

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN

La comparación del comportamiento mecánico entre una mezcla asfáltica convencional con otras mezclas asfálticas modificadas se lo realiza por la necesidad que se tiene de buscar nuevos materiales que nos ayuden a mejorar el comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en el funcionamiento en la carpeta asfáltica.

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 comparar el comportamiento de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica convencional en caliente con otras con la adición de cemento portland y cal hidratada como remplazo del filler, a través de ensayos de laboratorio estandarizados como ser Marshall, con el fin de detectar posibles variaciones representativas en dichas propiedades.

El aporte de esta investigación es la aplicación práctica donde se realizara diferentes diseños de mezclas asfálticas modificadas con cemento portland y cal hidratada con diferentes porcentajes de filler, sus resultados servirán para identificar si verdaderamente existen mejoras en las propiedades mecánicas.

1.1. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto se realizó para establecer una comparación de las propiedades mecánicas que se generan con la adición de cemento portland y cal hidratada a una mezcla asfáltica con granulometría continua o concreto asfáltico.

Este trabajo de investigación adquirió importancia y su realización se justifica en el hallazgo de nuevos materiales que pueden optimizar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas calientes mejorando de esta manera la vida útil o de funcionalidad de las infraestructuras viales construidas con este tipo de mezclas.

La adición de un diferente tipo de filler a las mezclas asfálticas calientes es una alternativa para mejorar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas, para que así estas tengan un periodo de funcionalidad más prolongado disminuyendo los costos de mantenimiento.

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 con cemento portland y cal hidratada en proyectos viales de medio y alto volumen de tráfico.

1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA

El comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas, es una forma de medir sus propiedades mecánicas, para relacionarlo con los esfuerzos a los que serán sometidos cuando estén puestos en la obra, estas propiedades pueden ser medidas utilizando el ensayo de Marshall.

Cuando se presenta el problema de colocar una mezcla con las propiedades mecánicas requeridas a un cierto tramo de la carpeta asfáltica, surgen algunas dudas sobre si las propiedades de las mezclas asfálticas calientes serán las correctas en el sentido de obtener mejores resultados durante su funcionamiento, para ello los ingenieros tienen la diversidad de criterios, que a la larga pareciera que hicieron lo correcto, sin embargo

los resultados medidos muchas veces muestran otra cosa y la eficiencia buscada no se presenta ocasionando un perjuicio a la obra.

Es necesario realizar una comparación de sus propiedades mecánicas entre diferentes tipos de mezclas asfálticas con variaciones de materiales aditivos para poder saber las ventajas y desventajas entre las diferentes mezclas.

1.3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

¿De qué manera una comparación de propiedades entre una mezcla asfáltica caliente convencional con otras modificadas con aditivos, puede determinar si existen mejoras en su comportamiento mecánico?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Comparar el comportamiento de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica convencional en caliente con otras con adición de cemento portland y cal hidratada como remplazo del filler, a través de ensayos de laboratorio estandarizados como ser Marshall, con el fin de detectar posibles variaciones representativas en dichas propiedades.

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Identificar los métodos y ensayos requeridos en el diseño y medición de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.
- ✓ Realizar la caracterización de los materiales, agregados pétreos y del cemento asfáltico.
- ✓ Diseñar las mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall haciendo variar los porcentajes del filler normal, cemento portland y la cal hidratada.
- ✓ Determinar los valores de las propiedades mecánicas tales como: estabilidad, fluencia, % de vacíos y densidad, de las mezclas asfálticas calientes convencionales y de otras con adición de cemento portland y con cal hidratada.
- ✓ Comparar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, a partir de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas.

1.5. HIPÓTESIS

Si realizamos diferentes diseños de mezclas asfálticas calientes modificadas donde se hará variar los tipos y porcentajes de filler (cemento portland y cal hidratada), entonces, se puede desarrollar en laboratorio los ensayos necesarios para poder determinar si existen mejoras en sus propiedades mecánicas.

1.6. ALCANCE

- ✓ La investigación se centra en la comparación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas densas en caliente continuas a las cuales se les añade cemento portland y cal hidratada como remplazo del filler.
- ✓ El diseño de la mezcla asfáltica en caliente se realizara utilizando el método Marshall.
- ✓ Los ensayos para los agregados pétreos, cemento asfáltico y mezcla asfáltica se realizaran conforme a normas AASHTO y/o ASTM.
- ✓ El diseño de la mezcla asfáltica en caliente será a nivel laboratorio.

1.7. LIMITACIONES

- ✓ El tipo de cemento asfáltico que se utilizara en la investigación será un asfalto normal de penetración 85 – 100.
- ✓ Los agregados pétreos que se utilizara en el diseño de la mezcla asfáltica se limitaran a los proporcionados por la empresa constructora ERIKA S.R.L.
- ✓ El cemento portland que se utilizara para el diseño de la mezcla asfáltica será cemento El Puente tipo I.
- ✓ La cal hidratada que se utilizara para el diseño de la mezcla asfáltica será proveniente del Municipio de El Puente.

1.8. DEFINICIÓN DE VARIABLES

1.8.1. Variables dependientes

- ✓ Porcentaje de vacíos.
- ✓ Estabilidad.
- ✓ Fluencia.

1.8.2. Variables independientes

- ✓ Filler (polvo de roca, cemento portland y cal hidratada)

1.8.3. Conceptualización

- ✓ **Comportamiento mecánico.**- describe la capacidad que tienen los diferentes materiales para comprimirse, estirarse o romperse bajo la acción de sollicitaciones externas.
- ✓ **Mezcla asfáltica.**- La mezcla asfáltica es la combinación de áridos (incluido el polvo mineral) con un ligante, las cantidades relativas de ligante y áridos determinan las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla.
- ✓ **Diseño de mezclas asfálticas.**- El diseño de las mezclas asfálticas es el proceso de seleccionar los materiales adecuados para determinar las cantidades relativas de los mismos, con el objeto de producir una mezcla asfáltica donde sus propiedades mecánicas sean las óptimas.
- ✓ **Cemento asfáltico.**- Material obtenido por refinación de residuos de petróleo y que debe satisfacer los requerimientos establecidos para su uso en la construcción de pavimentos.
- ✓ **Agregado pétreo.**- Material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.
- ✓ **Filler.**- Polvo mineral fino que podrá ser cemento hidráulico, cal u otro material inerte, libre de materia orgánica y partículas de arcilla.
- ✓ **Ensayos;** procedimiento definitivo que produce un resultado de una prueba que consiste en la determinación de una o más características de un determinado producto.
- ✓ **Marshall.**- Equipo eléctrico diseñado para aplicar carga a las probetas durante el ensayo, sirve para medir la deformación que se produce cuando se le aplica una carga también se puede medir la estabilidad y fluencia de la muestra.
- ✓ **Propiedades.**- Las propiedades de las mezclas asfálticas son las características inherentes que permiten diferenciar una mezcla de otra.
- ✓ **Estabilidad.**- Es la capacidad de resistir deformaciones bajo la acción de cargas de una briqueta cuando se somete al ensayo Marshall.

- ✓ **Fluencia.-** Representa la deformación correspondiente a la carga máxima de rotura de la briqueta en el ensayo Marshall.
- ✓ **Densidad.-** La densidad de la mezcla compactada se considera como el volumen macizo de la briqueta, más el volumen de los poros accesibles e inaccesibles, se expresa generalmente en gr/cm^3 .
- ✓ **Cantidad de vacíos.-** Se pueden definir como el volumen total de una pequeña bolsa de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de cemento asfáltico en una mezcla asfáltica compactada, expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla asfáltica compactada.

1.8.4. Operacionalidad

Tabla 1.1. Operacionalidad de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	VALOR/ACCIÓN
Filler	Polvo de roca	Se hace variar los tipos y porcentajes de filler	Realizando la dosificación en laboratorio
	Cemento portland		
	Cal hidratada		
VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADOR	VALOR/ACCIÓN
Comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas modificando el filler	Densidad	gr/cm^3	Especificaciones de la norma (AASHTO, ASTM)
	Porcentaje de vacíos	%	
	Estabilidad	Lb	
	Fluencia	1/100"	

Fuente: Elaboración propia.

Z = Nivel de significancia 1.96

NC = Nivel de confianza 95%

Tabla 1.3. Muestra estratificada por afijación proporcional.

	GRUPOS	Ni	Pi	Qi	Pi*Qi	Ni*Pi*Qi	Wi	ni
Caracterización del material pétreo	Granulometría	7.000	0.500	0.500	0.250	1.750	0.029	6.000
	Equivalente de arena	4.000	0.500	0.500	0.250	1.000	0.017	3.000
	Gravedad específica y % de absorción	4.000	0.500	0.500	0.250	1.000	0.017	3.000
	Desgaste de los Angeles	1.000	0.500	0.500	0.250	0.250	0.004	1.000
	Caras fracturadas	1.000	0.500	0.500	0.250	0.250	0.004	1.000
Caracterización del ligante	Penetración a 25°C	3.000	0.500	0.500	0.250	0.750	0.012	2.000
	Punto de inflamación	3.000	0.500	0.500	0.250	0.750	0.012	2.000
	Peso específico	3.000	0.500	0.500	0.250	0.750	0.012	2.000
	Viscosidad Saybolt	3.000	0.500	0.500	0.250	0.750	0.012	2.000
	Ductilidad	3.000	0.500	0.500	0.250	0.750	0.012	2.000
Caracterización del filler	Granulometría	11.000	0.500	0.500	0.250	2.750	0.046	9.000
	Límites de atterberg	11.000	0.500	0.500	0.250	2.750	0.046	9.000
Ensayos Marshall	Estabilidad	187.000	0.500	0.500	0.250	46.750	0.776	151.000
	Fluencia		0.500	0.500	0.250	46.750	0.776	
	Densidad		0.500	0.500	0.250	46.750	0.776	
Σ		241.000				153.750		193.000

Fuente: Elaboración propia.

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.

1.10. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS

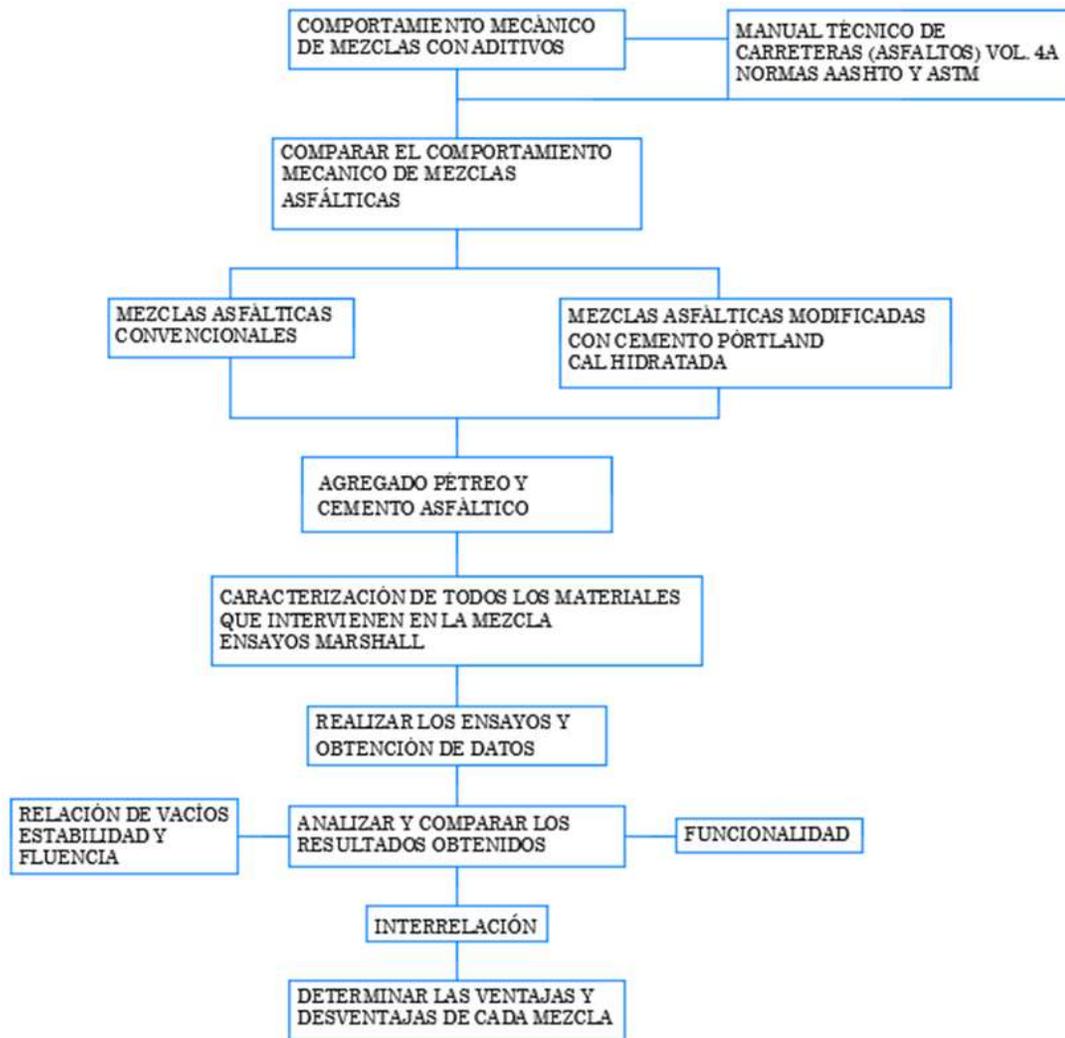
1.10.1. Listado de actividades a realizar

- ✓ Obtención y selección de los diferentes materiales.
- ✓ Caracterización del material pétreo.
 - ✓ Granulometría.
 - ✓ Equivalente de arena.
 - ✓ Gravedad específica y porcentaje de absorción.
 - ✓ Desgaste de los Ángeles.
 - ✓ Porcentaje de caras fracturadas.
- ✓ Caracterización del ligante (cemento asfáltico).

- ✓ Penetración a 25°C.
- ✓ Viscosidad saybolt.
- ✓ Punto de inflamación.
- ✓ Peso específico.
- ✓ Ductilidad.
- ✓ Caracterización del filler.
 - ✓ Granulometría.
 - ✓ Límites de plasticidad.
- ✓ Ensayos Marshall.
 - ✓ Estabilidad y fluencia.
 - ✓ Porcentaje de vacíos.
 - ✓ Densidad.

1.10.2. 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.

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

Los productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva acerca de la comparación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas convencionales con otras con adición de cemento portland y cal hidratada son:

- ✓ Realizar los ensayos de densidad, porcentaje de vacíos, estabilidad y fluencia, para así poder obtener los datos de los resultados cuantitativos que nos permitirán realizar un análisis comparativo.
- ✓ La obtención de los resultados de la relación de vacíos que es necesario realizar un cálculo después de realizar los ensayos.

1.10.4. Resultados esperados

Los resultados esperados de la comparación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas convencionales con otras con adición de cemento portland y cal hidratada son:

- ✓ Identificar el comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con aditivos con relación a las mezclas asfálticas convencionales, para así poder establecer las ventajas y desventajas que se pudieran observar.

1.10.5. 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
- ✓ Y2 = Fluencia
- ✓ Y3 = Densidad
- ✓ Analizar los datos por variable.
- ✓ Tabulación de datos.
- ✓ Graficar frecuencias y/o histogramas.
- ✓ 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.

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

- ✓ Moda.- es el valor o los valores donde la distribución de frecuencias alcanzan 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.

$$\checkmark Y_1 \Rightarrow Y_2$$

$$\checkmark Y_1 \Rightarrow Y_3$$

- ✓ Tabulación ordenada de los datos.
- ✓ Graficar y relacionar con las variables independientes.
- ✓ Describir y explicar las relaciones funcionales entre las variables.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1. GENERALIDADES

2.1.1. Definición de mezcla asfáltica

La mezcla asfáltica se puede definir como la combinación de agregados pétreos con cemento asfáltico, mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los pavimentos para tráfico pesados intensos.

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 ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

2.1.2. Clasificación de mezcla asfáltica

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

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.

2.1.3. 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:

2.1.3.1. 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 entrará 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/pe^3), se calcula al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ($1,000 \text{ kg/m}^3$ o 62.416 lb/pe^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.

2.1.3.2. 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%.

2.1.3.3. Vacíos en el agregado mineral (VMA)

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 VMA 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 VMA 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 VMA 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 VMA 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.

2.1.3.4. 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: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 401.

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.

2.1.3.5. Vacíos llenos de asfalto (VFA)

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

2.1.4. 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.

2.1.4.1. 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.

2.1.4.2. 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.

2.1.4.3. 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.

2.1.4.4. 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 a deformarse menos) que a fracturarse bajo carga repetida.

2.1.4.5. 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.

2.1.4.6. 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.

2.1.4.7. 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.

2.1.4.8. Trabajabilidad

Es la propiedad relacionada con la facilidad con que la mezcla asfáltica es colocada y compactada in situ. Una buena mezcla debe ser capaz de permitir su colocación y compactación, sin que se requiera un esfuerzo demasiado grande.

Esta propiedad, generalmente depende de uno, o una combinación, de los siguientes factores: características del agregado, la granulometría, el contenido, y la viscosidad del asfalto (Publicación técnica N° 267 Sanfandilla, Qro, 2004).

2.2. COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.2.1. 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.

2.2.1.1. Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades

2.2.1.1.1. Penetración (ASTM D 5 AASHTO T49-97)

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.

2.2.1.1.2. Ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00)

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.

2.2.1.1.3. Punto de inflamación y combustión en la copa abierta de Cleveland (ASTM D 1310-01 AASHTO T79-96)

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.

2.2.1.1.4. Viscosidad (AASHTO T201 ASTM D 2170)

Este método abarca los procedimientos para determinar la viscosidad de asfaltos líquidos, aceites de caminos y residuos destilados de asfaltos líquidos, todos a 60°C, y de cementos asfálticos a 135°C, en el rango de 30 a 100.000 cts.

