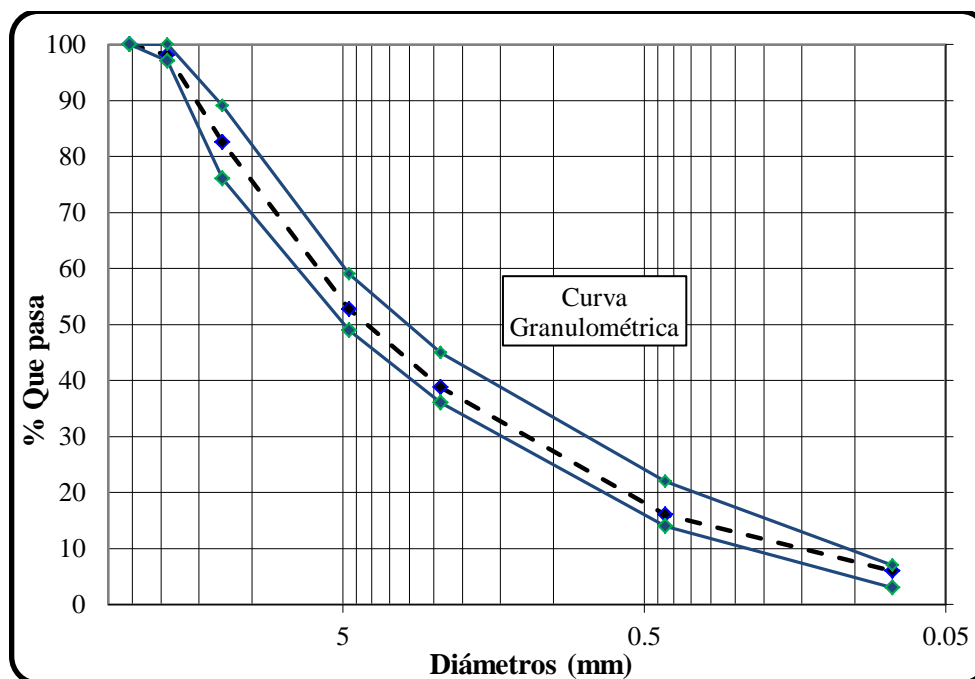
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.32. Dosificación de los agregados con 2% de filler natural.

Agregado		Grava - Charaja		Gravilla - Charaja		Arena triturada - Charaja		Filler natural		% Que pasa
% usado		30%		24%		44%		2%		
tamices		% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	
pulg	mm.									
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	24.00	100.00	44.00	100.00	2.00	100.00
3/4"	19.10	93.58	28.07	100.00	24.00	100.00	44.00	100.00	2.00	98.10
1/2"	12.50	41.78	12.53	100.00	24.00	100.00	44.00	100.00	2.00	82.50
3/8"	9.50	12.38	3.71	75.58	18.14	100.00	44.00	100.00	2.00	67.90
N°4	4.75	1.12	0.34	29.61	7.11	98.30	43.25	100.00	2.00	52.70
N°8	2.36	1.10	0.33	8.16	1.96	78.50	34.54	100.00	2.00	38.80
N°16	1.18	1.07	0.32	4.61	1.11	58.90	25.92	100.00	2.00	29.30
N°40	0.42	1.05	0.32	3.31	0.79	31.50	13.86	55.20	1.10	16.10
N°80	0.18	1.05	0.32	3.31	0.79	18.98	8.35	23.00	0.46	9.90
N°200	0.07	0.89	0.27	1.39	0.33	11.69	5.14	13.00	0.26	6.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.22. Curva granulométrica de los agregados con 2% de filler natural.



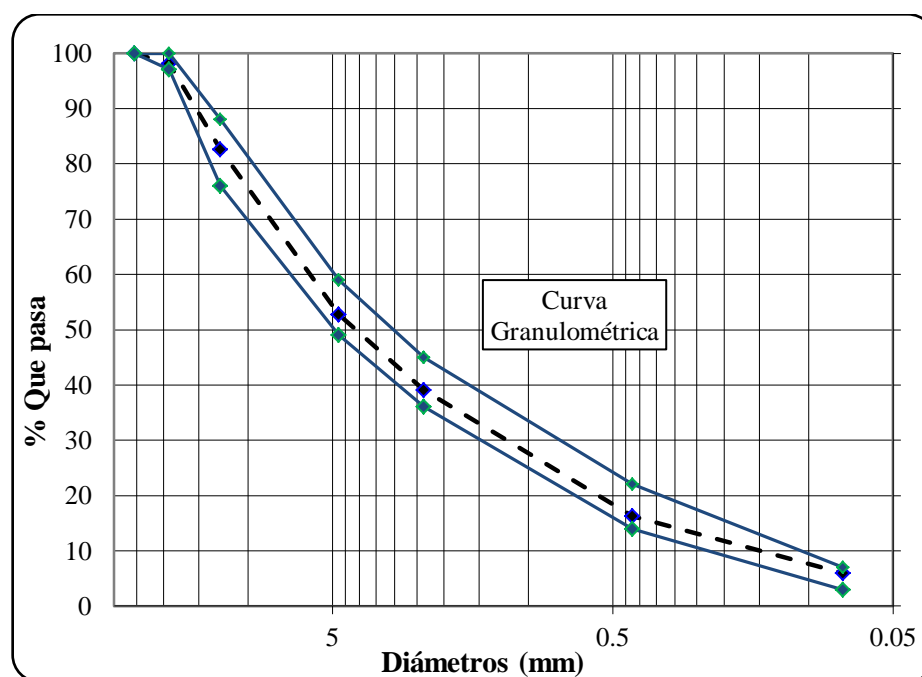
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.33. Dosificación de los agregados con 3% de filler natural.

Agregados		Grava - Charaja		Gravilla - Charaja		arena triturada - Charaja		filler natural		% Que pasa
% Usado		30%		24%		43%		3%		
Tamices		% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	% total	% enc.	
pulg	mm.									
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	24.00	100.00	43.00	100.00	3.00	100.00
3/4"	19.10	93.58	28.07	100.00	24.00	100.00	43.00	100.00	3.00	98.10
1/2"	12.50	41.78	12.53	100.00	24.00	100.00	43.00	100.00	3.00	82.50
3/8"	9.50	12.38	3.71	75.58	18.14	100.00	43.00	100.00	3.00	67.90
N°4	4.75	1.12	0.34	29.61	7.11	98.30	42.27	100.00	3.00	52.70
N°8	2.36	1.10	0.33	8.16	1.96	78.50	33.76	100.00	3.00	39.00
N°16	1.18	1.07	0.32	4.61	1.11	58.90	25.33	100.00	3.00	29.80
N°40	0.42	1.05	0.32	3.31	0.79	31.50	13.55	55.20	1.66	16.30
N°80	0.18	1.05	0.32	3.31	0.79	18.98	8.16	23.00	0.69	10.00
N°200	0.07	0.89	0.27	1.39	0.33	11.69	5.03	13.00	0.39	6.00

Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.23. Curva granulométrica de los agregados con 3% de filler natural.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Dosificación de los especímenes (normales)

Los porcentajes de cemento asfáltico para los que se preparara la mezcla son de: 4.5%, 5%, 5.5%, 6% y 6.5%.