2.2.1.1.5. Densidad (ASTM D 71-94 AASHTO T229-97)

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

2.2.1.2. 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	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Penetración a 25°C (77°F), 100g, 5 seg.	40.000	50.000	60.000	70.000	85.000	100.000	120.000	150.000	200.000	300.000
Punto de inflamación °C (°F)	232.000	—	232.000	—	232.000	—	218.000	—	177.000	—
	450.000	—	450.000	—	450.000	—	425.000	—	350.000	—
Ductilidad a 25°C (77°F), 5cm/min, cm	100.000	—	100.000	—	100.000	—	100.000	—	—	—
Solubilidad en tricloroetileno, porcentaje	99.000	—	99.000	—	99.000	—	99.000	—	99.000	—
Prueba en horno de película delgada(TFO), 3.2mm(1/8in), 163°C (325°F), 5 horas perdida por calentamiento, porcentaje	—	0.800	—	0.800	—	1.000	—	1.300	—	1.500
Penetración del residuo, porcentaje del original	58.000	—	54.000	—	50.000	—	46.000	—	40.000	—
Ductilidad de residuo a 25°C(77°F), 5cm/min, cm	—	—	50.000	—	75.000	—	100.000	—	100.000	—
Prueba de mancha(cuando y como se especifique)(ver nota)										
Solvente normal de nafta	Negativo para todos los grados									
Solvente de nafta-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados									
Solvente de heptano-xileno, porcentaje de xileno	Negativo para todos los grados									

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 223.

2.2.2. 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.

2.2.2.1. 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.

2.2.2.2. 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 apropiado un agregado para las 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.

2.2.2.3. Ensayos realizados a los agregados

2.2.2.3.1. Granulometría (ASTM E 40 AASHTO T27-99)

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.

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
63.000 mm	2 1/2 plg	2.360 mm	Nº 8
50.000 mm	2 plg	1.180 mm	Nº 16
37.500 mm	1 1/2 plg	0.600 mm	Nº 30
25.000 mm	1 plg	0.300 mm	Nº 50
19.000 mm	3/4 plg	0.150 mm	Nº 100
12.500 mm	1/2 plg	0.075 mm	Nº 200
9.500 mm	3/8 plg		
4.750 mm	Nº 4		

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 36.

2.2.2.3.2. Densidad real, densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos y finos (AASHTO T85, AASHTO T84)

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos.

Es aplicable a los áridos gruesos y finos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

2.2.2.3.3. Equivalente de arena (ASTM D 2419 AASHTO T176-00)

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por el tamiz Nº 4 (4.75 mm).

2.2.2.3.4. Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E 131 AASHTO T96-99)

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.36 mm, de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, mediante la máquina de los Ángeles.

2.2.2.3.5. Desintegración sulfato de sodio (ASTM E 88 AASHTO T104-99)

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. El uso de una u otra sal es alternativo, pero sus resultados no son comparables.

Este método se aplica a los áridos de densidad neta entre 2000 y 3000 kg/m³, que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y, mezclas asfálticas.

2.2.2.3.6. Caras fracturadas en los áridos (ASTM D 5821)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso de material que presenta una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

2.2.2.4. Especificaciones que deben cumplir los agregados

2.2.2.4.1. 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 2.4. Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso.

Nº	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.

2.2.2.4.2. 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.

Nº	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.

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

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

GRADUACION DEL AGREGADO FINO						
Tamaño de tamiz		Cantidad mas fina que cada tamiz de laboratorio (Aberturas cuadradas), Masa, %				
		Graduacion Nº 1	Graduacion Nº 2	Graduacion Nº 3	Graduacion Nº 4	Graduacion Nº 5
3/8"	9.500 mm	100	—	—	100	100
Nº 4	4.750 mm	95 a 100	100	100	80 a 100	80 a 100
Nº 8	2.360 mm	70 a 100	75 a 100	95 a 100	65 a 100	65 a 100
Nº 16	1.180 mm	40 a 80	50 a 74	85 a 100	40 a 80	40 a 80
Nº 30	0.600 mm	20 a 65	28 a 52	65 a 90	20 a 65	20 a 65
Nº 50	0.300 mm	7 a 40	8 a 30	30 a 60	7 a 40	7 a 46
Nº 100	0.150 mm	2 a 20	0 a 12	5 a 25	2 a 20	2 a 30
Nº 200	0.075 mm	0 a 10	0 a 5	0 a 5	0 a 10	—

Fuente: Tabla 1 norma AASHTO M 29

2.3. FILLER (LLENANTE MINERAL)

2.3.1. Definición

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.

El Filler o llenante mineral es el material que es incorporado 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.

2.3.2. 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.

2.3.3. 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 el cerrado de la mezcla sin el empleo exagerado de asfalto.-** Esto debido a que el filler actúa como relleno 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.

2.3.4. Ensayos realizados al filler

2.3.4.1. Granulometría del filler (ASTM D 246)

El método tiene por objeto el análisis, por medio de tamices, del filler empleado en materiales componentes de mezclas para pavimentos bituminosos.

2.3.4.2. Índice de plasticidad (ASTM D 4318 – AASHTO T 90)

Este método establece el procedimiento para determinar el índice de plasticidad del material fino (filler).

2.3.5. 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 16 (1.18 mm)	100
Nº 30 (600 µm)	97 – 100
Nº 50 (300 µm)	95 – 100
Nº 200 (75 µm)	70 - 100

Fuente: ASTM D 242 (Standard specification for mineral filler for bituminous paving mixtures)

Tabla 2.8. Especificaciones que debe cumplir el filler.

Nº	PARÁMETRO	NORMA	ESPECIFICACIÓN
1	Índice de plasticidad	ASTM D 4318 AASHTO T 90	4 % máx.

Fuente: ASTM D 242 (Standard specification for mineral filler for bituminous paving mixtures)

2.4. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, MÉTODO MARSHALL

2.4.1. 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.

2.4.2 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.

2.4.3 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 1200 g; se determina el contenido de asfalto en peso equivalente a un porcentaje del peso total' de la briqueta, conociendo el peso del agregado que tiene que ocupar cada briqueta por la diferencia en peso entre el total de la briqueta 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 2.9**. Después de completar la compactación, las briquetas se dejan enfriar para luego proceder a su extracción de los moldes.

2.4.4 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 2.10**). 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.

2.4.4.1. 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 el 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
37.500	100	-	-	-	-	-
25.000	97 a 100	100	100	-	-	-
19.000	-	97 a 100	97 a 100	100	100	-
12.500	-	76 a 88	(±5)	97 a 100	97 a 100	-
9.500	53 a 70	-	(±6)	-	(±5)	100
4.750	40 a 52	49 a 59	(±7)	57 a 69	(±6)	33 a 47
2.360	-	-	-	-	-	-
1.180	25 a 39	36 a 45	(±5)	41 a 49	(±6)	7 a 13
0.600	12 a 22	20 a 28	(±4)	22 a 30	(±4)	-
0.300	8 a 16	13 a 21	(±3)	13 a 21	(±3)	-
0.150	-	-	-	-	-	-
0.075	3 a 8	3 a 7	3 a 8	3 a 8	3 a 8	2 a 4

Fuente: Materiales, mezclas asfálticas y técnicas de preservación, división 400, tabla 403-1.

2.4.4.2. 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 ESALs de diseño (millones)	Alto	Medio	Bajo
		> 10 hasta 30	Entre 0.3 hasta 30
Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo	75.000	50.000	35.000

Fuente: Materiales, mezclas asfálticas y técnicas de preservación, división 400, tabla 403-2.

2.4.4.3. 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).

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL MÉTODO MARSHALL	TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	35	35	50	50	75	75
Estabilidad N(lb)	336.000 (750.000)	-	5358.000 (1200.000)	-	8006.000 (1800.000)	-
Flujo, 0.25mm (0.01plg)	8.000	18.000	8.000	16.000	8.000	14.000
% de vacíos	3.000	5.000	3.000	5.000	3.000	5.000
% VMA	Ver tabla 2.12					
% VFA	70.000	80.000	65.000	78.000	65.000	75.000

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 414.

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

TAMAÑO MÁXIMO EN MM PORCENTAJE		VMA MÍNIMO, POR CIENTO		
		Vacíos de diseño, por ciento		
mm	plg	3.000	4.000	5.000
1.180	Nº 16	21.500	22.500	23.500
2.360	Nº 8	19.000	20.000	21.000
4.750	Nº 4	16.000	17.000	18.000
9.500	3/8	14.000	15.000	16.000
12.500	1/2	13.000	14.000	15.000
19.000	3/4	12.000	13.000	14.000
25.000	1.000	11.000	12.000	13.000
37.500	1.500	10.000	11.000	12.000
50.000	2.000	9.500	10.500	11.500
63.000	2.500	9.000	10.000	11.000

Fuente: Guía básica de diseño, control de producción y colocación de mezclas asfálticas en caliente, pág. 415.

2.4.3. 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.

2.4.3.1. 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.

2.4.3.2. Ensayo de estabilidad y flujo

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 $60\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ($140\text{ °F} \pm 1.8\text{ °F}$) 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 ($1/100\text{ —}$) 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.

2.4.3.3. 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 (V_a); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

CAPITULO III: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.1. IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO

La ciudad de Tarija no cuenta con varios bancos de materiales para la realización de mezclas asfálticas, el criterio asumido para seleccionar un banco de material fue porque no se cuenta con mucho tiempo para realizar la investigación y consecuencia de eso no se puede realizar ensayos de varios bancos de materiales, otro factor es la distancia de los demás bancos de materiales.

Los agregados pétreos que se va a utilizar en la presente investigación fueron proporcionados por la Constructora Erika S.R.L., la misma se encuentra ubicada en el Km. 8 carretera a San Lorenzo, en la comunidad del Rancho Sud de la provincia Méndez.

Figura 3.1. Zona de muestreo.



Fuente: Elaboración propia.

Los materiales que fueron obtenidos de la Constructora Erika S.R.L., cumplen con las especificaciones propuestas por las normas ASTM y AASHTO.

Figura 3.2. Agregado pétreo.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO PÉTREO

3.2.1. Granulometría y mezcla de agregados

El análisis granulométrico de los agregados tiene por objeto separar y clasificar los diferentes tamaños de partículas por los que está formado, esta separación se hace mediante una serie de tamices de malla cuadrada, estandarizados según la norma ASTM.

- ✓ **Granulometría del agregado grueso según (ASTM E 40 - AASHTO T 27).**

Tabla 3.1. Granulometría de grava de 3/4”.

N°	GRANULOMETRÍA GRAVA 3/4"									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
1	100.000	98.150	43.050	14.150	0.450	0.300	0.300	0.300	0.300	0.200
2	100.000	98.650	42.550	13.450	0.400	0.300	0.300	0.300	0.300	0.200
3	100.000	98.700	42.500	14.100	0.350	0.300	0.300	0.300	0.300	0.200
Prom.	100.000	98.500	42.700	13.900	0.400	0.300	0.300	0.300	0.300	0.200

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.2. Granulometría de gravilla de 3/8”.

N°	GRANULOMETRÍA GRAVILLA 3/8"									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
1	100.000	100.000	98.800	97.200	30.400	1.400	1.100	0.800	0.700	0.800
2	100.000	100.000	99.400	96.500	31.100	1.600	1.000	0.700	0.600	0.600
3	100.000	100.000	99.100	97.000	30.600	1.500	1.200	0.900	0.800	0.700
Prom.	100.000	100.000	99.100	96.900	30.700	1.500	1.100	0.800	0.700	0.700

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.3. Granulometría de la arena triturada.

N°	GRANULOMETRÍA ARENA TRITURADA									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
1	100.000	100.000	100.000	100.000	99.900	83.400	61.200	34.700	16.700	4.100
2	100.000	100.000	100.000	100.000	99.800	84.100	61.600	35.800	15.200	4.000
3	100.000	100.000	100.000	100.000	99.700	83.600	62.600	34.500	15.800	3.900
Prom.	100.000	100.000	100.000	100.000	99.800	83.700	61.800	35.000	15.900	4.000

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Granulometría del filler según (ASTM E 117 - AASHTO T 11).**

Tabla 3.4. Granulometría del filler (polvo de roca).

N°	GRANULOMETRÍA DEL FILLER (POLVO DE ROCA)									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
1	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.500	98.400	97.600
2	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.600	98.700	97.400
3	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.400	98.700	97.500
Prom.	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.500	98.600	97.500

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5. Granulometría del filler (cal hidratada).

N°	GRANULOMETRÍA DEL FILLER (CAL)									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
1	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	98.900	95.100	89.200
2	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.100	94.400	89.900
3	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.300	94.600	90.000
Prom.	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	99.100	94.700	89.700

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6. Granulometría del filler (cemento portland).

N°	GRANULOMETRÍA DEL FILLER (CEMENTO PORTLAND)									
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 16	N° 40	N° 80	N° 200
	25 mm	19.1 mm	12.7 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.43 mm	0.18 mm	0.075 mm
1	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	98.400
2	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	98.600
3	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	98.500
Prom.	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	98.500

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Mezcla de los agregados.**

En esta investigación se realizara una mezcla o combinación de agregados provenientes de la constructora Erika S.R.L. el Rancho, para lo cual se ha

determinado que la faja granulométrica de mezcla es de tipo C de las especificaciones de la norma AASHTO.

Para el diseño dicha faja se mezcló los agregados gruesos y finos mediante tanteos, verificando que la curva granulométrica este dentro de los parámetros establecidos por la norma.

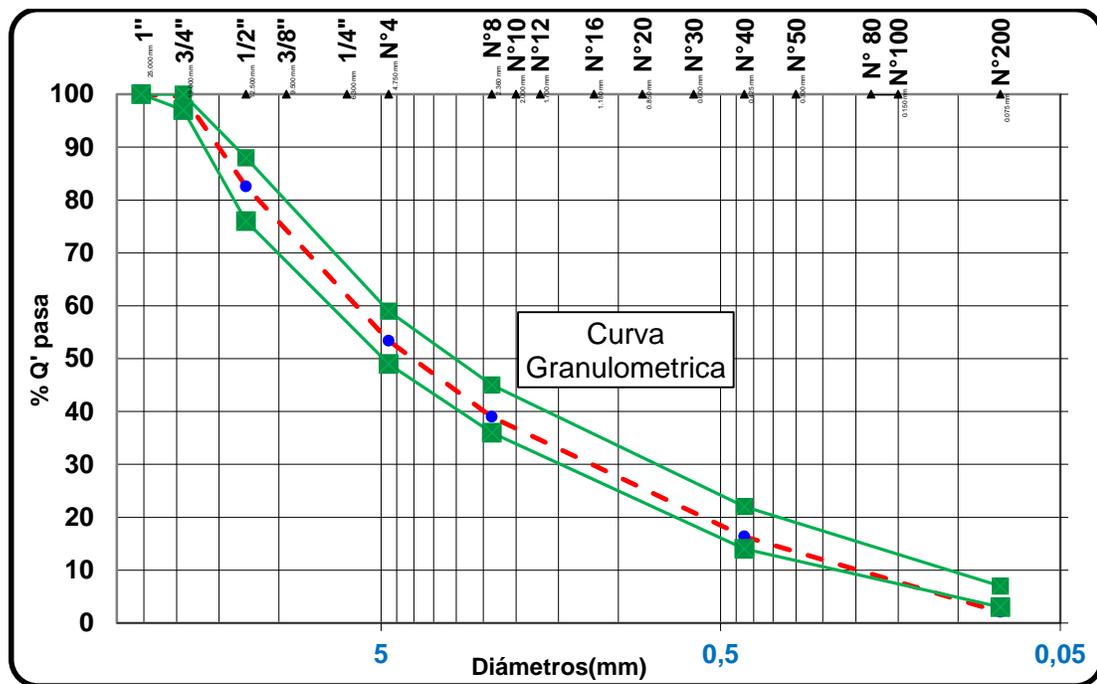
✓ **Mezcla para el diseño normal (convencional).**

Tabla 3.7. Dosificación de los agregados con 0% de filler.

AGREGADO		GRAVA-ERIKA		GRAVILLA-ERIKA		ARENA TRITURADA-ERIKA		% QUE PASA	FAJA	
% Usado		30%		24%		46%			Especificación gradación media	
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.		Inf.	Sup.
Plg	mm.									
1"	25.400	100.000	30.000	100.000	24.000	100.000	46.000	100.000	100	100
3/4"	19.100	98.474	29.542	100.000	24.000	100.000	46.000	99.542	97	100
1/2"	12.500	42.717	12.815	99.065	23.775	100.000	46.000	82.591	76	88
3/8"	9.500	13.932	4.180	96.913	23.259	100.000	46.000	73.439		
Nº 4	4.750	0.374	0.112	30.683	7.364	99.813	45.914	53.390	49	59
Nº 8	2.360	0.345	0.104	1.497	0.359	83.713	38.508	38.971	36	45
Nº 16	1.180	0.317	0.095	1.123	0.269	61.825	28.440	28.804		
Nº 40	0.425	0.288	0.086	0.795	0.191	34.963	16.083	16.360	14	22
Nº 80	0.180	0.259	0.078	0.748	0.180	15.925	7.326	7.583		
Nº 200	0.075	0.230	0.069	0.702	0.168	4.000	1.840	2.077	3	8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3. Curva granulométrica de los agregados con 0% de filler.



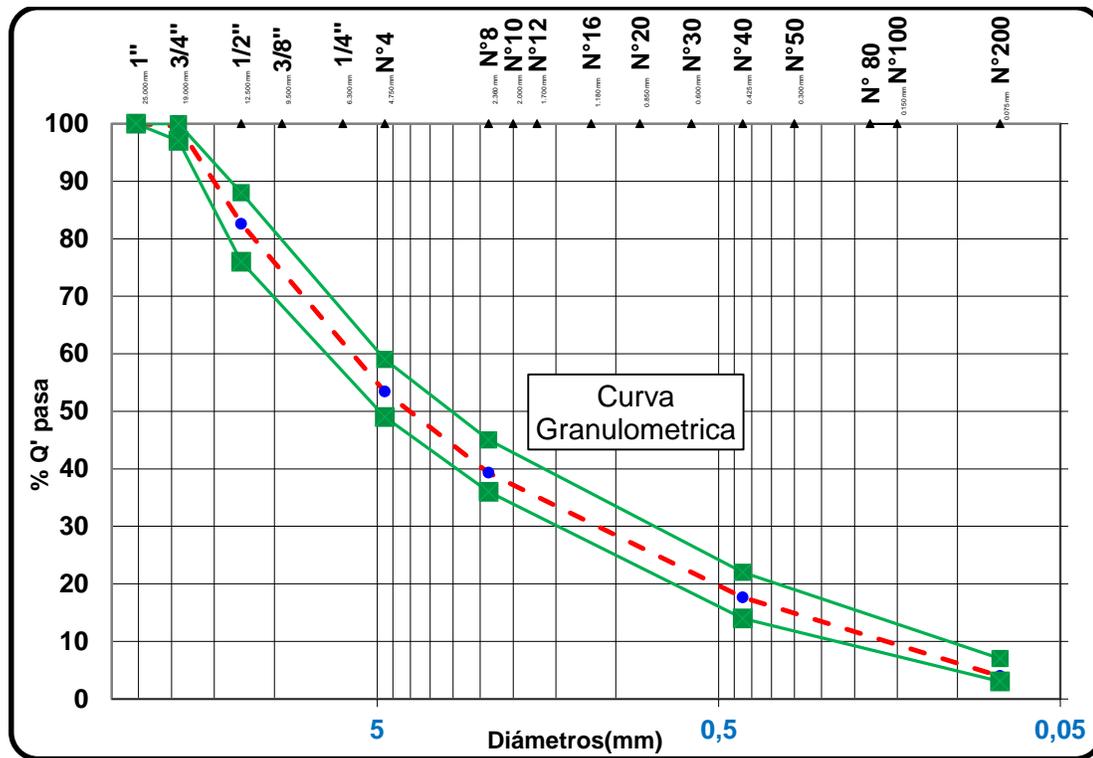
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8. Dosificación de los agregados con 2% de filler.