Tabla 4.34. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.
1"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	98.10	1.90	1.90	22.10	22.10	22.00	22.00	21.80	21.80	21.70	21.70	21.60	21.60
1/2"	82.50	17.50	15.50	178.10	200.20	177.20	199.10	176.20	198.10	175.30	197.00	174.40	196.00
3/8"	67.90	32.10	14.70	168.20	368.40	167.40	366.50	166.50	364.50	165.60	362.60	164.70	360.70
Nº4	52.70	47.30	15.20	173.70	542.10	172.80	539.30	171.90	536.40	171.00	533.60	170.10	530.80
Nº8	38.80	61.20	13.90	158.90	701.00	158.10	697.40	157.20	693.70	156.40	690.00	155.60	686.30
Nº16	29.30	70.70	9.50	108.70	809.70	108.10	805.50	107.60	801.20	107.00	797.00	106.40	792.80
Nº40	16.10	83.90	13.30	152.10	961.80	151.30	956.80	150.50	951.70	149.70	946.70	148.90	941.70
Nº80	9.90	90.10	6.20	70.50	1032.30	70.10	1026.90	69.80	1021.50	69.40	1016.10	69.00	1010.70
Nº200	6.00	94.00	3.90	44.90	1077.20	44.60	1071.60	44.40	1065.90	44.20	1060.3	43.90	1054.60
Filler	0.00	100.00	6.00	68.80	1146.00	68.40	1140.00	68.10	1134.00	67.70	1128.0	67.40	1122.00
Peso total (gr)						1146.00		1140.00		1134.00		1128.00	
Peso muestra (gr)				1146.00		1140.00		1134.00		1128.00		1122.00	
Peso asfalto (gr)				54.00		60.00		66.00		72.00		78.00	
Peso total material + cemento asfáltico (gr)				1200.00		1200.00		1200.00		1200.00		1200.00	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.35. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de filler natural.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.
1"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	98.10	1.90	1.90	22.10	22.10	22.00	22.00	21.80	21.80	21.70	21.70	21.60	21.60
1/2"	82.50	17.50	15.50	178.10	200.20	177.20	199.10	176.20	198.10	175.30	197.00	174.40	196.00
3/8"	67.90	32.10	14.70	168.20	368.40	167.40	366.50	166.50	364.50	165.60	362.60	164.70	360.70
N°4	52.70	47.30	15.20	173.70	542.10	172.80	539.30	171.90	536.40	171.00	533.60	170.10	530.80
N°8	38.80	61.20	13.90	158.90	701.00	158.10	697.40	157.20	693.70	156.40	690.00	155.60	686.30
N°16	29.30	70.70	9.50	108.70	809.70	108.10	805.50	107.60	801.20	107.00	797.00	106.40	792.80
N°40	16.10	83.90	13.30	152.10	961.80	151.30	956.80	150.50	951.70	149.70	946.70	148.90	941.70
N°80	9.90	90.10	6.20	70.50	1032.30	70.10	1026.90	69.80	1021.50	69.40	1016.10	69.00	1010.70
N°200	6.00	94.00	3.90	44.90	1077.20	44.60	1071.60	44.40	1065.90	44.20	1060.30	43.90	1054.60
Filler	0.00	100.00	6.00	68.80	1146.00	68.40	1140.00	68.10	1134.00	67.70	1128.00	67.40	1122.00
Peso total (gr)				1146.00		1140.00		1134.00		1128.00		1122.00	

Peso muestra (gr)	1146.00	1140.00	1134.00	1128.00	1122.00
Peso asfalto (gr)	54.00	60.00	66.00	72.00	78.00
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.36. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de filler natural.

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.	Peso parcial	Peso acum.
1"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	98.10	1.90	1.90	22.10	22.10	22.00	22.00	21.80	21.80	21.70	21.70	21.60	21.60
1/2"	82.50	17.50	15.50	178.10	200.20	177.20	199.10	176.20	198.10	175.30	197.00	174.40	196.00
3/8"	67.90	32.10	14.70	168.20	368.40	167.40	366.50	166.50	364.50	165.60	362.60	164.70	360.70
N°4	52.70	47.30	15.10	173.50	541.90	172.60	539.10	171.70	536.30	170.80	533.40	169.90	530.60
N°8	39.00	61.00	13.70	156.60	698.60	155.80	694.90	155.00	691.20	154.20	687.60	153.40	683.90
N°16	29.80	70.20	9.30	106.50	805.00	105.90	800.80	105.30	796.60	104.80	792.40	104.20	788.20
N°40	16.30	83.70	13.40	154.10	959.10	153.30	954.10	152.50	949.00	151.60	944.00	150.80	939.00
N°80	10.00	90.00	6.30	72.80	1031.80	72.40	1026.40	72.00	1021.00	71.60	1015.60	71.20	1010.20
N°200	6.00	94.00	3.90	45.20	1077.00	45.00	1071.40	44.70	1065.80	44.50	1060.10	44.20	1054.50
Filler	0.00	100.00	6.00	69.00	1146.00	68.60	1140.00	68.20	1134.00	67.90	1128.00	67.50	1122.00
Peso total (gr)				1146.00		1140.00		1134.00		1128.00		1122.00	

Peso muestra (gr)	1146.00	1140.00	1134.00	1128.00	1122.00
Peso asfalto (gr)	54.00	60.00	66.00	72.00	78.00
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00	1200.00

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas mostradas anteriormente nos muestran las cantidades de agregados y cemento asfáltico con las que se realizará el diseño y así poder obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico para cada uno de los diseños.

4.3.3. Resultados de las muestras normales con filler natural

Una vez que se hayan extraído las briquetas de los moldes de compactación se procederá a realizar los ensayos de gravedad específica, estabilidad y fluencia.

A continuación se muestra los resultados obtenidos del diseño de la mezcla asfáltica normal con 1%, 2% y 3% de filler natural.

Tabla 4.37. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler natural.

% de asfalto	Densidad promedio (kg/cm ³)	Densidad máxima teórica (kg/cm ³)	Vv (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad (Lb)	Flujo (1/100)
4.50	2.32	2.48	6.36	16.65	61.81	1944.54	8.67
5.00	2.35	2.46	4.58	16.15	71.65	2455.16	8.83
5.50	2.36	2.45	3.30	16.10	79.51	2610.48	10.13
6.00	2.36	2.43	2.61	16.57	84.25	2489.76	12.63
6.50	2.35	2.41	2.40	17.44	86.26	2047.99	15.57

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.38. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% filler natural.

% de asfalto	Densidad promedio (kg/cm ³)	Densidad máxima teórica (kg/cm ³)	Vv (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad (Lb)	Flujo (1/100)
4.50	2.31	2.48	7.03	17.25	59.25	2504.61	7.17
5.00	2.32	2.46	5.81	17.23	66.28	2626.24	8.40
5.50	2.33	2.45	4.58	17.21	73.39	2696.04	10.50
6.00	2.33	2.43	3.81	17.59	78.36	2612.46	12.47
6.50	2.33	2.41	3.45	18.33	81.19	2462.63	15.03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.39. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% filler natural.

% de asfalto	Densidad promedio (kg/cm ³)	Densidad máxima teórica (kg/cm ³)	V _v (%)	VAM (%)	RBV (%)	Estabilidad (Lb)	Flujo (1/100)
4.50	2.32	2.48	6.55	16.82	61.07	2375.13	9.50
5.00	2.34	2.46	4.88	16.41	70.25	2606.72	9.90
5.50	2.35	2.45	3.79	16.52	77.07	2645.20	11.50
6.00	2.35	2.43	3.13	17.02	81.59	2469.66	14.67
6.50	2.34	2.41	2.84	17.82	84.05	1976.64	18.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.40. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 1% de filler natural.

Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.76	2.37	-----	-----
% Vacíos	5.20	4.00	3.00	5.00
R.B.V.	4.90	70.00	65.00	75.00
V.A.M	5.29	16.06		
Estabilidad (lb)	5.54	2622.11	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.70	11.00	8.00	14.00
Promedio (%)	5.22	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.41. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 2% de filler natural.

Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.82	2.33	-----	-----
% vacíos	5.89	4.00	3.00	5.00
R.B.V.	5.23	70.00	65.00	75.00
V.A.M	5.04	17.13		
Estabilidad (lb)	5.45	2680.49	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.66	11.00	8.00	14.00
Promedio (%)	5.52	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.42. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 3% de filler natural.

Características	% de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.73	2.35	-----	-----
% Vacíos	5.39	4.00	3.00	5.00
R.B.V.	4.99	70.00	65.00	75.00
V.A.M	5.14	16.40		
Estabilidad (lb)	5.30	2671.00	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.34	11.00	8.00	14.00
Promedio (%)	5.31	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las graficas		

Fuente: Elaboración propia.

Una vez que se determina el contenido óptimo de cemento asfáltico y con la ayuda de las mismas gráficas, podemos encontrar los valores de las características de la mezcla asfáltica normal de cada diseño.

Tabla 4.43. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 1% de filler natural.

Valores obtenidos del diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.40	2.36	-----	-----
% Vacíos	5.40	3.52	3.00	5.00
R.B.V.	5.40	78.09	65.00	75.00
V.A.M	5.40	16.08		
Estabilidad (lb)	5.40	2610.12	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.40	9.87	8.00	14.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.40	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.44. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 2% de filler natural.

Valores obtenidos del diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.52	2.33	-----	-----
% Vacíos	5.52	4.58	3.00	5.00
R.B.V.	5.52	73.42	65.00	75.00
V.A.M	5.52	17.26		
Estabilidad (lb)	5.52	2679.54	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.52	10.43	8.00	14.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.52	

Fuente: Elaboración propia.

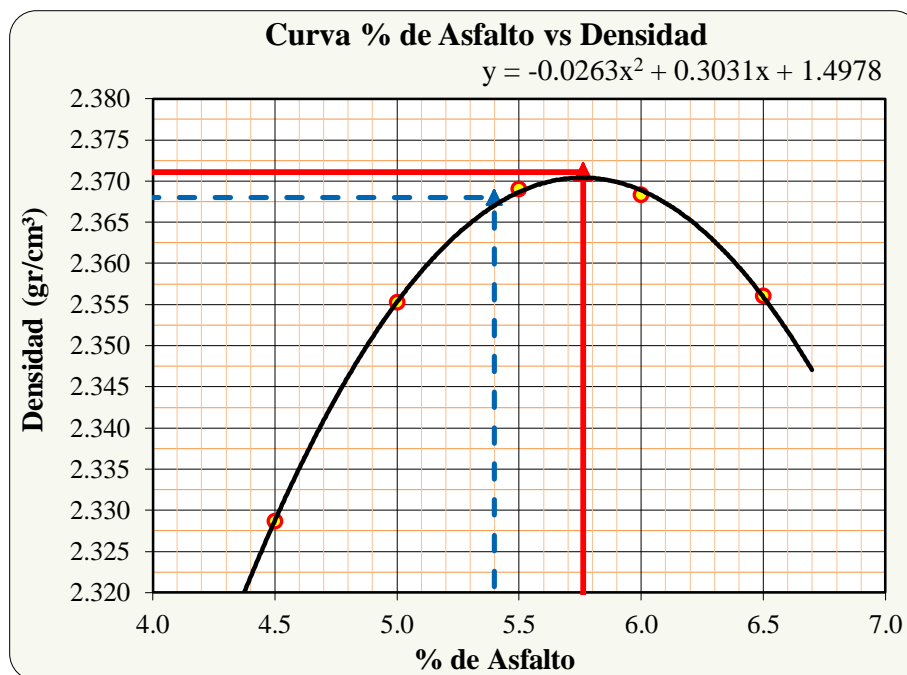
Tabla 4.45. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 3% de filler natural.

Valores obtenidos del diseño Marshall				
Características	% de asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.31	2.35	-----	-----
% vacíos	5.31	4.16	3.00	5.00
R.B.V.	5.31	74.71	65.00	75.00
V.A.M	5.31	16.42		
Estabilidad (lb)	5.31	2670.99	> 1800 lb.	
Fluencia 1/100"	5.31	10.90	8.00	14.00
% Óptimo de asfalto propuesto			5.31	

Fuente: Elaboración propia.

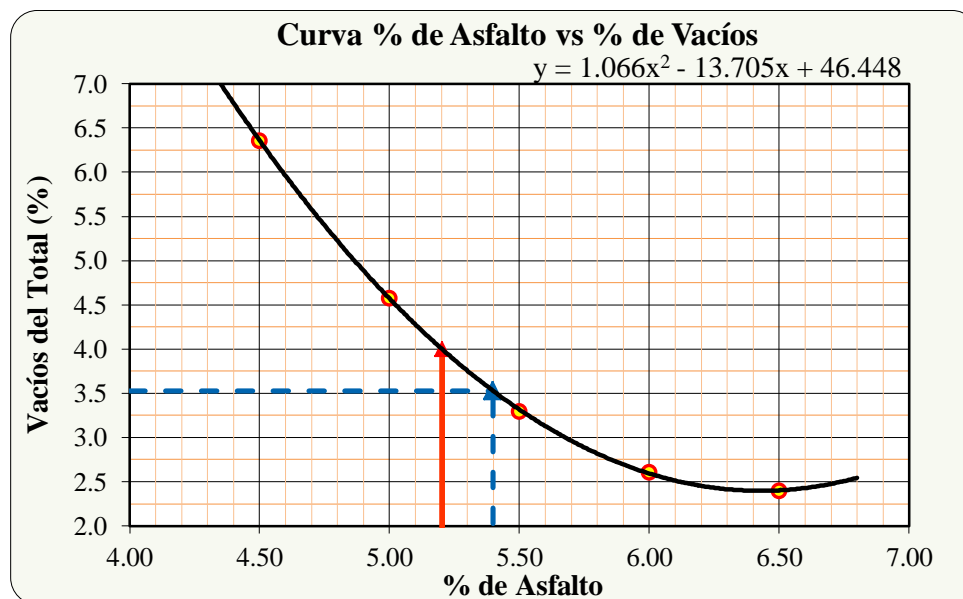
4.3.4. Gráficos de ensayos Marshall vs cemento asfáltico para un diseño normal con 1% de filler natural

Figura 4.24. % asfalto vs densidad del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler natural.



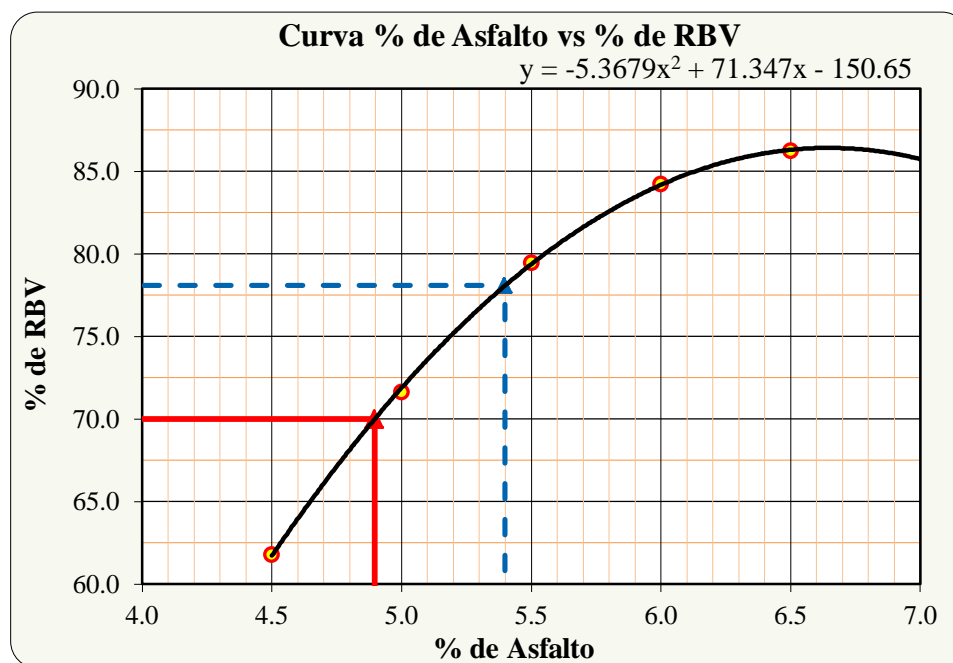
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.25. % asfalto vs % vacíos del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler natural.



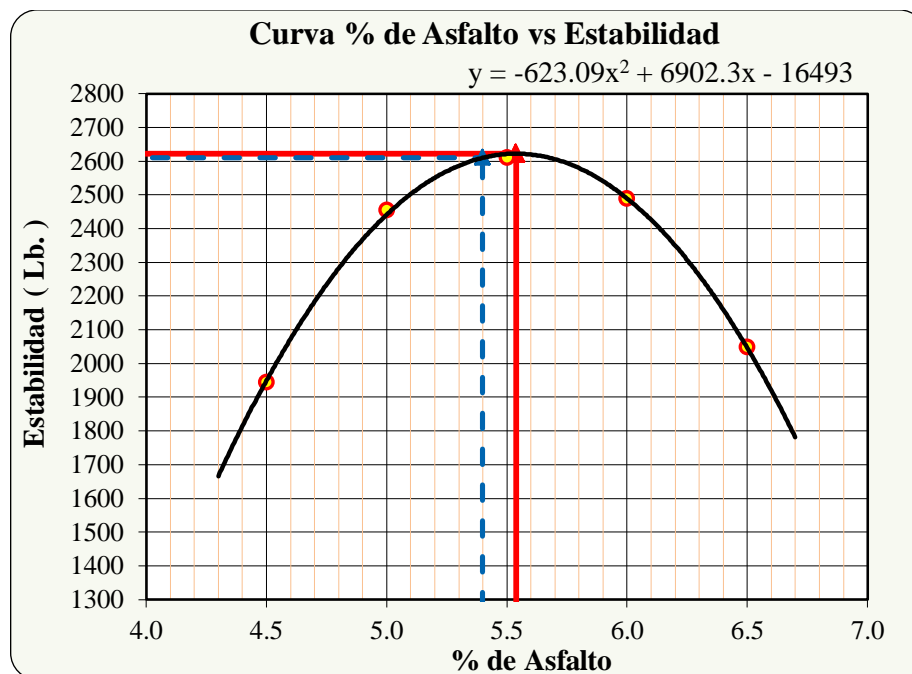
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.26. % asfalto vs % RBV del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler natural.