AGREGADO		GRAVA-ERIKA		GRAVILLA-ERIKA		ARENA TRITURADA-ERIKA		FILLER POLVO DE ROCA		% QUE PASA	FAJA	
% Usado		30%		24%		44%		2%			Especificación gradación media	
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.		Inf.	Sup.
Plg	mm.											
1"	25.400	100.000	30.000	100.000	24.000	100.000	44.000	100.000	2.000	100.000	100	100
3/4"	19.100	98.474	29.542	100.000	24.000	100.000	44.000	100.000	2.000	99.542	97	100
1/2"	12.500	42.717	12.815	99.065	23.775	100.000	44.000	100.000	2.000	82.591	76	88
3/8"	9.500	13.932	4.180	96.913	23.259	100.000	44.000	100.000	2.000	73.439		
Nº 4	4.750	0.374	0.112	30.683	7.364	99.813	43.918	100.000	2.000	53.394	49	59
Nº 8	2.360	0.345	0.104	1.497	0.359	83.713	36.834	100.000	2.000	39.296	36	45
Nº 16	1.180	0.317	0.095	1.123	0.269	61.825	27.203	100.000	2.000	29.567		
Nº 40	0.425	0.288	0.086	0.795	0.191	34.963	15.384	99.500	1.990	17.651	14	22
Nº 80	0.180	0.259	0.078	0.748	0.180	15.925	7.007	98.600	1.972	9.236		
Nº 200	0.075	0.230	0.069	0.702	0.168	4.000	1.760	97.500	1.950	3.947	3	8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.4. Curva granulométrica de los agregados con 2% de filler.



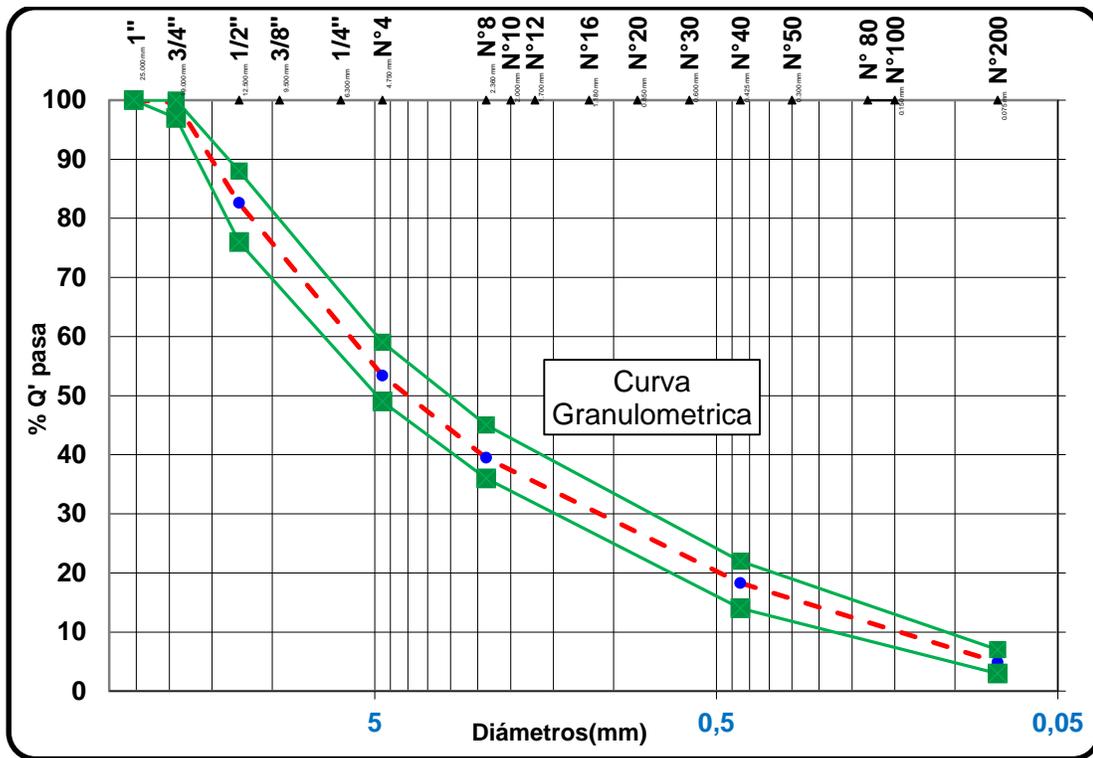
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9. Dosificación de los agregados con 3% de filler.

AGREGADO		GRAVA-ERIKA		GRAVILLA-ERIKA		ARENA TRITURADA-ERIKA		FILLER POLVO DE ROCA		% QUE PASA	FAJA		
% Usado		30%		24%		43%		3%			Especificación gradación media	Inf.	Sup.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.				
Plg	mm.												
1"	25.400	100.000	30.000	100.000	24.000	100.000	43.000	100.000	3.000	100.000	100	100	
3/4"	19.100	98.474	29.542	100.000	24.000	100.000	43.000	100.000	3.000	99.542	97	100	
1/2"	12.500	42.717	12.815	99.065	23.775	100.000	43.000	100.000	3.000	82.591	76	88	
3/8"	9.500	13.932	4.180	96.913	23.259	100.000	43.000	100.000	3.000	73.439			
N° 4	4.750	0.374	0.112	30.683	7.364	99.813	42.919	100.000	3.000	53.396	49	59	
N° 8	2.360	0.345	0.104	1.497	0.359	83.713	35.996	100.000	3.000	39.459	36	45	
N° 16	1.180	0.317	0.095	1.123	0.269	61.825	26.585	100.000	3.000	29.949			
N° 40	0.425	0.288	0.086	0.795	0.191	34.963	15.034	99.500	2.985	18.296	14	22	
N° 80	0.180	0.259	0.078	0.748	0.180	15.925	6.848	98.600	2.958	10.063			
N° 200	0.075	0.230	0.069	0.702	0.168	4.000	1.720	97.500	2.925	4.882	3	8	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5. Curva granulométrica de los agregados con 3% de filler.



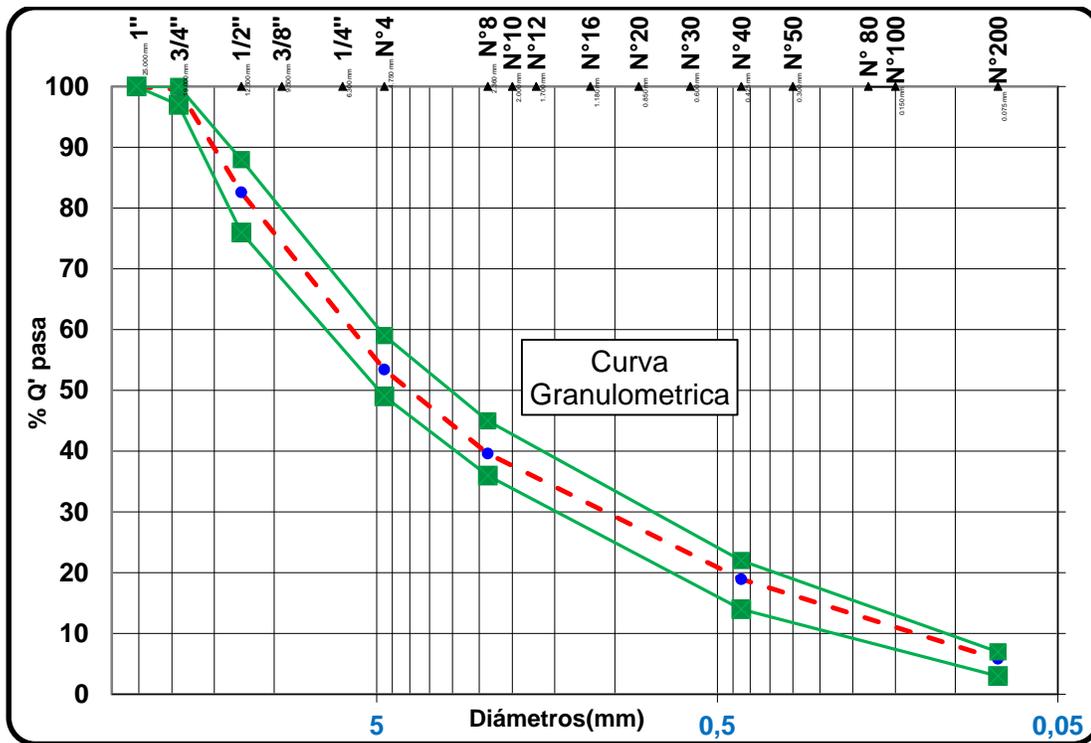
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.10. Dosificación de los agregados con 4% de filler.

AGREGADO		GRAVA-ERIKA		GRAVILLA-ERIKA		ARENA TRITURADA-ERIKA		FILLER POLVO DE ROCA		% QUE PASA	FAJA		
% Usado		30%		24%		42%		4%			Especificación gradación media	Inf.	Sup.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.				
Plg	mm.												
1"	25.400	100.000	30.000	100.000	24.000	100.000	42.000	100.000	4.000	100.000	100	100	
3/4"	19.100	98.474	29.542	100.000	24.000	100.000	42.000	100.000	4.000	99.542	97	100	
1/2"	12.500	42.717	12.815	99.065	23.775	100.000	42.000	100.000	4.000	82.591	76	88	
3/8"	9.500	13.932	4.180	96.913	23.259	100.000	42.000	100.000	4.000	73.439			
N° 4	4.750	0.374	0.112	30.683	7.364	99.813	41.921	100.000	4.000	53.397	49	59	
N° 8	2.360	0.345	0.104	1.497	0.359	83.713	35.159	100.000	4.000	39.622	36	45	
N° 16	1.180	0.317	0.095	1.123	0.269	61.825	25.967	100.000	4.000	30.331			
N° 40	0.425	0.288	0.086	0.795	0.191	34.963	14.684	99.500	3.980	18.941	14	22	
N° 80	0.180	0.259	0.078	0.748	0.180	15.925	6.689	98.600	3.944	10.890			
N° 200	0.075	0.230	0.069	0.702	0.168	4.000	1.680	97.500	3.900	5.817	3	8	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6. Curva granulométrica de los agregados con 4% de filler.



Fuente: Elaboración propia.

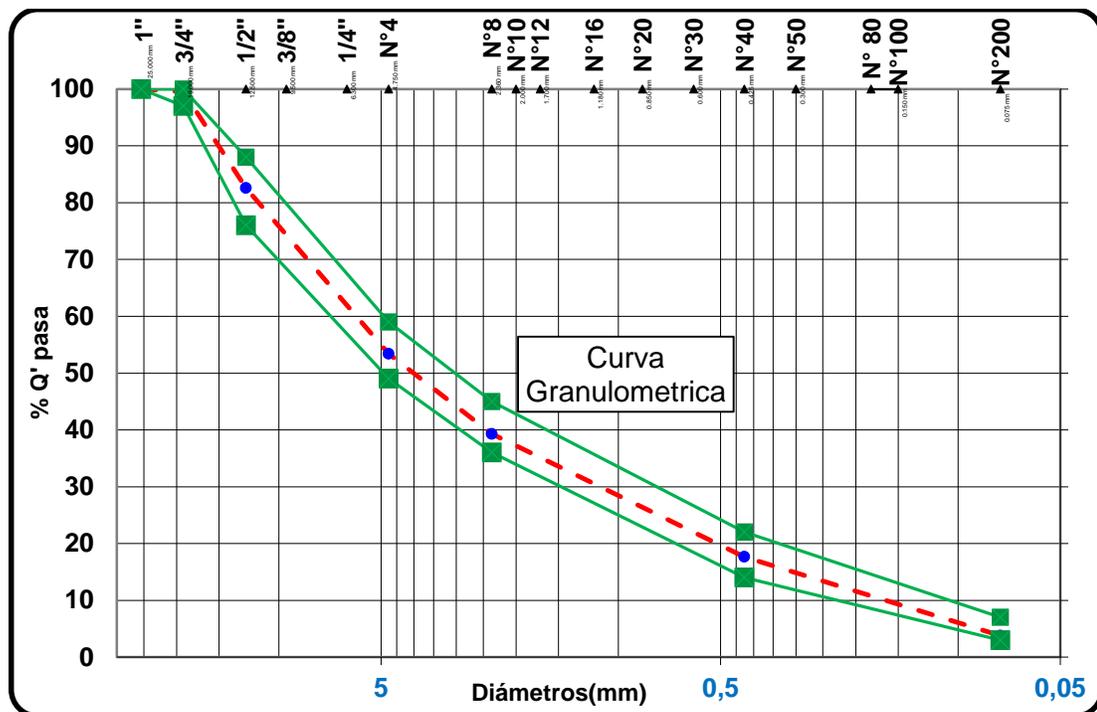
✓ Mezcla para el diseño modificado (filler: cal hidratada).

Tabla 3.11. Dosificación de los agregados con adición de 2% de cal hidratada.

AGREGADO		GRAVA-ERIKA		GRAVILLA-ERIKA		ARENA TRITURADA-ERIKA		FILLER CAL HIDRATADA		% QUE PASA	FAJA		
% Usado		30%		24%		44%		2%			Especificación gradación media	Inf.	Sup.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.				
Plg	mm.												
1"	25.400	100.000	30.000	100.000	24.000	100.000	44.000	100.000	2.000	100.000	100	100	
3/4"	19.100	98.474	29.542	100.000	24.000	100.000	44.000	100.000	2.000	99.542	97	100	
1/2"	12.500	42.717	12.815	99.065	23.775	100.000	44.000	100.000	2.000	82.591	76	88	
3/8"	9.500	13.932	4.180	96.913	23.259	100.000	44.000	100.000	2.000	73.439			
N° 4	4.750	0.374	0.112	30.683	7.364	99.813	43.918	100.000	2.000	53.394	49	59	
N° 8	2.360	0.345	0.104	1.497	0.359	83.713	36.834	100.000	2.000	39.296	36	45	
N° 16	1.180	0.317	0.095	1.123	0.269	61.825	27.203	100.000	2.000	29.567			
N° 40	0.425	0.288	0.086	0.795	0.191	34.963	15.384	99.085	1.982	17.642	14	22	
N° 80	0.180	0.259	0.078	0.748	0.180	15.925	7.007	94.686	1.894	9.158			
N° 200	0.075	0.230	0.069	0.702	0.168	4.000	1.760	89.721	1.794	3.792	3	8	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7. Curva granulométrica de los agregados con adición de 2% de cal hidratada.



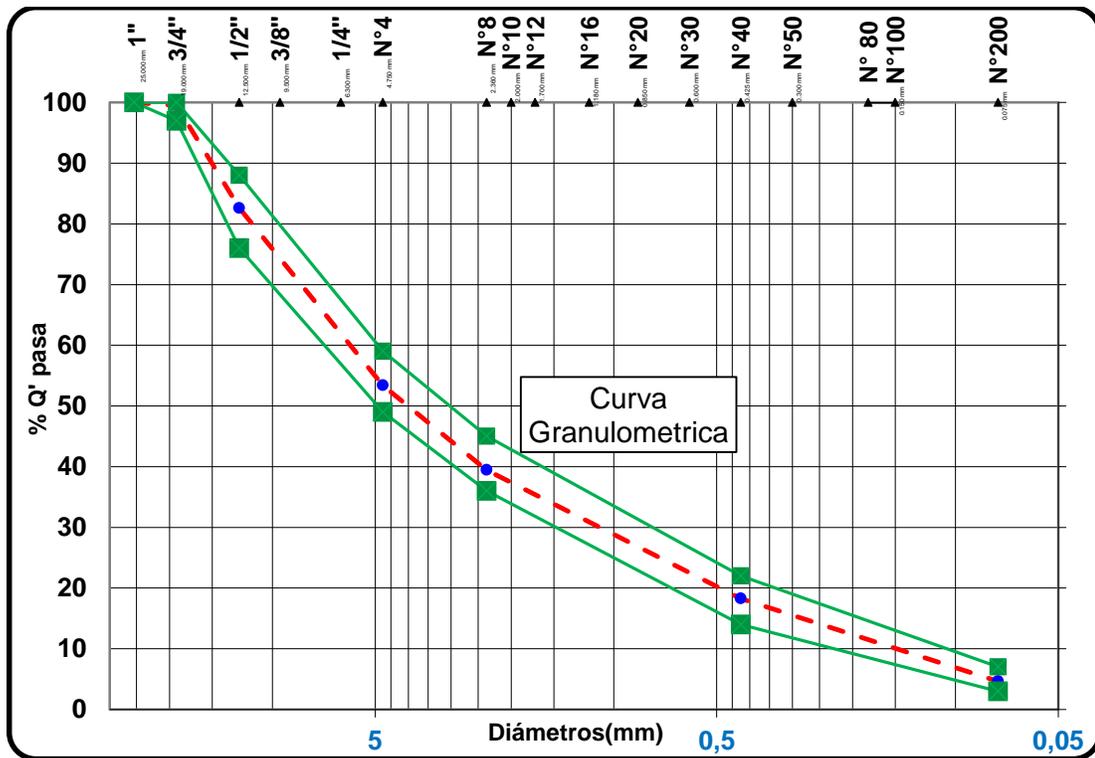
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.12. Dosificación de los agregados con adición de 3% de cal hidratada.