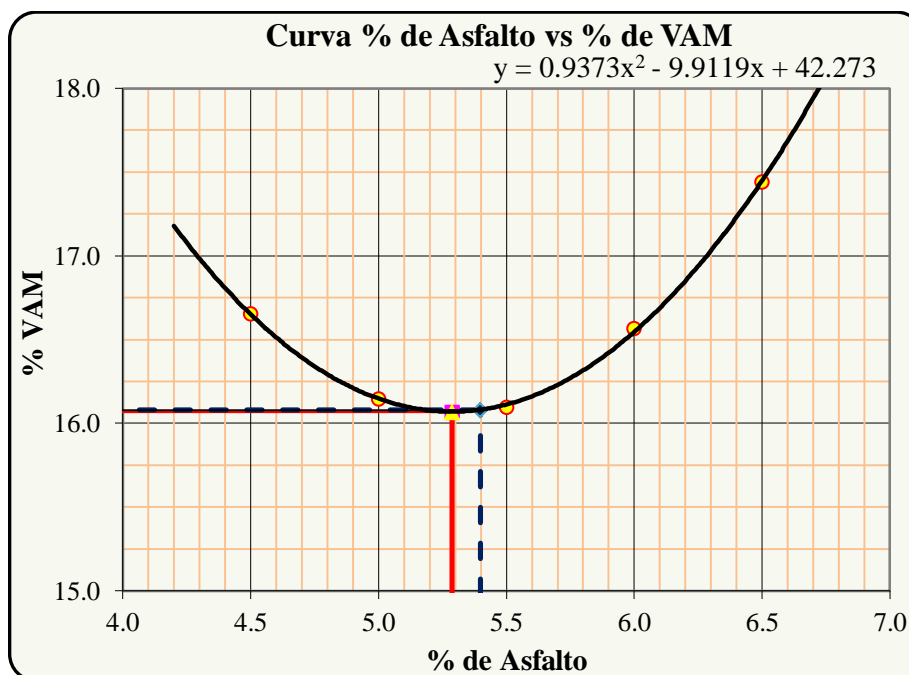
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.27. % asfalto vs estabilidad del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler natural.



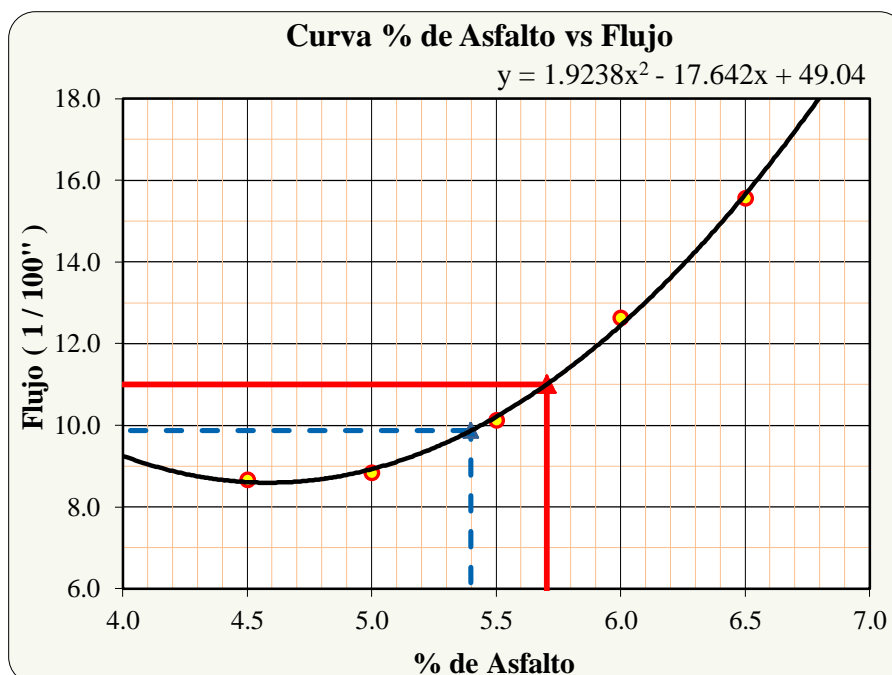
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.28. % asfalto vs % VAM del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler natural.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.29. % asfalto vs flujo del diseño de la mezcla asfáltica con 1% filler natural.



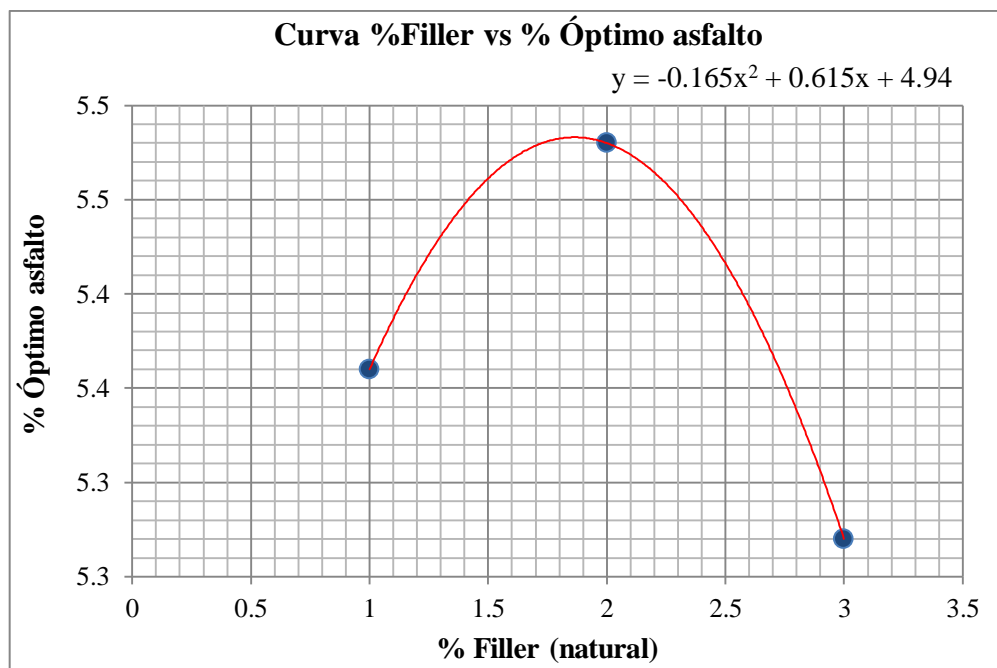
Fuente: Elaboración propia.

Se realizara estas gráficas de ensayo Marshall para cada uno de los diseños realizados.

Ver gráficas más a detalle de cada diseño en el **Anexo D.3**.

Una vez determinado el contenido óptimo de cemento asfáltico en cada diseño y teniendo como dato el porcentaje de fibra para cada diseño, se determinara el porcentaje óptimo de fibras de coco a utilizar para posteriormente trabajar en los nuevos diseños Marshall donde se aplicara el uso del cemento Portland y el óptimo de fibras de coco.

Figura 4.30. % Óptimo de asfalto vs % filler natural.



Fuente: Elaboración propia.

$$y = -0.165 * (1.86)^2 + 0.615 * (1.86) + 4.94 = 5.51 \%$$

Luego de graficar y resolver la ecuación polinómica de 2º orden se determinó que para un 1.86% de filler natural se obtendrá un 5.51% de contenido óptimo de cemento asfáltico.

4.4. CONTENIDO ÓPTIMO DE LOS DISEÑOS NORMALES PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 4.46. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica normal con 1.86% de filler natural.

Mezcla normal con filler natural						
% Optimo de Asfalto	Densidad (gr/cm ³)	Estabilidad (Lb.)	Flujo (1/100 plg)	% Vacíos (%)	% VAM (%)	% RBV (%)
5.51	2.34	2815.50	9.50	4.37	17.05	74.36
5.51	2.33	2615.00	9.00	4.78	17.40	72.53
5.51	2.33	2748.90	8.00	4.75	17.38	72.66
5.51	2.35	2436.10	10.00	4.06	16.78	75.82
5.51	2.32	2544.00	11.00	5.18	17.75	70.80
5.51	2.33	2501.50	10.70	4.68	17.32	72.96
5.51	2.35	2436.20	8.50	4.05	16.77	75.83
5.51	2.33	2557.90	11.50	4.67	17.31	73.01
5.51	2.34	2569.20	10.90	4.18	16.88	75.23
5.51	2.33	2540.60	12.30	4.69	17.32	72.95
5.51	2.33	2597.70	11.70	4.58	17.23	73.41
5.51	2.33	2641.90	11.00	4.88	17.49	72.09
5.51	2.33	2652.60	11.00	4.62	17.27	73.23
5.51	2.33	2704.10	10.40	4.67	17.31	73.01
5.51	2.33	2673.20	10.30	4.83	17.45	72.31
5.51	2.33	2677.60	10.00	4.72	17.35	72.79
5.51	2.32	2520.70	9.20	5.02	17.61	71.48
5.51	2.32	2710.50	9.80	5.00	17.60	71.57
5.51	2.33	2491.60	12.00	4.51	17.17	73.71
5.51	2.32	2375.30	10.00	5.19	17.76	70.78
5.51	2.33	2616.90	9.50	4.79	17.41	72.51
5.51	2.34	2438.40	9.20	4.30	16.98	74.71
5.51	2.33	2631.70	10.40	4.70	17.33	72.88
5.51	2.33	2590.30	9.10	4.77	17.39	72.60
5.51	2.32	2614.60	9.70	4.97	17.57	71.70
5.51	2.32	2546.40	10.70	4.94	17.54	71.83
5.51	2.32	2411.70	11.00	4.96	17.56	71.77
5.51	2.33	2466.00	12.00	4.73	17.36	72.76
5.51	2.33	2513.80	9.50	4.77	17.39	72.60
5.51	2.33	2559.20	10.00	4.85	17.47	72.22

Fuente: Elaboración propia.

4.5. CONTENIDOS ÓPTIMOS DE LOS DISEÑOS MODIFICADOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Tabla 4.47. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 1.71% de filler (cemento Portland).

Mezcla modificada con filler (cemento Portland) y fibras de coco						
% Optimo de Asfalto	Densidad (gr/cm ³)	Estabilidad (Lb.)	Flujo (1/100 plg)	% Vacíos (%)	% VAM (%)	% RBV (%)
5.05	2.42	2603.20	11.10	1.76	13.78	87.23
5.05	2.42	2641.90	10.30	1.69	13.72	87.66
5.05	2.42	2611.00	11.00	1.80	13.81	86.96
5.05	2.40	2615.00	10.00	2.44	14.37	83.03
5.05	2.40	2666.20	11.00	2.49	14.42	82.76
5.05	2.42	2668.30	10.70	1.78	13.80	87.10
5.05	2.41	2689.80	11.70	2.07	14.05	85.24
5.05	2.40	2681.90	10.50	2.44	14.38	83.00
5.05	2.41	2615.00	10.90	2.01	14.00	85.66
5.05	2.41	2665.40	10.30	2.03	14.01	85.55
5.05	2.41	2619.80	11.70	2.04	14.02	85.48
5.05	2.43	2631.00	10.60	1.41	13.47	89.54
5.05	2.41	2635.20	11.90	2.05	14.04	85.36
5.05	2.41	2664.60	10.40	2.10	14.08	85.08
5.05	2.42	2608.40	11.30	1.76	13.78	87.22
5.05	2.42	2719.60	10.20	1.72	13.74	87.51
5.05	2.42	2681.90	9.32	1.54	13.59	88.65
5.05	2.41	2611.00	9.80	2.18	14.15	84.57
5.05	2.40	2593.40	10.50	2.53	14.45	82.52
5.05	2.40	2570.90	10.00	2.48	14.41	82.82
5.05	2.42	2608.40	9.50	1.79	13.81	87.01
5.05	2.42	2643.70	9.38	1.51	13.56	88.84
5.05	2.40	2633.00	10.40	2.37	14.32	83.43
5.05	2.42	2644.70	9.73	1.55	13.60	88.58
5.05	2.40	2606.70	9.70	2.33	14.28	83.66
5.05	2.41	2619.80	10.10	2.16	14.13	84.70
5.05	2.42	2598.10	10.70	1.67	13.70	87.83
5.05	2.41	2631.00	9.57	2.21	14.18	84.38
5.05	2.42	2621.70	9.50	1.78	13.80	87.09
5.05	2.41	2619.80	10.30	2.02	14.01	85.58

Fuente: Elaboración propia.

4.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.6.1. Estadística descriptiva

Tabla 4.48. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica normal con 1.86% de filler natural.

Variable	Media	Desv. Est.	Varianza	Mediana	Modo
Densidad (gr/cm ³)	2.33	0.01	0.0001	2.33	2.33, 2.34
Estabilidad (lb.)	2573.30	105.20	11062.50	2564.20	*
Flujo (1/100 plg.)	10.26	1.06	1.13	10.15	10, 11
% Vacíos (%)	4.70	0.287	0.08	4.74	4.67, 4.77
% VAM (%)	17.34	0.25	0.06	17.37	17.31, 17.32, 17.39
% RBV (%)	72.87	1.28	1.64	72.71	72.60, 73.01

Fuente: Valores obtenido del programa MiniTAB 18.

Tabla 4.49. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 1.71% de filler (cemento Portland).

Variable	Media	Desv. Est.	Varianza	Mediana	Modo
Densidad (gr/cm ³)	2.41	0.01	0.0001	2.41	2.42
Estabilidad (lb.)	2634.00	33.20	1100.60	2626.30	2619.80
Flujo (1/100 plg.)	10.40	0.70	0.49	10.35	10.30
% Vacíos (%)	1.99	0.32	0.10	2.025	1.76, 1.78, 2.44
% VAM (%)	13.98	0.28	0.081	14.01	13.78, 13.8, 13.81, 14.01
% RBV (%)	85.80	2.03	4.15	85.56	*

Fuente: Valores obtenido del programa MiniTAB 18.

4.6.2. Estadística inferencial

La prueba-t de una muestra determina si el promedio o la media de una muestra difieren significativamente de un valor especificado.

Prueba:

μ = media de la muestra.

Hipótesis nula = H_0

Hipótesis alterna = H_1

$\left\{ \begin{array}{l} \mu = \text{Valor especificado} \\ \mu > \text{Valor especificado} \\ \mu \neq \text{Valor especificado} \\ \mu < \text{Valor especificado} \end{array} \right.$

4.6.2.1. Variable estabilidad

4.6.2.1.1. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas modificadas con 1.71% de filler y 0.066% de fibra de coco

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
Cemento Portland 1.71%	30.00	2634.01	33.17	6.06	2623.72

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2573.30$	Muestra	Valor t	Valor p
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2573.30$	Cemento Portland 1.71 %	10.02	0.00

Debido a que el valor P para esta prueba es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 1.71% de cemento portland y un nivel de confianza del 95%.

4.6.2.2. Variable fluencia

4.6.2.2.1. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas modificadas con 1.71% de filler y 0.066% de fibra de coco

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ
Cemento Portland 1.71%	30.00	10.40	0.70	0.12	10.18

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 10.26$	Muestra	Valor t	Valor p
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 10.26$	Cemento Portland 1.71 %	1.09	0.14

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor a 0.05, se aceptara la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 1.71% de cemento portland y un nivel de confianza del 95%.

4.6.2.3. Variable densidad

4.6.2.3.1. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas modificadas con 1.71% de filler y 0.066% de fibra de coco

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
Cemento Portland 1.71%	30.00	2.41	0.01	0.001	2.41

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2.33$	Muestra	Valor t	Valor p
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2.33$	Cemento Portland 1.71 %	57.03	0.00

Debido a que el valor P para esta prueba es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 1.71% de cemento portland y un nivel de confianza del 95%.

4.6.2.4. Variable porcentaje de vacíos

4.6.2.4.1. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas modificadas con 1.71% de filler y 0.066% de fibra de coco

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ
Cemento Portland 1.71%	30.00	1.99	0.32	0.05	2.09

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 4.70$	Muestra	Valor t	Valor p
Hipótesis alterna	$H_1: \mu < 4.70$	Cemento Portland 1.71 %	- 45.61	0.00

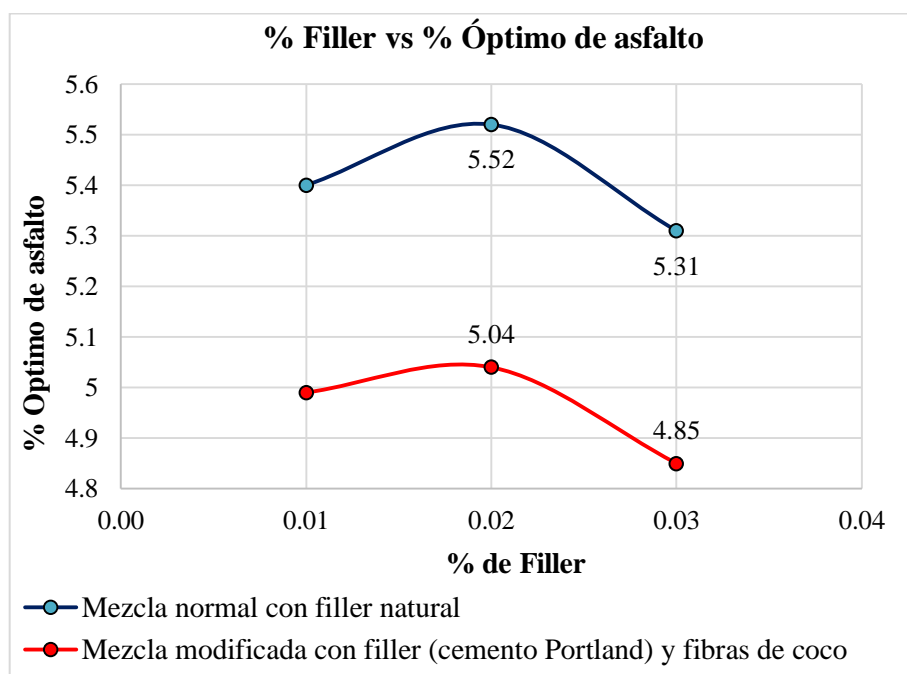
Debido a que el valor P para esta prueba es menor a 0.05, se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 1.71% de cemento portland y un nivel de confianza del 95%.