AGREGADO		GRAVA-ERIKA		GRAVILLA-ERIKA		ARENA TRITURADA-ERIKA		FILLER CAL HIDRATADA		% QUE PASA	FAJA	
% Usado		30%		24%		43%		3%			Especificación gradación media	Inf.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.			
Plg	mm.											
1"	25.400	100.000	30.000	100.000	24.000	100.000	43.000	100.000	3.000	100.000	100	100
3/4"	19.100	98.474	29.542	100.000	24.000	100.000	43.000	100.000	3.000	99.542	97	100
1/2"	12.500	42.717	12.815	99.065	23.775	100.000	43.000	100.000	3.000	82.591	76	88
3/8"	9.500	13.932	4.180	96.913	23.259	100.000	43.000	100.000	3.000	73.439		
Nº 4	4.750	0.374	0.112	30.683	7.364	99.813	42.919	100.000	3.000	53.396	49	59
Nº 8	2.360	0.345	0.104	1.497	0.359	83.713	35.996	100.000	3.000	39.459	36	45
Nº 16	1.180	0.317	0.095	1.123	0.269	61.825	26.585	100.000	3.000	29.949		
Nº 40	0.425	0.288	0.086	0.795	0.191	34.963	15.034	99.085	2.973	18.284	14	22
Nº 80	0.180	0.259	0.078	0.748	0.180	15.925	6.848	94.686	2.841	9.946		
Nº 200	0.075	0.230	0.069	0.702	0.168	4.000	1.720	89.721	2.692	4.649	3	8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8. Curva granulométrica de los agregados con adición de 3% de cal hidratada.



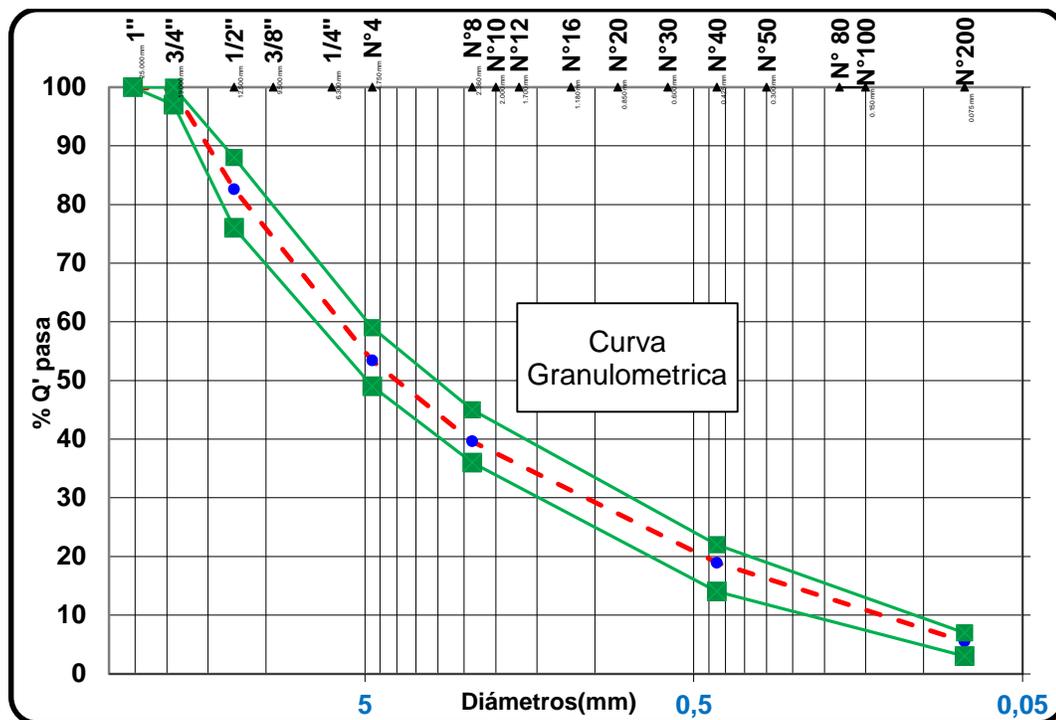
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.13. Dosificación de los agregados con adición de 4% de cal hidratada.

AGREGADO		GRAVA-ERIKA		GRAVILLA-ERIKA		ARENA TRITURADA-ERIKA		FILLER CAL HIDRATADA		% QUE PASA	FAJA		
% Usado		30%		24%		42%		4%			Especificación gradación media	Inf.	Sup.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.				
Plg	mm.												
1"	25.40	100.0	30.0	100.0	24.0	100.0	42.0	100.0	4.0	100.0	100	100	
3/4"	19.10	98.5	29.5	100.0	24.0	100.0	42.0	100.0	4.0	99.5	97	100	
1/2"	12.50	42.7	12.8	99.1	23.8	100.0	42.0	100.0	4.0	82.6	76	88	
3/8"	9.50	13.9	4.2	96.9	23.3	100.0	42.0	100.0	4.0	73.4			
N° 4	4.75	0.4	0.1	30.7	7.4	99.8	41.9	100.0	4.0	53.4	49	59	
N° 8	2.360	0.3	0.1	1.5	0.4	83.7	35.2	100.0	4.0	39.6	36	45	
N° 16	1.180	0.3	0.1	1.1	0.3	61.8	26.0	100.0	4.0	30.3			
N° 40	0.425	0.3	0.1	0.8	0.2	35.0	14.7	99.1	4.0	18.9	14	22	
N° 80	0.180	0.3	0.1	0.7	0.2	15.9	6.7	94.7	3.8	10.7			
N° 200	0.075	0.2	0.1	0.7	0.2	4.0	1.7	89.7	3.6	5.5	3	8	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.9. Curva granulométrica de los agregados con adición de 4% de cal hidratada.



Fuente: Elaboración propia.

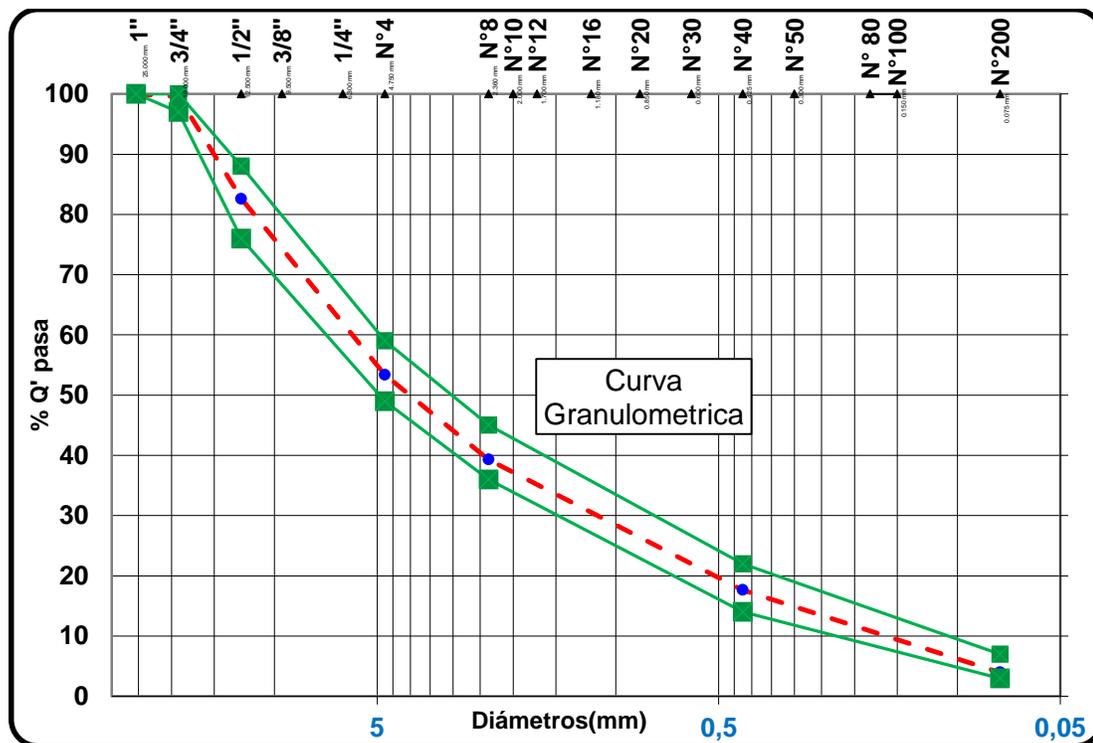
✓ Mezcla para el diseño modificado (filler: cemento portland).

Tabla 3.14. Dosificación de los agregados con 2% de adición de cemento portland

AGREGADO		GRAVA-ERIKA		GRAVILLA-ERIKA		ARENA TRITURADA-ERIKA		FILLER CEMENTO PORTLAND		% QUE PASA	FAJA	
% Usado		30%		24%		44%		2%			Especificación gradación media	
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.		Inf.	Sup.
Plg	mm.											
1"	25.400	100.000	30.000	100.000	24.000	100.000	44.000	100.000	2.000	100.000	100	100
3/4"	19.100	98.474	29.542	100.000	24.000	100.000	44.000	100.000	2.000	99.542	97	100
1/2"	12.500	42.717	12.815	99.065	23.775	100.000	44.000	100.000	2.000	82.591	76	88
3/8"	9.500	13.932	4.180	96.913	23.259	100.000	44.000	100.000	2.000	73.439		
N° 4	4.750	0.374	0.112	30.683	7.364	99.813	43.918	100.000	2.000	53.394	49	59
N° 8	2.360	0.345	0.104	1.497	0.359	83.713	36.834	100.000	2.000	39.296	36	45
N° 16	1.180	0.317	0.095	1.123	0.269	61.825	27.203	100.000	2.000	29.567		
N° 40	0.425	0.288	0.086	0.795	0.191	34.963	15.384	100.000	2.000	17.661	14	22
N° 80	0.180	0.259	0.078	0.748	0.180	15.925	7.007	100.000	2.000	9.264		
N° 200	0.075	0.230	0.069	0.702	0.168	4.000	1.760	98.467	1.969	3.967	3	8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.10. Curva granulométrica de los agregados con 2% de adición de cemento portland.



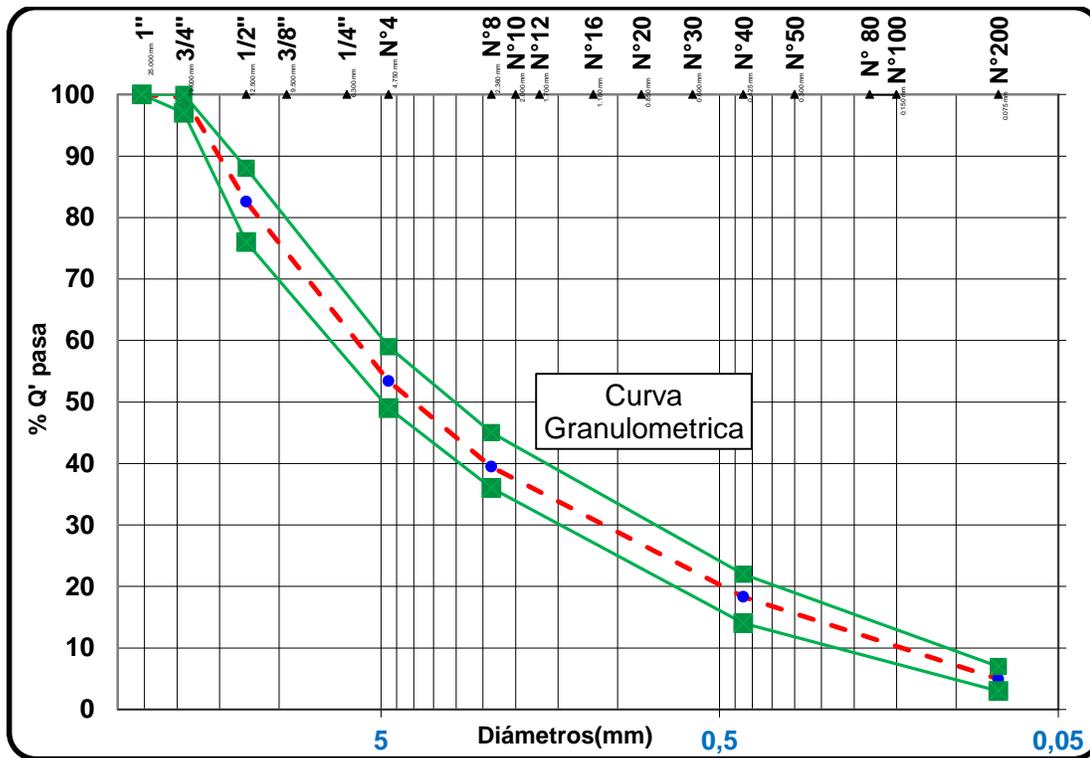
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.15. Dosificación de los agregados con 3% de adición de cemento portland.

AGREGADO		GRAVA-ERIKA		GRAVILLA-ERIKA		ARENA TRITURADA-ERIKA		FILLER CEMENTO PORTLAND		% QUE PASA	FAJA		
% Usado		30%		24%		43%		3%			Especificación gradación media	Inf.	Sup.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.				
Plg	mm.												
1"	25.400	100.000	30.000	100.000	24.000	100.000	43.000	100.000	3.000	100.000	100	100	
3/4"	19.100	98.474	29.542	100.000	24.000	100.000	43.000	100.000	3.000	99.542	97	100	
1/2"	12.500	42.717	12.815	99.065	23.775	100.000	43.000	100.000	3.000	82.591	76	88	
3/8"	9.500	13.932	4.180	96.913	23.259	100.000	43.000	100.000	3.000	73.439			
N° 4	4.750	0.374	0.112	30.683	7.364	99.813	42.919	100.000	3.000	53.396	49	59	
N° 8	2.360	0.345	0.104	1.497	0.359	83.713	35.996	100.000	3.000	39.459	36	45	
N° 16	1.180	0.317	0.095	1.123	0.269	61.825	26.585	100.000	3.000	29.949			
N° 40	0.425	0.288	0.086	0.795	0.191	34.963	15.034	100.000	3.000	18.311	14	22	
N° 80	0.180	0.259	0.078	0.748	0.180	15.925	6.848	100.000	3.000	10.105			
N° 200	0.075	0.230	0.069	0.702	0.168	4.000	1.720	98.467	2.954	4.911	3	8	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.11. Curva granulométrica de los agregados con 3% de adición de cemento portland.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.16. Dosificación de los agregados con 4% de adición de cemento portland.

AGREGADO		GRAVA-ERIKA		GRAVILLA-ERIKA		ARENA TRITURADA-ERIKA		FILLER CEMENTO PORTLAND		% QUE PASA	FAJA		
% Usado		30%		24%		42%		4%			Especificación gradación media	Inf.	Sup.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.				
Plg	mm.												
1"	25.400	100.000	30.000	100.000	24.000	100.000	42.000	100.000	4.000	100.000	100	100	
3/4"	19.100	98.474	29.542	100.000	24.000	100.000	42.000	100.000	4.000	99.542	97	100	
1/2"	12.500	42.717	12.815	99.065	23.775	100.000	42.000	100.000	4.000	82.591	76	88	
3/8"	9.500	13.932	4.180	96.913	23.259	100.000	42.000	100.000	4.000	73.439			
N° 4	4.750	0.374	0.112	30.683	7.364	99.813	41.921	100.000	4.000	53.397	49	59	
N° 8	2.360	0.345	0.104	1.497	0.359	83.713	35.159	100.000	4.000	39.622	36	45	
N° 16	1.180	0.317	0.095	1.123	0.269	61.825	25.967	100.000	4.000	30.331			
N° 40	0.425	0.288	0.086	0.795	0.191	34.963	14.684	100.000	4.000	18.961	14	22	
N° 80	0.180	0.259	0.078	0.748	0.180	15.925	6.689	100.000	4.000	10.946			
N° 200	0.075	0.230	0.069	0.702	0.168	4.000	1.680	98.467	3.939	5.856	3	8	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.12. Curva granulométrica de los agregados con 4% de adición de cemento portland.

✓ **Agregado fino (AASHTO T84).**

Tabla 3.18. Densidad real, densidad neta y absorción de agua del agregado fino para la mezcla asfáltica normal.

DETERMINACIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	Promedio	
Picnómetro	1.000	2.000	3.000		
Temperatura (°C)	25.000	25.000	25.000		
A (Peso en el aire de la muestra seca) (gr)	494.200	494.000	494.200		
B (Peso muestra saturada con superficie seca) (gr)	500.000	500.000	500.000		
X (Peso del picnómetro + agua + muestra) (gr)	981.500	982.000	981.800		
J (Peso del picnómetro + agua) (gr)	667.900	667.900	668.000		
E = X - J	313.600	314.100	313.800		
F = B - A	5.800	6.000	5.800		
H = A - E	180.600	179.900	180.400		
I = B - E	186.400	185.900	186.200		
"DN" Densidad neta (gr/cm ³)	2.736	2.746	2.739		2.741
"DRS" Densidad real del árido seco (gr/cm ³)	2.651	2.657	2.654		2.654
"DRT" Densidad real del árido S.S.S (gr/cm ³)	2.682	2.690	2.685		2.686
(%) Porcentaje de absorción (%)	0.012	0.012	0.012	1.187	
				2.697	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.19. Densidad real, densidad neta y absorción de agua del agregado fino para la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada.

DETERMINACIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	Promedio	
Picnómetro	1.000	2.000	3.000		
Temperatura (°C)	25.000	25.000	25.000		
A (Peso en el aire de la muestra seca) (gr)	488.300	488.700	488.600		
B (Peso muestra saturada con superficie seca) (gr)	500.000	500.000	500.000		
X (Peso del picnómetro + agua + muestra) (gr)	976.500	976.000	976.200		
J (Peso del picnómetro + agua) (gr)	668.900	668.700	668.700		
E = X - J	307.600	307.300	307.500		
F = B - A	11.700	11.300	11.400		
H = A - E	180.700	181.400	181.100		
I = B - E	192.400	192.700	192.500		
"DN" Densidad neta (gr/cm ³)	2.702	2.694	2.698		2.698
"DRS" Densidad real del árido seco (gr/cm ³)	2.538	2.536	2.538		2.537
"DRT" Densidad real del árido S.S.S (gr/cm ³)	2.599	2.595	2.597		2.597
(%) Porcentaje de absorción (%)	2.396%	2.312%	2.333%	2.347	
				2.618	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.20. Densidad real, densidad neta y absorción de agua del agregado fino para la mezcla asfáltica con adición de cemento portland.