4.7. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.7.1. Comparación del contenido óptimo del cemento asfáltico

En cuanto a los contenidos óptimos de cemento asfáltico encontrados en los diseños de mezclas asfálticas de la figura 4.31, se observó que en la mezcla con adición de cemento Portland y fibras de coco, dichas proporciones son un poco más bajas con respecto de la mezcla asfáltica convencional, esto permitiría economizar en costos de producción de la mezcla al utilizar menos cemento asfáltico.

Figura 4.31. Comparación del contenido óptimo cemento asfáltico.

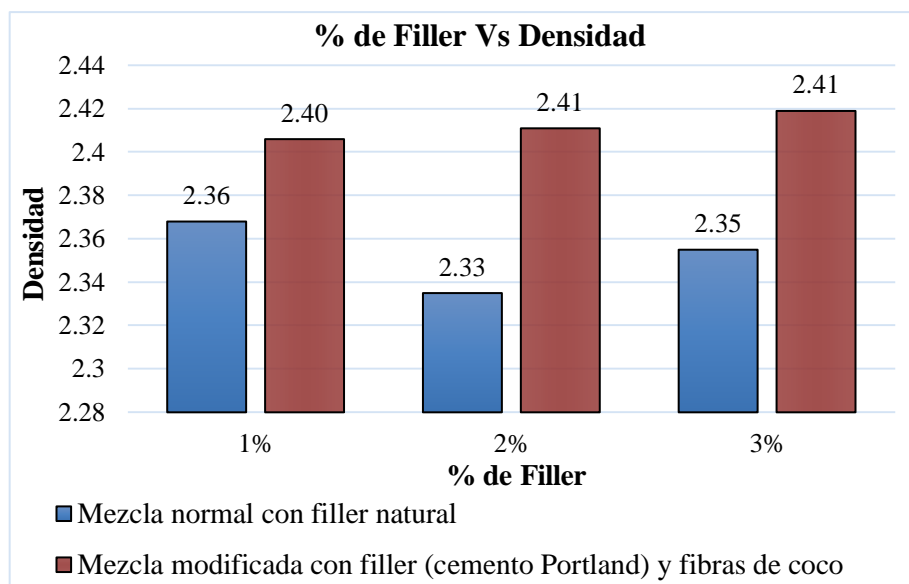


Fuente: Elaboración propia.

4.7.2. Comparación de la densidad

En la figura 4.32 se puede apreciar que la densidad de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland y fibra de coco es mayor debido a que el cemento Portland y la fibra de coco en interacción con la mezcla hacen que esta adquiera mayor peso en comparación a una mezcla normal, dando como resultado densidades mayores.

Figura 4.32. Comparación de la densidad de las mezclas asfálticas.

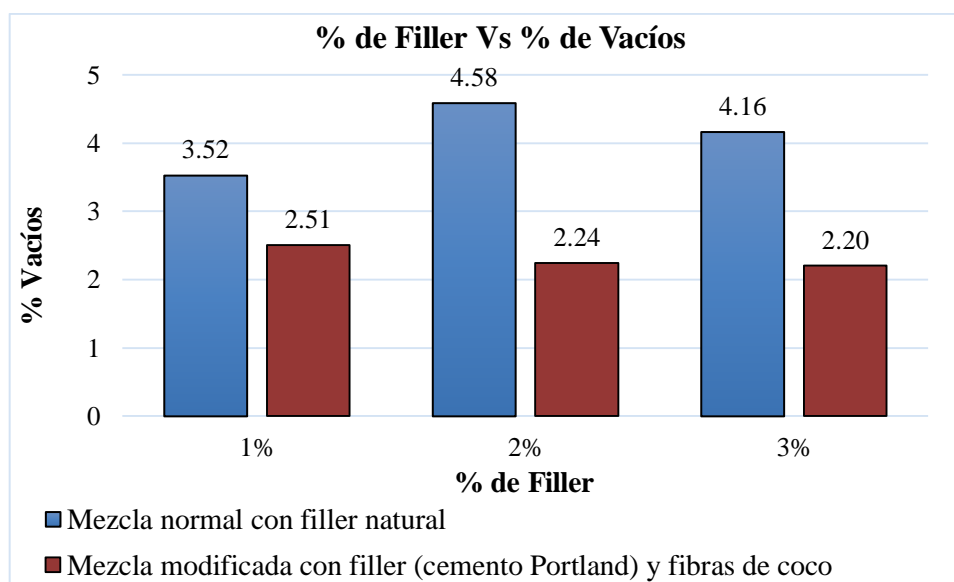


Fuente: Elaboración propia.

4.7.3. Comparación del % de vacíos totales en la mezcla

En la figura 4.33. Se puede observar que, a medida que se incrementa el porcentaje de filler en la mezcla asfáltica modificada, los porcentajes de vacíos en las mezclas asfálticas son menores, esto es debido a que el cemento Portland actúa como relleno de vacíos y hace que las partículas finas llenen los espacios vacíos dentro de la mezcla asfáltica, por lo cual no sucede el mismo proceso con una mezcla normal

Figura 4.33. Comparación del % de vacíos de las mezclas asfálticas.



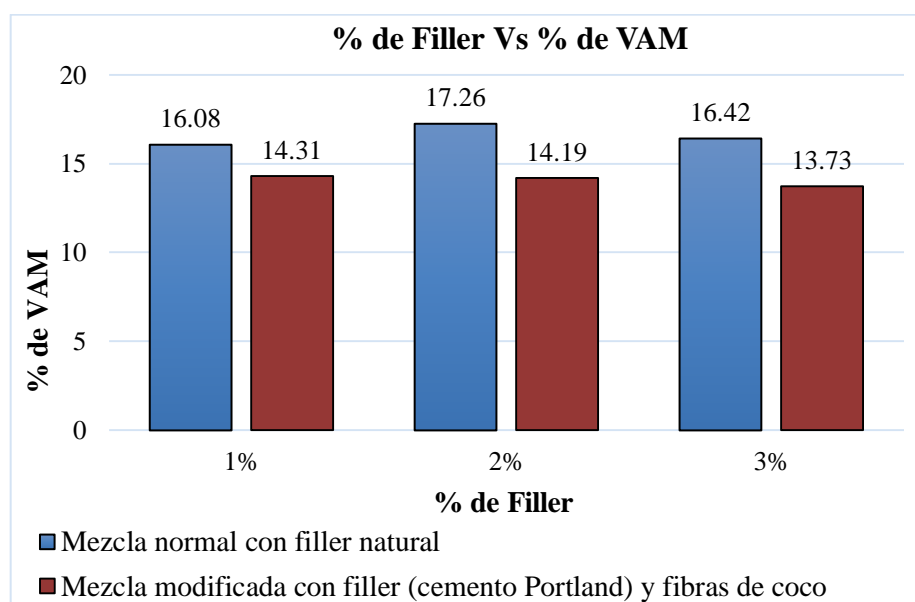
Fuente: Elaboración propia.

4.7.4. Comparación del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% VAM)

Primeramente se visualizó mediante grafica que tanta las mezclas asfálticas normales y modificadas sus resultados son mayores al 13% valor obtenido según la tabla 2.12.

Posteriormente se pudo observar que en la mezcla asfáltica modificada a medida que se incrementó el porcentaje de filler (cemento) y una vez compactado, se reduzcan los vacíos dentro de la mezcla por lo tanto sus resultados del porcentaje de VAM son más inferiores en comparación con una mezcla asfáltica normal, el cual tiene porcentajes de VAM más altos.

Figura 4.34. Comparación del % de VAM de las mezclas asfálticas.