DETERMINACIÓN	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3		
Picnómetro	1.000	2.000	3.000		
Temperatura (°C)	25.000	25.000	25.000		
A (Peso en el aire de la muestra seca) (gr)	494.900	494.700	494.800	Promedio	
B (Peso muestra saturada con superficie seca) (gr)	500.000	500.000	500.000		
X (Peso del picnómetro + agua + muestra) (gr)	983.200	983.700	983.400		
J (Peso del picnómetro + agua) (gr)	668.900	668.900	668.700		
E = X - J	314.300	314.800	314.700		
F = B - A	5.100	5.300	5.200		
H = A - E	180.600	179.900	180.100		
I = B - E	185.700	185.200	185.300		
"DN" Densidad neta (gr/cm ³)	2.740	2.750	2.747		2.746
"DRS" Densidad real del árido seco (gr/cm ³)	2.665	2.671	2.670		2.669
"DRT" Densidad real del árido S.S.S (gr/cm ³)	2.693	2.700	2.698	2.697	
(%) Porcentaje de absorción (%)	1.031%	1.071%	1.051%	1.051	
				2.707	

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Equivalente de arena (ASTM D 2419 – AASHTO T 176)

✓ Equivalente de arena para el diseño normal.

Tabla 3.21. Equivalente de arena para el diseño normal.

MATERIAL PASANTE TAMIZ N°4	
Determinaciones	Muestra N°1
Lectura nivel superior suspensión	A = 89.000
Lectura nivel superior sedimento	B = 40.000
Equivalente de arena	B ----- X 100 = 44.944% A
Determinaciones	Muestra N°2
Lectura nivel superior suspensión	A = 89.000
Lectura nivel superior sedimento	B = 41.000
Equivalente de arena	B ----- X 100 = 46.067% A
Determinaciones	Muestra N°3
Lectura nivel superior suspensión	A = 93.000
Lectura nivel superior sedimento	B = 42.000
Equivalente de arena	B ----- X 100 = 45.161% A
RESUMEN	
Muestra N°1	44.944%
Muestra N°2	46.067%
Muestra N°3	45.161%
Equivalente de arena promedio	45.391%

Fuente: Elaboración propia.

✓ Equivalente de arena para el diseño con adición de cal hidratada.

Tabla 3.22. Equivalente de arena para el diseño con adición de cal hidratada.

MATERIAL PASANTE TAMIZ N°4	
Determinaciones	Muestra N°1
Lectura nivel superior suspensión	A = 60.000
Lectura nivel superior sedimento	B = 40.000
Equivalente de arena	$\frac{B}{A} \times 100 = 66.667\%$
Determinaciones	Muestra N°2
Lectura nivel superior suspensión	A = 62.000
Lectura nivel superior sedimento	B = 38.000
Equivalente de arena	$\frac{B}{A} \times 100 = 61.290\%$
Determinaciones	Muestra N°3
Lectura nivel superior suspensión	A = 62.000
Lectura nivel superior sedimento	B = 39.000
Equivalente de arena	$\frac{B}{A} \times 100 = 62.903\%$
RESUMEN	
Muestra N°1	66.667%
Muestra N°2	61.290%
Muestra N°3	62.903%
Equivalente de arena promedio	63.620%

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Equivalente de arena para el diseño con adición de cemento portland.**

Tabla 3.23. Equivalente de arena para el diseño con adición de cemento portland.

MATERIAL PASANTE TAMIZ N°4	
Determinaciones	Muestra N°1
Lectura nivel superior suspensión	A = 79.000
Lectura nivel superior sedimento	B = 45.000
Equivalente de arena	$\frac{B}{A} \times 100 = 56.962\%$
Determinaciones	Muestra N°2
Lectura nivel superior suspensión	A = 75.000
Lectura nivel superior sedimento	B = 42.000
Equivalente de arena	$\frac{B}{A} \times 100 = 56.000\%$
Determinaciones	Muestra N°3
Lectura nivel superior suspensión	A = 72.000
Lectura nivel superior sedimento	B = 40.000
Equivalente de arena	$\frac{B}{A} \times 100 = 55.556\%$
RESUMEN	
Muestra N°1	56.962%
Muestra N°2	56.000%
Muestra N°3	55.556%
Equivalente de arena promedio	56.173%

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E 131 – AASHTO T 96)

✓ Agregado de 3/4”.

Tabla 3.24. Desgaste mediante la máquina los Ángeles del agregado de 3/4”.

DESGASTE LOS ÁNGELES (GRAVA)		
Gradación B		
Carga abrasiva con 11 esferas a 32.5 rpm, 500 revoluciones		
Porciones de muestra (gr)		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada (gr)
3/4	1/2	2.500
1/2	3/8	2.500
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm)		3.722
Diferencia		1.278
Calculo		
$Desgaste = \frac{Diferencia}{5000} * 100$		25.560%

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Agregado de 3/8”.**

Tabla 3.25. Desgaste mediante la maquina los Ángeles del agregado de 3/8”.

DESGASTE LOS ÁNGELES (GRAVILLA)		
Gradación C		
Carga abrasiva con 8 esferas a 32.5 rpm, 500 revoluciones		
Porciones de muestra (gr)		
Pasado	Retenido	Cantidad tomada (gr)
3/8	1/4	2.500
1/4	N° 4	2.500
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm)		3.615
Diferencia		1.385
Calculo		
$Desgaste = \frac{Diferencia}{5000} * 100$		27.700%

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Desintegración sulfato de sodio (ASTM E 88 – AASHTO T 104)

Tabla 3.26. Desintegración sulfato de sodio del agregado pétreo.

AGREGADO GRUESO									
Granulometría				Peso Materiales		Perdida por diferencia (gr)	% Pasa al tamiz mas fino	% Perdida respecto al tamiz	% Perdida respecto a la muestra total
Tamiz N°	Tamiz Pasa	Tamiz Ret.	Material (gr)	Antes del ensayo (gr)	Después del ensayo (gr)				
1"	1"	3/4"	99.500	756.000	745.000	11.000	16.900	1.455	0.246
3/4"	3/4"	1/2"	82.600	500.200	495.600	4.600	9.200	0.920	0.085
1/2"	1/2"	3/8"	73.400	300.000	294.300	5.700	20.000	1.900	0.380
3/8"	3/8"	N° 4	53.400	300.000	296.500	3.500	13.400	1.167	0.156
N° 4	N° 4	N° 8	40.000	0.000	0.000	0.000	40.000	0.000	0.000
% Total de perdida de peso									0.867
Máximo									12.000

AGREGADO FINO									
Granulometría				Peso Materiales		Perdida por diferencia (gr)	% Pasa al tamiz mas fino	% Perdida respecto al tamiz	% Perdida respecto a la muestra total
Tamiz N°	Tamiz Pasa	Tamiz Ret.	Material	Antes del ensayo (gr)	Después del ensayo (gr)				
3/8"	3/8"	N° 4							
N° 4	N° 4	N° 8	40.000	100.000	99.300	0.700	40.000	0.700	0.280
N° 8	N° 8	N° 16	31.500	100.000	98.500	1.500	31.500	1.500	0.473
N° 16	N° 16	N° 40	19.000	100.000	99.500	0.500	19.000	0.500	0.095
N° 40	N° 40	N° 100	11.400	100.000	98.200	1.800	11.400	1.800	0.205
N° 100	N° 100	0		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
% Total de perdida de peso									1.053
Máximo									12.000
Cinco Ciclos									
% Perdida total									1.920

Fuente: Elaboración propia.

3.2.6. Caras fracturadas en los áridos (ASTM D 5821)

Tabla 3.27. Caras fracturadas del agregado pétreo.

DETERMINACIONES	MUESTRA
Muestra total (ret tamiz N° 4)	a = 1000.000 gr.
Material triturado	b = 786.000 gr.
Material natural	c = 214.000 gr.
Material caras fracturadas %	d = 78.600%
Material natural %	d = 21.400%
Especificaciones	> 75

Fuente: Elaboración propia.

3.2.7. Límites de plasticidad (AASHTO T 90)

Tabla 3.28. Límites de plasticidad para el diseño de la mezcla asfáltica normal.

LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89							
N° tara	Peso suelo hum.+tara	Peso suelo seco+tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% de hum.	N° de golpes
5	41.100	38.010	3.090	22.170	15.840	19.508	6
22	45.430	41.670	3.760	22.170	19.500	19.282	8
3	42.830	39.460	3.370	22.180	17.280	19.502	7
Límite Líquido	18.452		Límite Plástico		N.P.	IP	0.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.29. Límites de plasticidad para el diseño de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada.

LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89							
N° tara	Peso suelo hum.+tara	Peso suelo seco+tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% de hum.	N° de golpes
29	46.390	41.990	4.400	22.180	19.810	22.211	5
33	44.710	40.800	3.910	22.190	18.610	21.010	8
25	45.280	41.180	4.100	22.190	18.990	21.590	6
Límite Líquido	18.115		Límite Plástico		N.P.	IP	0.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.30. Límites de plasticidad para el diseño de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland.

LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89							
N° tara	Peso suelo hum.+tara	Peso suelo seco+tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% de hum.	N° de golpes
39	46.560	42.830	3.730	22.160	20.670	18.045	4
6	44.350	40.990	3.360	22.180	18.810	17.863	5
14	46.390	42.740	3.650	22.170	20.570	17.744	6
Límite Líquido	16.674		Límite Plástico		N.P.	IP	0.000

Fuente: Elaboración propia.

3.2.8. Resultados de la caracterización

Tabla 3.31. Resultados finales de la caracterización de los agregados para la mezcla asfáltica normal.

ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA NORMAL				
N°	Parámetro	Norma	Valor	Resultado
1	Densidad del agregado grueso (gr/cm ³)	AASHTO T 85		2.675
2	Densidad del agregado fino (gr/cm ³)	AASHTO T 84		2.697
3	Equivalente de arena (%)	AASHTO T 176	45 % min	45.400
4	Abrasión de los Ángeles (%)	AASHTO T 96	40 % max	25.560
5	Durabilidad, sulfato de sodio (%)	AASHTO T 104	12 % max	1.920
6	Caras fracturadas (%)	ASTM D 5821	75 % min	78.600
7	Límites de plasticidad	AASHTO T 90	4 % max	NP

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.32. Resultados finales de la caracterización de los agregados para la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada.

ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE CAL HIDRATADA				
N°	Parámetro	Norma	Valor	Resultado
1	Densidad del agregado grueso (gr/cm ³)	AASHTO T 85		2.675
2	Densidad del agregado fino (gr/cm ³)	AASHTO T 84		2.618
3	Equivalente de arena (%)	AASHTO T 176	45 % min	63.600
4	Abrasión de los angeles (%)	AASHTO T 96	40 % max	25.560
5	Durabilidad, sulfato de sodio (%)	AASHTO T 104	12 % max	1.920
6	Caras fracturadas (%)	ASTM D 5821	75 % min	78.600
7	Límites de plasticidad	AASHTO T 90	4 % max	NP

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.33. Resultados finales de la caracterización de los agregados para la mezcla asfáltica con adición de cemento portland.

ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLA ASFALTICA CON ADICION DE CEMENTO PORTLAND				
N°	Parametro	Norma	Valor	Resultado
1	Densidad del agregado grueso (gr/cm ³)	AASHTO T 85		2.675
2	Densidad del agregado fino (gr/cm ³)	AASHTO T 84		2.707
3	Equivalente de arena (%)	AASHTO T 176	45 % min	56.200
4	Abrasion de los angeles (%)	AASHTO T 96	40 % max	25.560
5	Durabilidad, sulfato de sodio (%)	AASHTO T 104	12 % max	1.920
6	Caras fracturadas (%)	ASTM D 5821	75 % min	78.600
7	Limites de plasticidad	AASHTO T 90	4 % max	NP

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en las planillas de resultados finales, los materiales empleados para la presente investigación cumplen con las especificaciones propuestas por la norma.

3.3. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Tabla 3.34. Resultados de la caracterización del cemento asfáltico.

ENSAYO	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Promedio	Especificaciones	
					Mínimo	Máximo
Peso picnómetro	gr	34.790	34.790			
Peso picnómetro + agua (25°C)	gr	67.810	67.810			
Peso picnómetro + muestra	gr	43.120	48.550			
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	67.940	67.980			
Peso específico	gr/cm ³	1.013	1.010	1.011		
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	>256	>264	>260	>232	
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	114	119	117	75	
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	mm.	85.000	93.000		
	Lectura N°2	mm.	88.000	90.000		
	Lectura N°3	mm.	92.000	87.000		
	Promedio	mm.	88.333	90.000	89.167	85.000
Viscosidad saybolt 135 °C AASHTO T-72	seg.	146.000	143.000	144.500		

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DISEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

4.1.1. NÚMERO DE ENSAYOS

4.1.1.1. Número de ensayos para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico

Para hacer una comparación del comportamiento mecánico de las propiedades de las mezclas asfálticas, se realizara un total de 10 diseños, de los cuales cuatro díselos serán empleando polvo de roca, tres con adición de cal hidratada y otros tres utilizando cemento portland, haciendo un total de 10 diseños.

Para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico empleando el método de diseño Marshall, se consideró realizar un total de 15 especímenes (briquetas) para cada diseño, donde se hará variar en un 0.5 % en peso del cemento asfáltico. De acuerdo con lo establecido anteriormente, el número total de briquetas será de 150.

4.1.2. DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA NORMAL

4.1.2.1. Dosificación de los especímenes (briquetas)

Para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de 15 especímenes (briquetas) mediante el método Marshall, se prepararan 5 grupos de briquetas con diferentes contenidos de cemento asfáltico, se hace variar un 0.5% del peso del cemento asfáltico para la mezcla de agregados de forma que las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido.

Para la dosificación de las briquetas se utiliza la granulometría ya establecida anteriormente para los diferentes diseños.

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

Tabla 4.1. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica normal con 0% de filler

TAMIZ	% Pasa	% Retenid	% Ret. Tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				P. Parcial	P. Acum								
1"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/4"	99.542	0.458	0.458	5.245	5.245	5.218	5.218	5.190	5.190	5.163	5.163	5.135	5.135
1/2"	82.591	17.409	16.952	194.266	199.511	193.249	198.466	192.231	197.422	191.214	196.377	190.197	195.332
3/8"	73.439	26.561	9.152	104.881	304.392	104.332	302.798	103.783	301.205	103.234	299.611	102.685	298.017
N°4	53.390	46.610	20.049	229.760	534.152	228.557	531.355	227.354	528.558	226.151	525.762	224.948	522.965
N°10	38.971	61.029	14.419	165.245	699.397	164.380	695.735	163.515	692.073	162.650	688.412	161.785	684.750
N°16	28.804	71.196	10.167	116.510	815.907	115.900	811.636	115.290	807.364	114.680	803.092	114.070	798.820
N°40	16.360	83.640	12.444	142.608	958.515	141.861	953.497	141.115	948.478	140.368	943.460	139.621	938.441
N°80	7.583	92.417	8.777	100.586	1059.101	100.059	1053.556	99.532	1048.011	99.006	1042.466	98.479	1036.921
N°200	2.077	97.923	5.505	63.091	1122.192	62.761	1116.317	62.431	1110.442	62.100	1104.566	61.770	1098.691
Filler	0.000	100.000	2.077	23.808	1146.000	23.683	1140.000	23.558	1134.000	23.434	1128.000	23.309	1122.000
Peso total (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	

Peso muestra (gr)	1146.000	1140.000	1134.000	1128.000	1122.000
Peso asfalto (gr)	54.000	60.000	66.000	72.000	78.000
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica normal con 2% de polvo de roca

TAMIZ	% Pasa	% Retenid	% Ret. Tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				P. parcial	P. acum								
1"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/4"	99.542	0.458	0.458	5.245	5.245	5.218	5.218	5.190	5.190	5.163	5.163	5.135	5.135
1/2"	82.591	17.409	16.952	194.266	199.511	193.249	198.466	192.231	197.422	191.214	196.377	190.197	195.332
3/8"	73.439	26.561	9.152	104.881	304.392	104.332	302.798	103.783	301.205	103.234	299.611	102.685	298.017
N°4	53.394	46.606	20.045	229.717	534.109	228.514	531.312	227.311	528.516	226.109	525.720	224.906	522.923
N°10	39.296	60.704	14.097	161.555	695.664	160.709	692.022	159.864	688.379	159.018	684.737	158.172	681.095
N°16	29.567	70.433	9.729	111.494	807.158	110.910	802.932	110.326	798.706	109.742	794.480	109.159	790.254
N°40	17.651	82.349	11.917	136.566	943.723	135.851	938.782	135.136	933.841	134.421	928.900	133.706	923.959
N°80	9.236	90.764	8.414	96.429	1040.152	95.924	1034.706	95.419	1029.260	94.914	1023.814	94.409	1018.368
N°200	3.947	96.053	5.289	60.610	1100.762	60.293	1094.999	59.976	1089.236	59.658	1083.473	59.341	1077.709
Filler	0.000	100.000	3.947	45.238	1146.000	45.001	1140.000	44.764	1134.000	44.527	1128.000	44.291	1122.000
Peso total (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	

Peso muestra (gr)	1146.000	1140.000	1134.000	1128.000	1122.000
Peso asfalto (gr)	54.000	60.000	66.000	72.000	78.000
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica normal con 3% de polvo de roca

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				P. parcial	P. acum								
1 1/2"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/4"	99.542	0.458	0.458	5.245	5.245	5.218	5.218	5.190	5.190	5.163	5.163	5.135	5.135
1/2"	82.591	17.409	16.952	194.266	199.511	193.249	198.466	192.231	197.422	191.214	196.377	190.197	195.332
3/8"	73.439	26.561	9.152	104.881	304.392	104.332	302.798	103.783	301.205	103.234	299.611	102.685	298.017
Nº4	53.396	46.604	20.043	229.695	534.087	228.493	531.291	227.290	528.495	226.087	525.698	224.885	522.902
Nº10	39.459	60.541	13.936	159.710	693.797	158.874	690.165	158.038	686.532	157.202	682.900	156.365	679.268
Nº16	29.949	70.051	9.510	108.985	802.783	108.415	798.580	107.844	794.377	107.274	790.174	106.703	785.971
Nº40	18.296	81.704	11.653	133.544	936.327	132.845	931.425	132.146	926.523	131.447	921.620	130.748	916.718
Nº80	10.063	89.937	8.233	94.350	1030.677	93.856	1025.281	93.362	1019.885	92.868	1014.488	92.374	1009.092
Nº200	4.882	95.118	5.181	59.370	1090.047	59.059	1084.340	58.748	1078.633	58.437	1072.926	58.126	1067.219
Filler	0.000	100.000	4.882	55.953	1146.000	55.660	1140.000	55.367	1134.000	55.074	1128.000	54.781	1122.000
Peso total (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso muestra (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso asfalto (gr)				54.000		60.000		66.000		72.000		78.000	
Peso total material + cemento asfáltico (gr)				1200.000		1200.000		1200.000		1200.000		1200.000	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica normal con 4% de polvo de roca

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				P. Parcial	P. Acum								
1"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/4"	99.542	0.458	0.458	5.245	5.245	5.218	5.218	5.190	5.190	5.163	5.163	5.135	5.135
1/2"	82.591	17.409	16.952	194.266	199.511	193.249	198.466	192.231	197.422	191.214	196.377	190.197	195.332
3/8"	73.439	26.561	9.152	104.881	304.392	104.332	302.798	103.783	301.205	103.234	299.611	102.685	298.017
Nº4	53.397	46.603	20.041	229.674	534.066	228.471	531.270	227.269	528.473	226.066	525.677	224.864	522.881
Nº10	39.622	60.378	13.775	157.865	691.931	157.039	688.308	156.212	684.685	155.386	681.063	154.559	677.440
Nº16	30.331	69.669	9.291	106.477	798.408	105.920	794.228	105.362	790.048	104.805	785.867	104.247	781.687
Nº40	18.941	81.059	11.389	130.523	928.931	129.840	924.068	129.157	919.204	128.473	914.341	127.790	909.477
Nº80	10.890	89.110	8.052	92.271	1021.203	91.788	1015.856	91.305	1010.509	90.822	1005.163	90.339	999.816
Nº200	5.817	94.183	5.072	58.129	1079.332	57.825	1073.681	57.521	1068.030	57.216	1062.379	56.912	1056.728
Filler	0.000	100.000	5.817	66.668	1146.000	66.319	1140.000	65.970	1134.000	65.621	1128.000	65.272	1122.000
Peso total (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso muestra (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso asfalto (gr)				54.000		60.000		66.000		72.000		78.000	
Peso total material + cemento asfáltico (gr)				1200.000		1200.000		1200.000		1200.000		1200.000	

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.

4.1.2.2. Cálculos y 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.

Se realizara un cálculo demostrativo para el diseño normal con 3% de polvo de roca.

✓ **Identificación.**

Las briquetas 1, 2 y 3 serán las que analizaremos para la demostración.

✓ **Altura de la briketa.**

Identificación	Altura (cm)
1	6.3
2	6.22
3	6.33

✓ **Porcentaje d asfalto.**

Base de la mezcla: Se toma el valor del porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas.

$$Base\ del\ agregado = \frac{Base\ de\ la\ mezcla * 100}{100 - Base\ de\ la\ mezcla}$$

$$Base\ del\ agregado = \frac{4.50 * 100}{100 - 4.50}$$

$$Base\ del\ agregado = 4.71$$

✓ **Peso de la briketa al aire.**

Identificación	Peso (gr)
1	1185.2
2	1192.5
3	1189.2

✓ **Peso de la briqueta en el aire saturada superficialmente seco (SSS).**

El peso de la briqueta SSS se lo mide saturando la briqueta en el agua durante 30 min. a 25°C y secándola superficialmente.

Identificación	Peso S.S.S. (gr)
1	1187.2
2	1194.1
3	1192.6

✓ **Peso de la briqueta sumergida en agua.**

El peso sumergido se lo mide cuando se sumerge la briqueta en el agua a 25°C.

Identificación	Peso sumergido (gr)
1	677
2	683.2
3	682

✓ **Volumen de la briqueta.**

$$\text{Vol. briqueta} = \text{Peso S.S.S.} - \text{Peso sumergido}$$

$$\text{Vol. briqueta} = 1187.2 - 677$$

$$\text{Vol. briqueta} = 510.2 \text{ cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta identificada como "1".

✓ **Densidad de la briqueta.**

➤ Densidad real.

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{Peso briqueta en aire}}{\text{Volumen de briqueta}}$$

$$\text{Densidad real} = \frac{1185.2}{510.2}$$

$$\text{Densidad real} = 2.323 \text{ kg/cm}^3$$

➤ Densidad máxima teórica de la briqueta.

$$D_{maxT} = \frac{100}{\left(\frac{\%asfalto}{Peso\ esp\ asf}\right) + \left(\frac{100 - \%asf}{Peso\ esp\ agr\ grueso}\right)}$$

$$D_{maxT} = \frac{100}{\left(\frac{4.5}{1.011}\right) + \left(\frac{100 - 4.5}{2.687}\right)}$$

$$D_{maxT} = 2.501\text{kg/cm}^3$$

✓ **Porcentaje de vacíos.**

➤ **Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv).**

$$Vv = \left(\frac{D_{maxT} - Dens\ prom}{D_{maxT}}\right) * 100$$

$$Vv = \left(\frac{2.501 - 2.329}{2.501}\right) * 100$$

$$Vv = 6.88\%$$

➤ **Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM).**

$$VAM = \left(\frac{\% de\ asf * Dens\ prom}{Peso\ esp\ del\ asf}\right) + Vv$$

$$VAM = \left(\frac{4.5 * 2.323}{1.011}\right) + 6.88\%$$

$$VAM = 17.24\%$$

➤ **Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV).**

$$RBV = \left(\frac{VAM - Vv}{VAM}\right) * 100$$

$$RBV = \left(\frac{17.24 - 6.88}{17.24}\right) * 100$$

$$RBV = 60.12\%$$

✓ **Estabilidad y fluencia.**

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad	Fluencia
1	88.000	8.000
2	90.000	8.500
3	96.000	9.500

Se debe realizar la corrección con la fórmula de calibración de la prensa Marshall.

➤ **Estabilidad.**

$$\text{Estabilidad Real} = (\text{Lectura dial} * 11.19) * 2.2046$$

$$\text{Estabilidad Real} = (88 * 11.19) * 2.2046$$

$$\text{Estabilidad Real} = 2170.9 \text{ Lb}$$

Resumen.

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad	Estabilidad real (Lb)
1	88	2170.900
2	90	2220.300
3	96	2368.300
Promedio		2253.167

➤ **Corrección por altura.**

El factor de corrección por la altura para las briquetas se lo realiza con la tabla que se encuentra en anexos.

Identificación	Factor de corrección
1	1.013
2	1.035
3	1.005
Promedio	1.018

*Estabilidad corregida = Estabilidad real prom * Factor de correccion*

$$Estabilidad\ corregida = 2253.2 * 1.018$$

$$Estabilidad\ corregida = 2293.7Lb$$

➤ **Fluencia.**

Identificación	Fluencia 1/100"
1	8.000
2	8.500
3	9.500
Promedio	8.667

Nota: de igual manera se realiza los cálculos para los demás datos, a continuación se presenta una planilla de resultados general.

Tabla 4.5. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica normal con 0% de polvo de roca.

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: PROYECTO DE GRADO **POLVO DE ROCA 0%**

Pesos Específicos (AASHTO T-100 , T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION		GRAVA	GRAVILLA	ARENA CHANCADA	FILLER - POLVO DE ROCA
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2.675	gr/cm ³	46.6	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100	% DE AGREGADOS :		3/4"	3/8"	N°4	N°200
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2.640	gr/cm ³	53.4	P. Especifico Total AASHTO T-228	1.011	ORIGEN A GREGADOS :		30%	24%	46%	0%
P. Esp. Agregado Total (Gag):	2.656	gr/cm ³	100			Material de Acopio Planta de Asfaltos - ERIKA S.R.L.					
N° GOLPES:		75		130 °C Compactación							

IDENTIFICACION	ALFURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA					
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dr.)	PROMEDIO (D _{rm})	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.				CORREGIDA				
																							mm	mm	mm	mm
																							a	b	c	d
1	6.42	4.71	4.50	1192.5	1195.2	670.0	525.2	2.271					86	2121.6		0.983			6	6.0						
2	6.38	4.71	4.50	1193.5	1195.5	672.0	523.5	2.280					90	2220.3		0.993			6	5.5						
3	6.35	4.71	4.50	1188.0	1189.9	671.2	518.7	2.290	2.280	2.475	7.87	18.02	56.33	92	2269.6	2203.8	1.000	0.992	2186.2	5	5.0	5.50				
4	6.35	5.26	5.00	1186.9	1189.5	676.8	512.7	2.315					82	2022.9		1.000			8	7.5						
5	6.30	5.26	5.00	1192.5	1193.6	675.2	518.4	2.300					96	2368.3		1.013			8	8.0						
6	6.35	5.26	5.00	1190.0	1193.0	677.1	515.9	2.307	2.307	2.456	6.07	17.48	65.29	86	2121.6	2170.9	1.000	1.004	2179.6	8	8.0	7.83				
7	6.42	5.82	5.50	1191.2	1192.5	678.9	513.6	2.319					88	2170.9		0.983			10	9.5						
8	6.40	5.82	5.50	1186.5	1187.9	676.0	511.9	2.318					80	1973.6		0.988			9	9.0						
9	6.35	5.82	5.50	1189.8	1190.5	678.1	512.4	2.322	2.320	2.438	4.85	17.47	72.23	78	1924.2	2022.9	1.000	0.990	2002.7	10	10.0	9.50				
10	6.32	6.38	6.00	1196.2	1198.0	684.0	514.0	2.327					70	1726.9		1.008			11	11.0						
11	6.46	6.38	6.00	1183.5	1186.2	678.9	507.3	2.333					76	1874.9		0.973			11	10.5						
12	6.40	6.38	6.00	1192.5	1194.2	681.5	512.7	2.326	2.329	2.420	3.77	17.59	78.57	70	1726.9	1776.2	0.988	0.989	1756.7	11	11.0	10.83				
13	6.25	6.95	6.50	1188.0	1189.9	680.5	509.4	2.332					62	1529.5		1.027			13	12.5						
14	6.35	6.95	6.50	1192.0	1194.0	683.9	510.1	2.337					55	1356.8		1.000			12	12.0						
15	6.38	6.95	6.50	1188.7	1189.5	680.5	509.0	2.335	2.335	2.402	2.80	17.81	84.26	58	1430.8	1439.1	0.993	1.007	1449.1	11	11.4	11.97				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica normal con 2% de polvo de roca.

" DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: PROYECTO DE GRADO **POLVO DE ROCA 2 %**

Pesos Específicos (AASHTO T-100 , T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION		GRAVA	GRAVILLA	ARENA CHANCADA	FILLER - POLVO DE ROCA
Mat. Retenido Tamiz Nº 4	2.675	gr/cm ³	46.6	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100			3/4"	3/8"	Nº4	
Mat. Pasa Tamiz Nº 4	2.652	gr/cm ³	53.4	P. Especifico Total AASHTO T-228	1.011	% DE AGREGADOS :		30%	24%	44%	2%
P. Esp. Agregado Total (Gag):	2.663	gr/cm ³	100			ORIGEN A GREGADOS :		Material de Acopio Planta de Asfaltos - ERIKA S.R.L.			
Nº GOLPES:		75		130 °C Compactación							

IDENTIFICACION	ALFURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA				
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dc)	PROMEDIO (Dfm)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.				CORREGIDA			
																							mm		
																							a	b	c
1	6.50	4.71	4.50	1190.0	1192.5	678.0	514.5	2.313						95	2343.6		0.963			7	7.0				
2	6.45	4.71	4.50	1184.4	1187.8	676.0	511.8	2.314						100	2466.9		0.975			7	6.5				
3	6.40	4.71	4.50	1178.1	1184.2	674.0	510.2	2.309	2.312	2.480	6.78	17.07	60.27	96	2368.3	2392.9	0.988	0.975	2333.1	8	8.0	7.17			
4	6.40	5.26	5.00	1184.8	1187.5	678.1	509.4	2.326						108	2664.3		0.988			9	9.2				
5	6.48	5.26	5.00	1190.0	1192.8	680.0	512.8	2.321						105	2590.3		0.968			9	9.0				
6	6.52	5.26	5.00	1179.2	1184.5	678.0	506.5	2.328	2.325	2.462	5.55	17.05	67.43	105	2590.3	2615.0	0.958	0.971	2539.1	8	8.2	8.80			
7	6.55	5.82	5.50	1182.5	1185.0	680.2	504.8	2.343						107	2639.6		0.953			10	10.0				
8	6.40	5.82	5.50	1178.5	1182.5	678.0	504.5	2.336						100	2466.9		0.988			11	11.0				
9	6.45	5.82	5.50	1187.8	1192.8	684.0	508.8	2.335	2.338	2.443	4.32	17.03	74.66	104	2565.6	2557.4	0.975	0.972	2485.8	11	10.5	10.50			
10	6.38	6.38	6.00	1180.5	1184.5	679.8	504.7	2.339						88	2170.9		0.993			12	12.2				
11	6.46	6.38	6.00	1185.0	1187.4	680.0	507.4	2.335						93	2294.3		0.973			13	13.0				
12	6.50	6.38	6.00	1180.0	1185.1	681.5	503.6	2.343	2.339	2.425	3.54	17.42	79.69	84	2072.2	2179.1	0.963	0.976	2126.8	12	12.2	12.47			
13	6.50	6.95	6.50	1185.8	1188.8	679.8	509.0	2.330						70	1726.9		0.963			16	15.6				
14	6.52	6.95	6.50	1190.5	1193.5	682.5	511.0	2.330						78	1924.2		0.958			15	14.5				
15	6.47	6.95	6.50	1186.7	1192.7	684.0	508.7	2.333	2.331	2.407	3.17	18.16	82.54	82	2022.9	1891.3	0.970	0.964	1823.2	15	15.0	15.03			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.7. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica normal con 3% de polvo de roca.

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: PROYECTO DE GRADO **POLVO DE ROCA 3 %**

Pesos Específicos (AASHTO T-100 , T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION		GRAVA	GRAVILLA	ARENA CHANCADA	FILLER - POLVO DE ROCA
Mat. Retenido Tamiz Nº 4	2.675	gr/cm ³	46.6	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100	% DE AGREGADOS :		3/4"	3/8"	Nº4	43%
Mat. Pasa Tamiz Nº 4	2.665	gr/cm ³	53.4	P. Especifico Total AASHTO T-228	1.011	ORIGEN A GREGADOS :		Material de Acopio Planta de Asfaltos - ERIKA S.R.L.			
P. Esp. Agregado Total (Gag):	2.670	gr/cm ³	100								
Nº GOLPES:		75		130 °C Compactación							

IDENTIFICACION	ALFURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA				
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dc)	PROMEDIO (Dfm)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.				CORREGIDA			
																							mm		
																							a	b	c
1	6.45	4.71	4.50	1180.5	1183.4	675.0	508.4	2.322						92	2269.6		0.975			8	8.0				
2	6.38	4.71	4.50	1178.2	1180.1	673.0	507.1	2.323						90	2220.3		0.993			9	8.5				
3	6.40	4.71	4.50	1176.8	1178.0	672.2	505.8	2.327	2.324	2.486	6.52	16.86	61.34	92	2269.6	2253.1	0.988	0.985	2219.3	8	7.5	8.00			
4	6.45	5.26	5.00	1185.0	1187.0	679.9	507.1	2.337						110	2713.6		0.975			10	9.5				
5	6.50	5.26	5.00	1180.0	1182.8	678.0	504.8	2.338						108	2664.3		0.963			9	9.2				
6	6.48	5.26	5.00	1181.0	1184.0	679.5	504.5	2.341	2.338	2.467	5.22	16.79	68.90	107	2639.6	2672.5	0.968	0.968	2587.0	8	8.4	9.03			
7	6.40	5.82	5.50	1185.0	1187.8	684.0	503.8	2.352						107	2639.6		0.988			12	11.5				
8	6.35	5.82	5.50	1180.8	1183.8	681.4	502.4	2.350						105	2590.3		1.000			11	11.0				
9	6.38	5.82	5.50	1185.8	1188.1	684.5	503.6	2.355	2.352	2.449	3.93	16.73	76.49	108	2664.3	2631.4	0.993	0.993	2613.0	11	11.0	11.17			
10	6.45	6.38	6.00	1190.0	1192.5	686.5	506.0	2.352						92	2269.6		0.975			14	13.5				
11	6.50	6.38	6.00	1185.0	1187.4	684.8	502.6	2.358						90	2220.3		0.963			15	15.0				
12	6.55	6.38	6.00	1180.0	1185.1	683.5	501.6	2.352	2.354	2.430	3.14	17.11	81.63	98	2417.6	2302.5	0.953	0.963	2217.3	15	15.0	14.50			
13	6.45	6.95	6.50	1189.0	1195.0	687.0	508.0	2.341						77	1899.5		0.975			17	16.8				
14	6.40	6.95	6.50	1185.0	1188.0	682.5	505.5	2.344						68	1677.5		0.988			17	16.5				
15	6.50	6.95	6.50	1181.5	1185.0	682.5	502.5	2.351	2.345	2.412	2.78	17.86	84.43	72	1776.2	1784.4	0.963	0.975	1739.8	17	17.0	16.77			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica normal con 4% de polvo de roca.