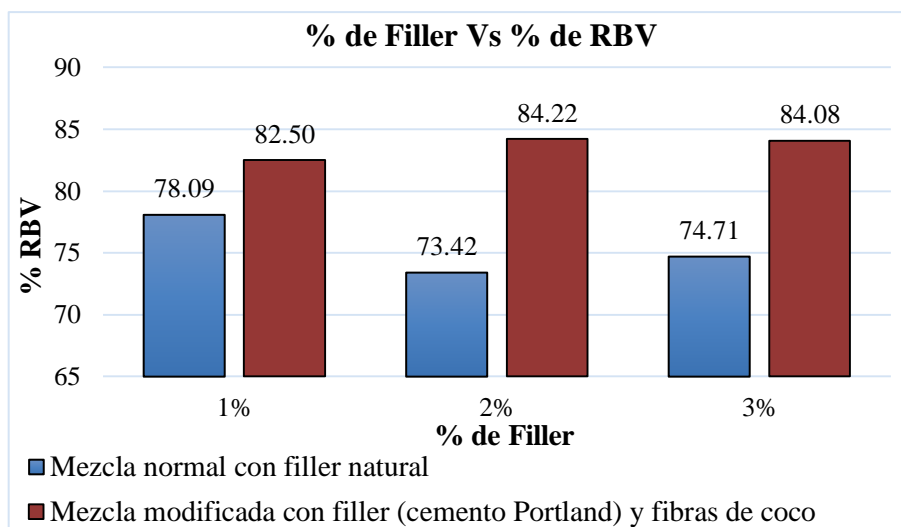


Fuente: Elaboración propia.

4.7.5. Comparación del % RBV

En la figura 4.35. Se puede observar que el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV) en las mezclas asfálticas modificadas va en incremento debido a que el porcentaje de vacíos ha disminuido por el filler que trabajo como un rellenedor de vacíos en la mezcla, esto provoca que las resultados del %RBV estén por encima de las especificaciones de la norma que nos menciona que él % de RBV tiene que estar entre 65 – 75%. Lo mismo sucede con el primer diseño de mezcla asfáltica normal que tiene un valor resultante superior al 75%.

Figura 4.35. Comparación del % de RBV de las mezclas asfálticas.

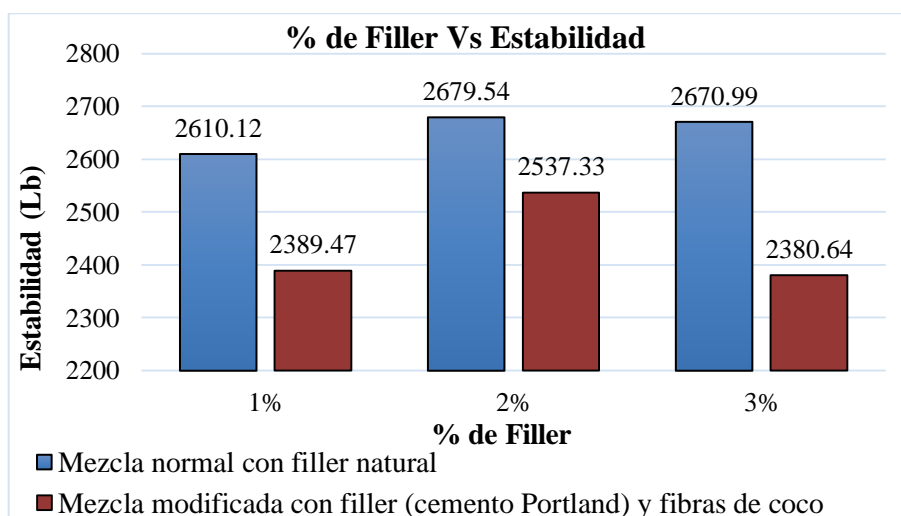


Fuente: Elaboración propia.

4.7.6. Comparación de la estabilidad de las mezclas

En la figura 4.36 se puede observar que los valores obtenidos de los distintos diseños de mezclas asfálticas cumplen con la norma que especifica que para tránsito pesado deben ser mayores a 1800 lb valor obtenido de la tabla 2.11. También se puede notar que la estabilidad resultantes de las mezclas asfálticas modificadas son menores en relación a las mezclas normales, esto se debe a que se trabajó con una temperatura de 130°C y al momento de compactar fue perdiendo temperatura esto hace que luego nos dé estabilidades más bajas.

Figura 4.36. Comparación de la estabilidad de las mezclas asfálticas.

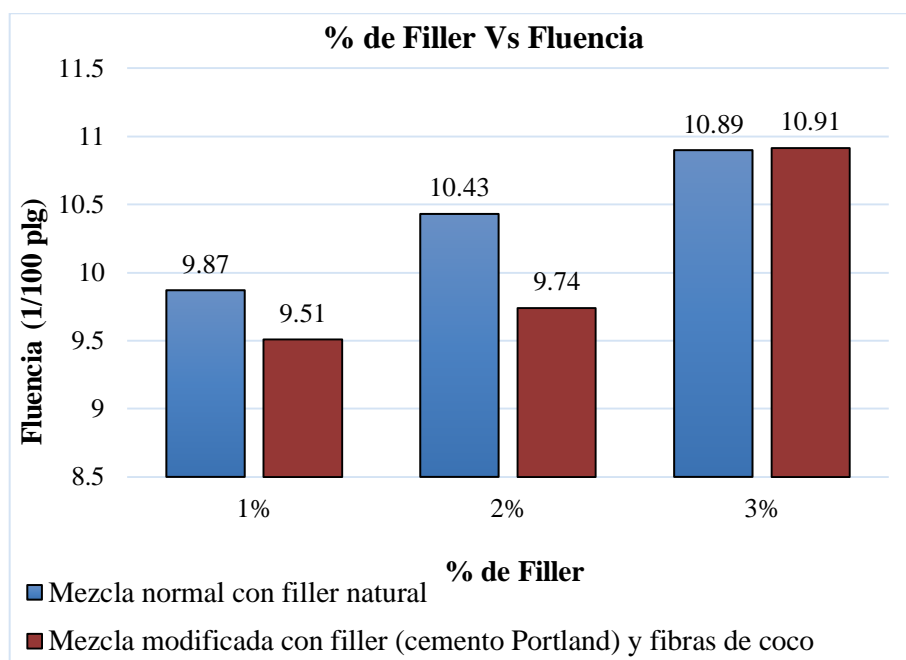


Fuente: Elaboración propia.

4.7.7. Comparación del flujo o fluencia de las mezclas

En la figura 4.37. Se puede observar que los resultados obtenidos de la fluencia de las mezclas asfálticas son mayores a medida que se incrementa el porcentaje de filler, también cabe resaltar que ambas mezclas asfálticas están cumpliendo con las especificaciones de la norma que establece que la fluencia debe estar entre 8 -14 (1/100 plg).

Figura 4.37. Comparación de la fluencia de las mezclas asfálticas.



Fuente: Elaboración propia.

4.8. ANÁLISIS DE PRECIOS DE PRODUCCIÓN PARA LAS DIFERENTES MEZCLAS ASFÁLTICAS

Es muy importante tener en cuenta que el precio de producción es uno de los factores más relevantes a considerar en los proyectos de ingeniería, por lo tanto, mientras más eficiente sea la labor de estas, menos recursos se invertirán en su producción y a su vez el precio final será menor.

Para la presente investigación se analizará los precios de producción para las diferentes mezclas asfálticas.

4.8.1. Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica normal

Dosificación de los materiales para la mezcla asfáltica normal.

Tabla 4.50. Dosificación para 1 m³ mezcla asfáltica normal con 1% de filler natural.

Dosificación para un metro cúbico				
Material	Peso (kg)	Peso Esp. (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Unidad
Grava de 3/4"	638.55	2668.00	0.23	m ³
Gravilla de 3/8"	510.75	2617.00	0.19	m ³
Arena triturada	979.20	2649.00	0.37	m ³
Cemento asfáltico	121.50	1018.00		kg

Fuente: Elaboración propia.

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones es de: 2250 kg/m³.

Tabla 4.51. Precio de los materiales para 1 m³ de mezcla asfáltica normal con 1% filler natural.

Precio de materiales para la mezcla asfáltica normal				
Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs)	P. Total (Bs)
Grava de 3/4"	m ³	0.23	100.00	23.93
Gravilla de 3/8"	m ³	0.19	115.00	22.44
Arena triturada	m ³	0.37	125.00	46.21
Cemento asfáltico	kg	121.50	9.70	1178.55
Gas natural	mill.	0.08	16.00	1.28
Diésel	lt.	1.56	3.70	5.77
Precio Total de los Materiales				1278.19

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.52. Resumen de precio unitario para 1 m³ de la mezcla asfáltica normal con 1% filler natural.