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

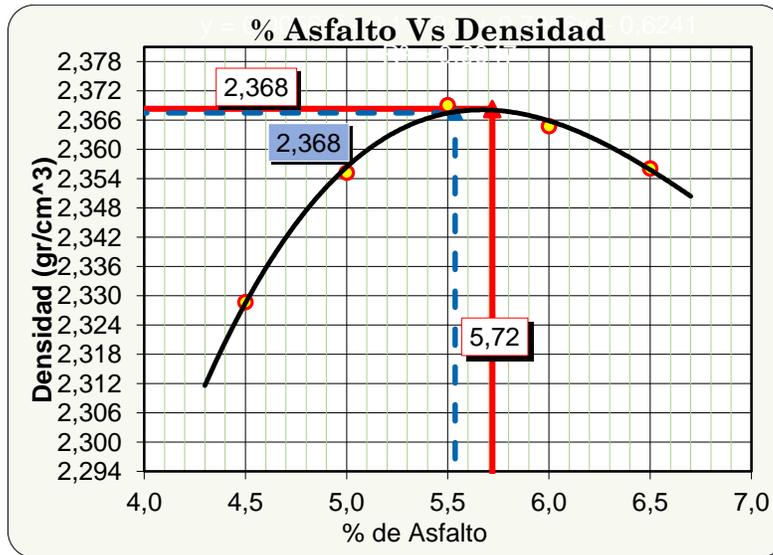
Proyecto: PROYECTO DE GRADO **POLVO DE ROCA 4 %**

Pesos Específicos (AASHTO T-100 , T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION	GRAVA	GRAVILLA	ARENA CHANCADA	FILLER - POLVO DE ROCA													
Mat. Retenido Tamiz Nº 4	2.675	gr/cm ³	46.6	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100		3/4"	3/8"	Nº4	Nº 200													
Mat. Pasa Tamiz Nº 4	2.698	gr/cm ³	53.4	P. Especifico Total AASHTO T-228	1.011	% DE AGREGADOS :		30%	24%	42%	4%												
P. Esp. Agregado Total (Gag):	2.687	gr/cm ³	100			ORIGEN A GREGADOS :	Material de Acopio Planta de Asfaltos - ERIKA S.R.L.																
Nº GOLPES:		75	130 °C Compactación																				
IDENTIFICACION	ALFURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA		
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dc)	PROMEDIO (Dfm)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)					MEDIA f.c.	CORREGIDA
																	mm	mm					
1	6.30	4.71	4.50	1185.2	1187.2	677.0	510.2	2.323						88	2170.9		1.013				8	8.0	
2	6.22	4.71	4.50	1192.5	1194.1	683.2	510.9	2.334						90	2220.3		1.035				9	8.5	
3	6.33	4.71	4.50	1189.2	1192.6	682.0	510.6	2.329	2.329	2.501	6.88	17.24	60.12	96	2368.3	2253.1	1.005	1.018	2293.7		10	9.5	8.67
4	6.35	5.26	5.00	1200.0	1198.5	692.9	505.6	2.373						102	2516.3		1.000				10	9.5	
5	6.39	5.26	5.00	1203.8	1207.5	694.0	513.5	2.344						103	2541.0		0.990				11	10.6	
6	6.35	5.26	5.00	1197.3	1201.2	691.3	509.9	2.348	2.355	2.482	5.09	16.74	69.60	107	2639.6	2565.6	1.000	0.997	2557.9		10	9.8	9.97
7	6.29	5.82	5.50	1192.5	1194.1	687.4	506.7	2.353						105	2590.3		1.016				11	11.4	
8	6.28	5.82	5.50	1199.8	1200.7	695.9	504.8	2.377						105	2590.3		1.019				12	12.4	
9	6.28	5.82	5.50	1200.6	1202.1	697.0	505.1	2.377	2.369	2.463	3.80	16.69	77.23	108	2664.3	2615.0	1.019	1.018	2662.0		12	12.0	11.93
10	6.35	6.38	6.00	1217.5	1218.6	706.4	512.2	2.377						101	2491.6		1.000				13	12.9	
11	6.37	6.38	6.00	1191.4	1193.7	686.4	507.3	2.349						90	2220.3		0.995				14	14.3	
12	6.40	6.38	6.00	1214.7	1216.4	703.6	512.8	2.369	2.365	2.444	3.25	17.28	81.22	98	2417.6	2376.5	0.988	0.994	2362.2		13	13.0	13.40
13	6.35	6.95	6.50	1203.3	1204.7	694.3	510.4	2.358						77	1899.5		1.000				16	15.5	
14	6.47	6.95	6.50	1223.8	1225.1	705.4	519.7	2.355						69	1702.2		0.970				16	16.0	
15	6.29	6.95	6.50	1186.2	1187.0	683.5	503.5	2.356	2.356	2.426	2.87	18.02	84.05	82	2022.9	1874.9	1.016	0.995	1865.5		15	15.2	15.57

Fuente: Elaboración propia.

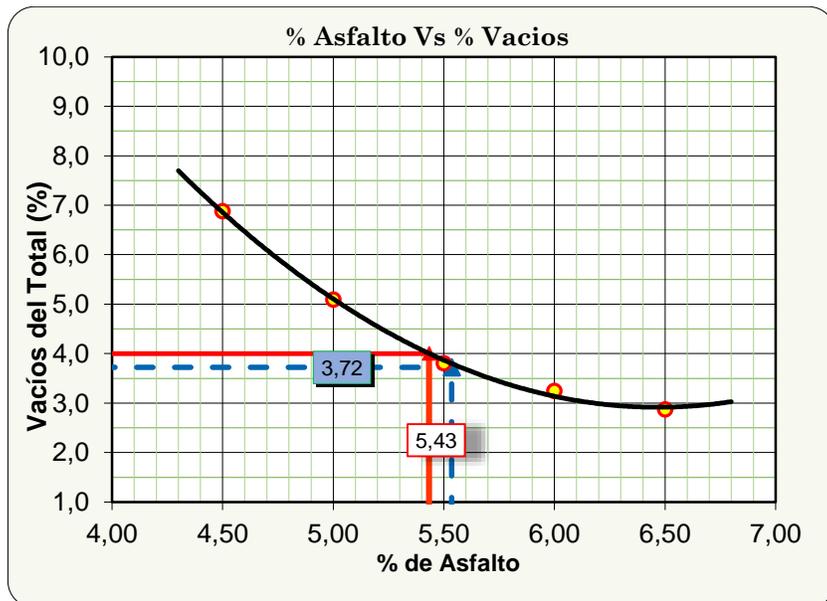
4.1.2.3. Gráficos de las curvas de diseño de la mezcla asfáltica normal con 4% de polvo de roca

Figura 4.1. % de asfalto vs densidad del diseño de la mezcla asfáltica normal.



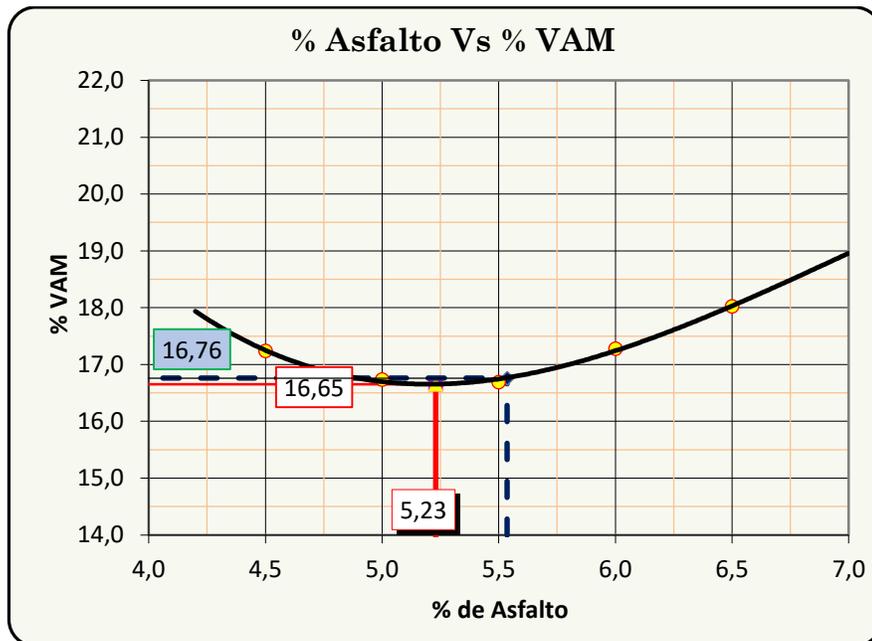
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2. % de asfalto vs % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica normal.



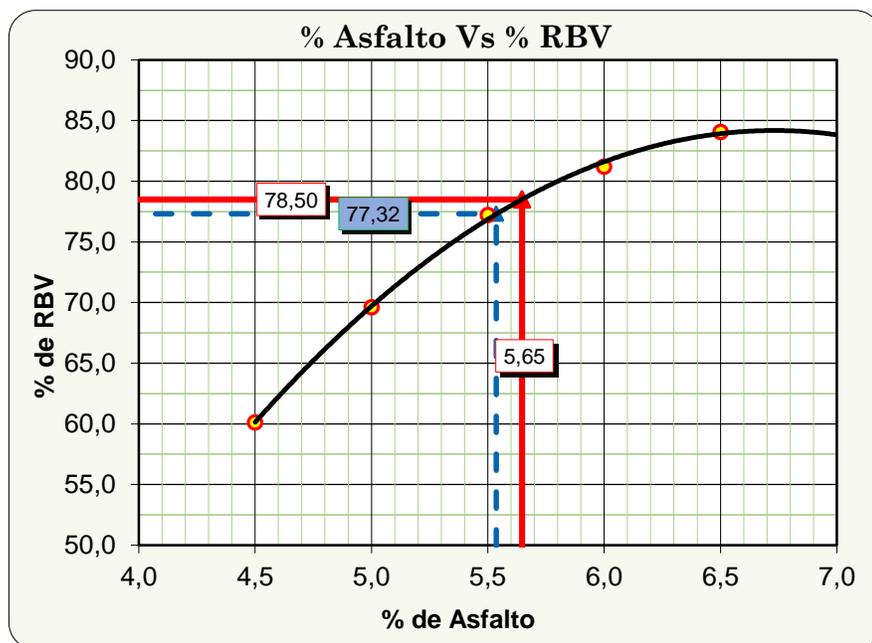
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.3. % de asfalto vs % VAM del diseño de la mezcla asfáltica normal.



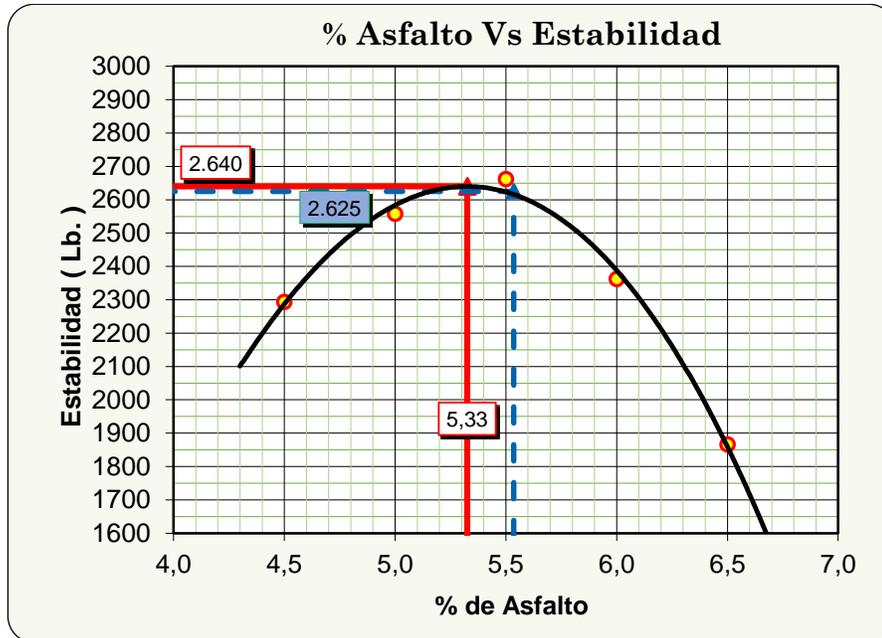
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4. % de asfalto vs % RBV del diseño de la mezcla asfáltica normal.



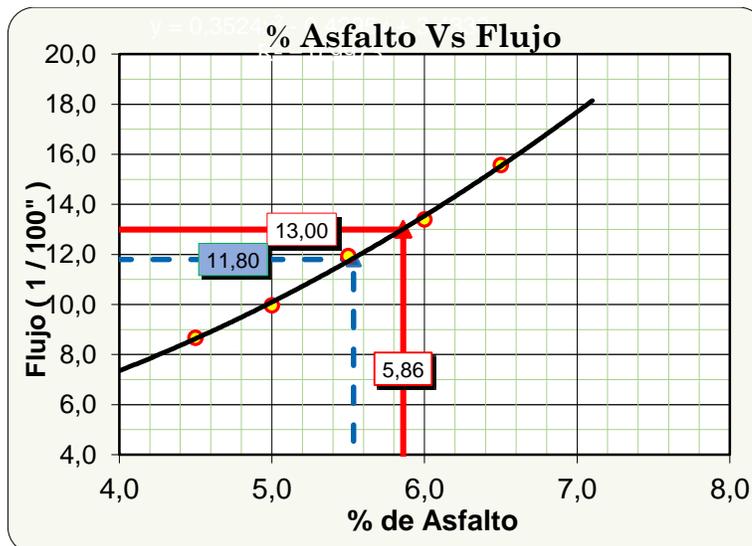
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5. % de asfalto vs estabilidad del diseño de la mezcla asfáltica normal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.6. % de asfalto vs flujo del diseño de la mezcla asfáltica normal.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.4. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla asfáltica normal

Con la ayuda de las gráficas podemos definir nuestro contenido óptimo de cemento asfáltico, el criterio para determinar el contenido óptimo es realizando un promedio de los óptimos parciales de cada gráfica.

Tabla 4.9. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 0% de polvo de roca.

VALORES				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRÁFICOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	0.000	2.340	-----	-----
% VACIOS	5.854	4.000	3.000	5.000
R.B.V.	5.334	70.000	65.000	75.000
V.A.M	4.950	17.580		
ESTABILIDAD (Lb)	4.707	2204.113	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	0.000	11.000	8.000	14.000
PROMEDIO (%)	5.211	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Gráficas		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 2% de polvo de roca.

VALORES				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRÁFICOS	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
DENSIDAD	5.850	2.340	-----	-----
% VACIOS	5.710	4.000	3.000	5.000
R.B.V.	5.142	70.000	65.000	75.000
V.A.M	4.200	17.000		
ESTABILIDAD (Lb)	5.053	2565.637	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	6.100	11.000	8.000	14.000
PROMEDIO (%)	5.343	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Gráficas		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 3% de polvo de roca.

VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.900	2.355	-----	-----
% VACIOS	5.490	4.000	3.000	5.000
R.B.V.	5.032	70.000	65.000	75.000
V.A.M	5.000	16.820		
ESTABILIDAD (Lb)	5.197	2642.459	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.800	11.000	8.000	14.000
PROMEDIO (%)	5.403	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 4% de polvo de roca.

VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.720	2.368	-----	-----
% VACIOS	5.434	4.000	3.000	5.000
R.B.V.	5.018	70.000	65.000	75.000
V.A.M	5.230	16.650		
ESTABILIDAD (Lb)	5.326	2639.808	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.860	11.000	8.000	14.000
PROMEDIO (%)	5.431	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% de polvo de roca.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.211	2.318	-----	-----
% VACIOS	5.211	5.170	3.000	5.000
R.B.V.	5.211	70.650	65.000	75.000
V.A.M	5.211	17.450		
ESTABILIDAD (Lb)	5.211	2062.000	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.211	9.180	8.000	14.000
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.211	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 2% de polvo de roca.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERÍSTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.343	2.336	-----	-----
% VACIOS	5.343	4.400	3.000	5.000
R.B.V.	5.343	74.100	65.000	75.000
V.A.M	5.343	17.000		
ESTABILIDAD (Lb)	5.343	2470.000	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.343	10.450	8.000	14.000
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.343	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.15. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 3% de polvo de roca.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.403	2.351	-----	-----
% VACIOS	5.403	4.000	3.000	5.000
R.B.V.	5.403	76.500	65.000	75.000
V.A.M	5.403	16.800		
ESTABILIDAD (Lb)	5.403	2578.000	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.403	11.350	8.000	14.000
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.403	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.16. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 4% de polvo de roca.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.431	2.368	-----	-----
% VACIOS	5.431	3.720	3.000	5.000
R.B.V.	5.431	77.320	65.000	75.000
V.A.M	5.431	16.700		
ESTABILIDAD (Lb)	5.431	2625.000	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.431	11.800	8.000	14.000
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.431	

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE CAL HIDRATADA

De igual forma que para el diseño de la mezcla asfáltica normal, se procederá a realizar el diseño para la mezcla asfáltica modificada con la adición de cal hidratada.

4.1.3.1. Dosificación de los especímenes (briquetas)

Para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de 15 especímenes (briquetas) mediante el método Marshall, se prepararan 5 grupos de briquetas con diferentes contenidos de cemento asfáltico, se hace variar un 0.5% del peso del cemento asfáltico para la mezcla de agregados de forma que las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido.

Para la dosificación de las briquetas se utiliza la granulometría ya establecida anteriormente.

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

Tabla 4.17. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de cal hidratada.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.50%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				P. parcial	P. acum								
1"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/4"	99.542	0.458	0.458	5.245	5.245	5.218	5.218	5.190	5.190	5.163	5.163	5.135	5.135
1/2"	82.591	17.409	16.952	194.266	199.511	193.249	198.466	192.231	197.422	191.214	196.377	190.197	195.332
3/8"	73.439	26.561	9.152	104.881	304.392	104.332	302.798	103.783	301.205	103.234	299.611	102.685	298.017
Nº4	53.394	46.606	20.045	229.717	534.109	228.514	531.312	227.311	528.516	226.109	525.720	224.906	522.923
Nº10	39.296	60.704	14.097	161.555	695.664	160.709	692.022	159.864	688.379	159.018	684.737	158.172	681.095
Nº16	29.567	70.433	9.729	111.494	807.158	110.910	802.932	110.326	798.706	109.742	794.480	109.159	790.254
Nº40	17.642	82.358	11.925	136.661	943.818	135.945	938.877	135.230	933.935	134.514	928.994	133.799	924.052
Nº80	9.158	90.842	8.484	97.231	1041.049	96.721	1035.598	96.212	1030.148	95.703	1024.697	95.194	1019.247
Nº200	3.792	96.208	5.366	61.496	1102.545	61.174	1096.772	60.852	1091.000	60.530	1085.227	60.208	1079.455
Filler	0.000	100.000	3.792	43.455	1146.000	43.228	1140.000	43.000	1134.000	42.773	1128.000	42.545	1122.000
Peso total (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso muestra (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso asfalto (gr)				54.000		60.000		66.000		72.000		78.000	
Peso total material + cemento asfáltico (gr)				1200.000		1200.000		1200.000		1200.000		1200.000	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.18. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de cal hidratada.