Análisis de precios unitarios		
Actividad :		Costo (Bs)
1	Materiales	1278.19
2	Mano de obra	40.89
3	Equipo, Maquinaria y Herramientas	181.94
4	Gastos generales y administrativos	150.10
5	Utilidad	165.11
6	Impuestos	56.12
Total precio unitario (Bs)		1872.36

Fuente: Elaboración propia.

Ver planilla de precio unitario de cada diseño más a detalle en el **Anexo A.2.**

4.8.2. Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica con adición de cemento Portland y fibras de coco

Dosificación de los materiales para la mezcla asfáltica con adición de cemento Portland y fibra de coco.

Tabla 4.53. Dosificación para 1 m³ mezcla asfáltica modificada con 1% de filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.

Dosificación para un metro cúbico				
Material	Peso (kg)	Peso Esp. (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Unidad
Grava de 3/4"	640.82	2668.00	0.24	m ³
Gravilla de 3/8"	512.78	2617.00	0.19	m ³
Arena triturada	961.27	2649.00	0.36	m ³
Filler (cemento)	21.38			kg
Cemento asfáltico	112.28	1018.00		kg
fibra de coco	1.49			kg

Fuente: Elaboración propia.

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones = 2250 kg/m³.

Tabla 4.54. Precio de los materiales para 1 m³ de mezcla asfáltica modificada con 1% filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.

Precio de materiales para la mezcla asfáltica con adición de cemento Portland				
Material	Unidad	Cantidad	P.U. (Bs)	P. Total (Bs)
Grava de 3/4"	m ³	0.24	100.00	24.02
Gravilla de 3/8"	m ³	0.19	115.00	22.53
Arena triturada	m ³	0.36	125.00	45.36
Filler (cemento)	kg	21.38	1.04	22.23
Cemento asfáltico	kg	112.28	9.70	1089.07
fibra de coco	kg	1.49	2.50	3.71
Gas natural	mill.	0.08	16.00	1.28
Diésel	lt.	1.56	3.70	5.77
Precio Total de los Materiales				1213.97

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.55. Resumen de precio unitario para 1 m³ de la mezcla asfáltica modificada con 1% filler (cemento Portland) y 0.066% de fibra de coco.

Análisis de precios unitarios		
Actividad :	Carpeta de concreto asfáltico modificado con 1% filler y 0.066% fibra de coco	Costo (Bs)
1	Materiales	1213.97
2	Mano de obra	40.89
3	Equipo, Maquinaria y Herramientas	181.94
4	Gastos generales y administrativos	143.68
5	Utilidad	158.05
6	Impuestos	53.72
Total precio unitario (Bs)		1792.26

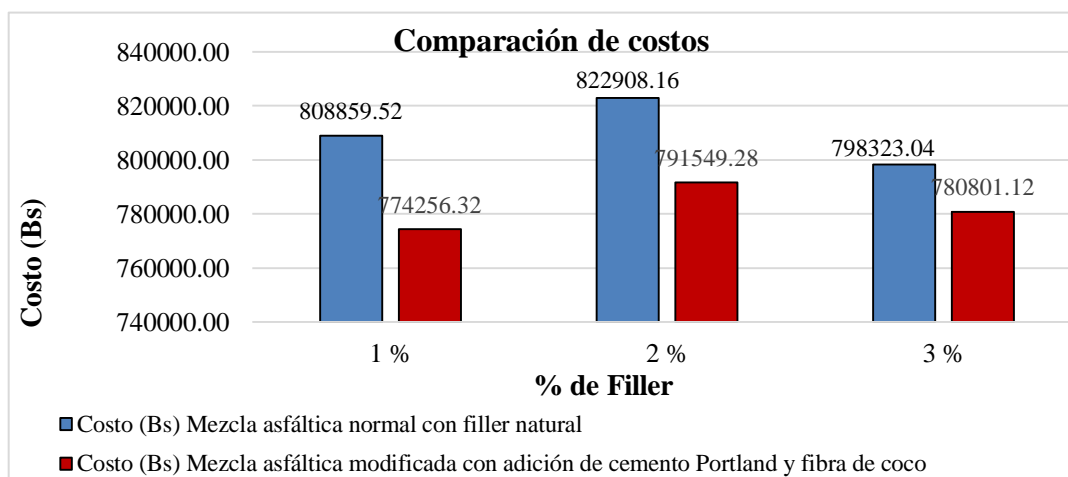
Fuente: Elaboración propia.

Ver planilla de precio unitario más a detalle en el **Anexo A.2**.

4.8.3. Análisis del precio de los materiales para las mezclas asfálticas estudiadas.

Como se puede observar en la figura 4.38 el precio de las mezclas asfálticas modificada va de forma ascendente a descendente y son más bajos en costo que una mezcla asfáltica normal en los diferentes contenidos de filler usados, esto es debido a que el porcentaje óptimo de asfalto obtenido en cada diseño modificado es inferior al porcentaje óptimo obtenido en cada diseño normal. Esto permite que se economice en costos al momento de pavimentar tramos largos de carpeta de rodadura aplicando este diseño planteado con adición de cemento Portland y fibra de coco.

Figura 4.38. Comparación del costo de mezclas asfálticas normales y modificadas.



Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se pudo probar que los agregados procedentes de la chancadora San José de Charaja presentan mejores propiedades mecánicas en relación a los agregados procedentes de las otras chancadoras analizadas. Los agregados de Charaja tienen un bajo porcentaje de desgaste mediante la máquina de los Ángeles, tiene un porcentaje menor al 3% de agregados laminares tanto de 3/4" como de 3/8".
- Se demostró que el cemento asfáltico 85-100 proporcionado por la alcaldía Municipal cumple con todas las especificaciones técnicas.
- Analizando el efecto que tienen las diferentes composiciones granulométricas en la susceptibilidad a la deformación de una mezcla asfáltica, se encontró que las curvas granulométricas planteadas tanto en mezclas asfálticas normales como modificadas están dentro de las especificaciones para una gradación "C".
- Para obtener el contenido óptimo de fibra de coco se consideró trabajar con diseños cuya dosificación tenían un 0% de filler, haciendo variar el porcentaje de fibra, consiguiendo resultados favorables.
- Se determinó el contenido óptimo de cemento Portland haciendo variar el porcentaje de porcentaje de filler y trabajando con el óptimo de fibras en cada uno de los distintos diseños planteados.
- Se verificó que al trabajar con temperaturas superiores a los 130°C recomendados por norma para tráfico pesado, esto hace que la mezcla adquiera valores altos en estabilidad y fluencia provocando que las densidades sean relativamente bajas.

- Se comprobó que el cemento Portland actúa con relleno de vacíos dando como resultado porcentajes de vacíos más bajo que una mezcla asfáltica normal, esto nos indica una disminución de la penetración del agua y del aire en la carpeta de rodadura dando mayor durabilidad al pavimento.
- Los resultados de estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica modificada son bajos en comparación a una mezcla asfáltica normal por lo tanto estas propiedades mecánicas no se cumplen, pero los si se trata de la densidad, porcentaje de vacíos, si se mejoran estas propiedades.
- Se pudo observar que los precios para las mezclas asfálticas con adición cemento Portland y fibras de coco son más bajos en comparación con mezclas asfálticas normales esto es debido al bajo contenido óptimo de cemento asfáltico, factor que incide considerablemente al momento de trabajar con cantidades más grandes. Generalmente en los proyectos de ingeniería se busca realizar una actividad al menor costo posible pero que a su vez tenga las mejores características mecánicas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para garantizar la calidad de las mezclas asfálticas el personal encargado de laboratorio o planta debe tener la preparación adecuada sobre el método Marshall.
- Es recomendable ser muy cuidadosos al momento de trabajar con las mezclas asfálticas, porque con altas o bajas temperaturas al momento de la compactación con el martillo apisonador, dándonos valores de estabilidad y fluencia altas y densidades bajas.
- Se pide que al utilizar cemento Portland este no sea en exceso, ya que produce que la mezcla adquiera mucha dureza y estabilidades altas fuera de los parámetros normales recomendados para mezclas asfálticas.

- Como un parámetro de correcta aplicación es recomendable que los valores resultantes de cada diseño planteado cumplan con todas las especificaciones técnicas.
- Esta investigación surge con la necesidad de investigar nuevos usos de materiales en capas de rodadura y que sean pocos dañinos para el medio ambiente con el fin de encontrar mejoras en las propiedades para así poder prolongar la vida útil de los pavimentos.