TAMIZ	% Pasa	% Retenid	% Ret. Tamiz	4.50%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				P. parcial	P. acum								
1"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/4"	99.542	0.458	0.458	5.245	5.245	5.218	5.218	5.190	5.190	5.163	5.163	5.135	5.135
1/2"	82.591	17.409	16.952	194.266	199.511	193.249	198.466	192.231	197.422	191.214	196.377	190.197	195.332
3/8"	73.439	26.561	9.152	104.881	304.392	104.332	302.798	103.783	301.205	103.234	299.611	102.685	298.017
Nº4	53.396	46.604	20.043	229.695	534.087	228.493	531.291	227.290	528.495	226.087	525.698	224.885	522.902
Nº10	39.459	60.541	13.936	159.710	693.797	158.874	690.165	158.038	686.532	157.202	682.900	156.365	679.268
Nº16	29.949	70.051	9.510	108.985	802.783	108.415	798.580	107.844	794.377	107.274	790.174	106.703	785.971
Nº40	18.284	81.716	11.666	133.687	936.470	132.987	931.567	132.287	926.664	131.587	921.761	130.887	916.858
Nº80	9.946	90.054	8.338	95.553	1032.023	95.053	1026.619	94.552	1021.216	94.052	1015.813	93.552	1010.410
Nº200	4.649	95.351	5.297	60.699	1092.721	60.381	1087.000	60.063	1081.279	59.745	1075.558	59.427	1069.837
Filler	0.000	100.000	4.649	53.279	1146.000	53.000	1140.000	52.721	1134.000	52.442	1128.000	52.163	1122.000
Peso total (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	

Peso muestra (gr)	1146.000	1140.000	1134.000	1128.000	1122.000
Peso asfalto (gr)	54.000	60.000	66.000	72.000	78.000
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.19. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 4% de cal hidratada.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.50%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				P. parcial	P. acum								
1"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/4"	99.542	0.458	0.458	5.245	5.245	5.218	5.218	5.190	5.190	5.163	5.163	5.135	5.135
1/2"	82.591	17.409	16.952	194.266	199.511	193.249	198.466	192.231	197.422	191.214	196.377	190.197	195.332
3/8"	73.439	26.561	9.152	104.881	304.392	104.332	302.798	103.783	301.205	103.234	299.611	102.685	298.017
Nº4	53.397	46.603	20.041	229.674	534.066	228.471	531.270	227.269	528.473	226.066	525.677	224.864	522.881
Nº10	39.622	60.378	13.775	157.865	691.931	157.039	688.308	156.212	684.685	155.386	681.063	154.559	677.440
Nº16	30.331	69.669	9.291	106.477	798.408	105.920	794.228	105.362	790.048	104.805	785.867	104.247	781.687
Nº40	18.925	81.075	11.406	130.713	929.121	130.029	924.257	129.345	919.392	128.660	914.528	127.976	909.663
Nº80	10.733	89.267	8.192	93.875	1022.997	93.384	1017.641	92.892	1012.285	92.401	1006.929	91.909	1001.573
Nº200	5.506	94.494	5.227	59.901	1082.898	59.587	1077.228	59.274	1071.558	58.960	1065.889	58.647	1060.219
Filler	0.000	100.000	5.506	63.102	1146.000	62.772	1140.000	62.442	1134.000	62.111	1128.000	61.781	1122.000
Peso total (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	

Peso muestra (gr)	1146.000	1140.000	1134.000	1128.000	1122.000
Peso asfalto (gr)	54.000	60.000	66.000	72.000	78.000
Peso total material + cemento asfáltico (gr)	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas mostradas anteriormente nos muestra las cantidades de agregados y cemento asfáltico con las que se realizará el diseño y así poder obtener el contenido óptimo del cemento asfáltico.

4.1.3.2. 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.

A continuación se muestra los resultados obtenidos de los diseños de las mezclas asfálticas modificadas con adición de cal hidratada.

Tabla 4.20. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de cal hidratada.

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: PROYECTO DE GRADO

CAL HIDRATADA 2 %

Pesos Específicos (AASHTO T-100 , T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION		GRAVA	GRAVILLA	ARENA CHANCADA	CAL-FILER														
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2.675	gr/cm ³	46.6	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100	% DE AGREGADOS :		3/4"	3/8"	N°4															
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2.650	gr/cm ³	53.4	P. Especifico Total AASHTO T-228	1.011	ORIGEN A GREGADOS :		30%	24%	43%	2%														
P. Esp. Agregado Total (Gag):	2.662	gr/cm ³	100																						
N° GOLPES:		75		130 °C Compactación																					
IDENTIFICACION	ALFURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)				LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA					
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dr.)	PROMEDIO (D _{rm})	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)				MEDIA f.c.	CORREGIDA			
																							mm	o	p
																							a	b	c
1	6.28	4.71	4.50	1190.5	1193.5	673.8	519.7	2.291					86	2121.6		1.019			9	8.5					
2	6.35	4.71	4.50	1178.5	1188.7	673.2	515.5	2.286					82	2022.9		1.000			9	9.0					
3	6.30	4.71	4.50	1182.1	1190.5	674.0	516.5	2.289	2.289	2.479	7.70	17.89	56.95	85	2096.9	2080.5	1.013	1.011	2103.3	10	9.5	9.00			
4	6.40	5.26	5.00	1185.2	1188.7	678.0	510.7	2.321					103	2541.0		0.988			10	10.0					
5	6.31	5.26	5.00	1190.0	1192.1	678.0	514.1	2.315					96	2368.3		1.011			11	10.8					
6	6.45	5.26	5.00	1188.3	1191.8	680.2	511.6	2.323	2.319	2.461	5.74	17.21	66.64	100	2466.9	2458.7	0.975	0.991	2436.6	11	11.0	10.60			
7	6.36	5.82	5.50	1195.0	1199.2	686.5	512.7	2.331					99	2442.3		0.998			13	13.0					
8	6.40	5.82	5.50	1200.1	1202.7	688.8	513.9	2.335					105	2590.3		0.988			12	12.4					
9	6.42	5.82	5.50	1192.3	1195.8	684.0	511.8	2.330	2.332	2.442	4.52	17.21	73.73	100	2466.9	2499.8	0.983	0.989	2472.3	13	12.5	12.63			
10	6.50	6.38	6.00	1185.4	1189.6	682.5	507.1	2.338					97	2392.9		0.963			15	14.5					
11	6.45	6.38	6.00	1191.6	1193.2	682.0	511.2	2.331					92	2269.6		0.975			15	14.5					
12	6.42	6.38	6.00	1198.2	1200.8	686.8	514.0	2.331	2.333	2.424	3.75	17.60	78.69	92	2269.6	2310.7	0.983	0.973	2248.3	16	15.5	14.83			
13	6.44	6.95	6.50	1184.5	1186.3	677.5	508.8	2.328					82	2022.9		0.978			17	17.0					
14	6.40	6.95	6.50	1190.4	1193.8	682.2	511.6	2.327					88	2170.9		0.988			17	16.5					
15	6.48	6.95	6.50	1194.8	1197.1	684.0	513.1	2.329	2.328	2.406	3.26	18.23	82.12	81	1998.2	2064.0	0.968	0.978	2018.6	17	17.0	16.83			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.21. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de cal hidratada.

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: PROYECTO DE GRADO

CAL HIDRATADA 3 %

Pesos Especificos (AASHTO T-100 , T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION		GRAVA	GRAVILLA	ARENA TRITURADA	CAL-FILER														
Mat. Retenido Tamiz N°4	2.675	gr/cm ³	46.6	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100			3/4"	3/8"	N°4	N°200														
Mat. Pasa Tamiz N°4	2.618	gr/cm ³	53.4	P. Especifico Total AASHTO T-228	1.011	% DE AGREGADOS :		30%	24%	43%	3%														
P. Esp. Agregado Total (Gag):	2.644	gr/cm ³	100			ORIGEN A GREGADOS :																			
N° GOLPES:		75	130 °C Compactación																						
IDENTIFICACION	ALFURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA				
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dc)	PROMEDIO (D _{rm})	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.				CORREGIDA			
																							mm	o	p
																							a	b	c
1	6.38	4.71	4.50	1200.2	1198.0	680.0	518.0	2.317						90	2220.3		0.993			9	9.0				
2	6.40	4.71	4.50	1210.5	1205.2	683.2	522.0	2.319						80	1973.6		0.988			10	10.0				
3	6.44	4.71	4.50	1207.3	1212.6	681.5	531.1	2.273	2.303	2.465	6.57	16.82	60.93	89	2195.6	2129.8	0.978	0.986	2100.0	10	9.5	9.50			
4	6.48	5.26	5.00	1202.8	1206.9	689.4	517.5	2.324						100	2466.9		0.968			11	10.5				
5	6.52	5.26	5.00	1203.8	1208.0	689.0	519.0	2.319						95	2343.6		0.958			11	10.6				
6	6.58	5.26	5.00	1212.7	1216.0	689.1	526.9	2.302	2.315	2.447	5.38	16.83	68.05	98	2417.6	2409.4	0.947	0.958	2308.2	12	12.0	11.03			
7	6.37	5.82	5.50	1203.0	1204.5	691.2	513.3	2.344						106	2615.0		0.995			14	13.5				
8	6.41	5.82	5.50	1200.4	1202.2	688.9	513.3	2.339						108	2664.3		0.985			13	12.5				
9	6.38	5.82	5.50	1207.5	1209.0	692.2	516.8	2.336	2.340	2.428	3.66	16.39	77.66	112	2763.0	2680.7	0.993	0.991	2656.6	15	15.0	13.67			
10	6.42	6.38	6.00	1208.9	1210.2	706.4	503.8	2.400						102	2516.3		0.983			16	16.0				
11	6.46	6.38	6.00	1218.4	1220.0	686.4	533.6	2.283						100	2466.9		0.973			16	15.5				
12	6.46	6.38	6.00	1218.2	1219.5	703.6	515.9	2.361	2.348	2.411	2.59	16.53	84.31	105	2590.3	2524.5	0.973	0.976	2463.9	17	17.0	16.17			
13	6.47	6.95	6.50	1215.2	1215.6	696.0	519.6	2.339						94	2318.9		0.970			18	18.0				
14	6.45	6.95	6.50	1211.0	1212.0	694.0	518.0	2.338						90	2220.3		0.975			18	18.0				
15	6.44	6.95	6.50	1210.0	1210.2	695.6	514.6	2.351	2.343	2.393	2.10	17.17	87.74	100	2466.9	2335.4	0.978	0.974	2274.7	17	17.0	17.67			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.22. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 4% de cal hidratada.

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: PROYECTO DE GRADO										CAL HIDRATADA 4 %															
Pesos Especificos (AASHTO T-100 , T-85)			% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20			DOSIFICACION			GRAVA	GRAVILLA	ARENA CHANCADA	CAL-FILLER											
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2.675	gr/cm ³	46.6	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100			% DE AGREGADOS :			3/4"	3/8"	N°4	N°200											
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2.592	gr/cm ³	53.4	P. Especifico Total AASHTO T-228	1.011			ORIGEN A GREGADOS :			30%	24%	42%	4%											
P. Esp. Agregado Total (Gag):		2.630	gr/cm ³	100																					
N° GOLPES:		75		130 °C Compactación																					
IDENTIFICACION	ALFURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA				
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dc)	PROMEDIO (Dfm)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)					MEDIA f.c.	CORREGIDA		
																	mm	mm						o	p
1	6.40	4.71	4.50	1179.2	1182.8	673.2	509.6	2.314					86	2121.6		0.988			7	7.1					
2	6.35	4.71	4.50	1184.0	1186.0	674.5	511.5	2.315					84	2072.2		1.000			8	8.0					
3	6.39	4.71	4.50	1177.5	1180.0	671.5	508.5	2.316	2.315	2.453	5.64	15.95	64.61	90	2220.3	2138.0	0.990	0.993	2123.1	7	7.0	7.37			
4	6.50	5.26	5.00	1180.0	1182.5	677.0	505.5	2.334					98	2417.6		0.963			11	10.5					
5	6.48	5.26	5.00	1175.8	1178.2	672.5	505.7	2.325					99	2442.3		0.968			10	10.0					
6	6.52	5.26	5.00	1181.5	1183.7	677.0	506.7	2.332	2.330	2.435	4.30	15.82	72.84	102	2516.3	2458.7	0.958	0.963	2367.8	10	10.0	10.17			
7	6.45	5.82	5.50	1195.0	1197.1	688.5	508.6	2.350					106	2615.0		0.975			15	14.5					
8	6.50	5.82	5.50	1187.2	1190.3	684.7	505.6	2.348					108	2664.3		0.963			13	12.8					
9	6.40	5.82	5.50	1185.4	1188.7	683.0	505.7	2.344	2.347	2.417	2.89	15.66	81.54	105	2590.3	2623.2	0.988	0.975	2557.6	14	13.6	13.63			
10	6.50	6.38	6.00	1190.0	1192.8	688.6	504.2	2.360					113	2787.7		0.963			16	15.5					
11	6.45	6.38	6.00	1194.0	1198.8	693.5	505.3	2.363					110	2713.6		0.975			17	16.5					
12	6.40	6.38	6.00	1190.8	1193.2	688.0	505.2	2.357	2.360	2.399	1.64	15.65	89.51	112	2763.0	2754.8	0.988	0.975	2685.9	15	15.0	15.67			
13	6.45	6.95	6.50	1180.1	1186.7	687.6	499.1	2.364					112	2763.0		0.975			18	18.0					
14	6.50	6.95	6.50	1190.1	1193.4	688.0	505.4	2.355					111	2738.3		0.963			19	18.6					
15	6.48	6.95	6.50	1194.5	1196.5	689.0	507.5	2.354	2.358	2.382	1.03	16.18	93.66	112	2763.0	2754.8	0.968	0.968	2666.6	18	17.6	18.07			

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3.3. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada

Tabla 4.23. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 2% de cal hidratada.

VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.730	2.334	-----	-----
% VACIOS	5.768	4.000	3.000	5.000
R.B.V.	5.227	70.000	65.000	75.000
V.A.M	5.000	17.150		
ESTABILIDAD (Lb)	5.247	2484.181	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.560	11.000	8.000	14.000
PROMEDIO (%)	5.422			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.24. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 3% de cal hidratada.

VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	6.150	2.350	-----	-----
% VACIOS	5.402	3.000	2.000	4.000
R.B.V.	5.030	70.000	65.000	75.000
V.A.M	5.750	16.400		
ESTABILIDAD (Lb)	5.717	2571.826	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.350	11.000	8.000	14.000
PROMEDIO (%)	5.567			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.25. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 4% de cal hidratada.

VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	6.230	2.362	-----	-----
% VACIOS	5.062	4.000	3.000	5.000
R.B.V.	4.801	70.000	65.000	75.000
V.A.M	6.000	15.650		
ESTABILIDAD (Lb)	6.212	2694.390	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.450	11.000	8.000	14.000
PROMEDIO (%)	5.626			

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 resultados de las características de la mezcla asfáltica.

Tabla 4.26. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 2% de Cal Hidratada.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.422	2.332	-----	-----
% VACIOS	5.422	4.420	3.000	5.000
R.B.V.	5.422	74.420	65.000	75.000
V.A.M	5.422	17.200		
ESTABILIDAD (Lb)	5.422	2448.000	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.422	12.800	8.000	14.000
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.422	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.27. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 3% de Cal Hidratada.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.567	2.342	-----	-----
% VACIOS	5.567	3.400	2.000	4.000
R.B.V.	5.567	79.300	65.000	75.000
V.A.M	5.567	16.450		
ESTABILIDAD (Lb)	5.567	2572.000	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.567	14.300	8.000	14.000
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.567	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.28. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 4% de Cal Hidratada.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.626	2.354	-----	-----
% VACIOS	5.626	2.400	3.000	5.000
R.B.V.	5.626	84.680	65.000	75.000
V.A.M	5.626	15.650		
ESTABILIDAD (Lb)	5.626	2630.000	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.626	14.500	8.000	14.000
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.626	

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND

De igual forma que para los anteriores diseños, se procederá a realizar el diseño para la mezcla asfáltica modificada con la adición de Cemento Portland.

4.1.4.1. Dosificación de los especímenes (briquetas)

Para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de 15 especímenes (briquetas) mediante el método Marshall, se prepararan 5 grupos de briquetas con diferentes contenidos de cemento asfáltico, se hace variar un 0.5% del peso del cemento asfáltico para la mezcla de agregados de forma que las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido.

Para la dosificación de las briquetas se utiliza la granulometría ya establecida anteriormente.

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

Tabla 4.29. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de cemento portland.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.50%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				P. parcial	P. acum								
1"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/4"	99.542	0.458	0.458	5.245	5.245	5.218	5.218	5.190	5.190	5.163	5.163	5.135	5.135
1/2"	82.591	17.409	16.952	194.266	199.511	193.249	198.466	192.231	197.422	191.214	196.377	190.197	195.332
3/8"	73.439	26.561	9.152	104.881	304.392	104.332	302.798	103.783	301.205	103.234	299.611	102.685	298.017
Nº4	53.394	46.606	20.045	229.717	534.109	228.514	531.312	227.311	528.516	226.109	525.720	224.906	522.923
Nº10	39.296	60.704	14.097	161.555	695.664	160.709	692.022	159.864	688.379	159.018	684.737	158.172	681.095
Nº16	29.567	70.433	9.729	111.494	807.158	110.910	802.932	110.326	798.706	109.742	794.480	109.159	790.254
Nº40	17.661	82.339	11.907	136.451	943.609	135.737	938.668	135.022	933.728	134.308	928.787	133.593	923.847
Nº80	9.264	90.736	8.396	96.222	1039.831	95.719	1034.387	95.215	1028.943	94.711	1023.498	94.207	1018.054
Nº200	3.967	96.033	5.298	60.710	1100.540	60.392	1094.778	60.074	1089.016	59.756	1083.254	59.438	1077.492
Filler	0.000	100.000	3.967	45.460	1146.000	45.222	1140.000	44.984	1134.000	44.746	1128.000	44.508	1122.000
Peso total (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso muestra (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso asfalto (gr)				54.000		60.000		66.000		72.000		78.000	
Peso total material + cemento asfáltico (gr)				1200.000		1200.000		1200.000		1200.000		1200.000	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.30. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de cemento portland.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.50%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				P. parcial	P. acum								
1"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/4"	99.542	0.458	0.458	5.245	5.245	5.218	5.218	5.190	5.190	5.163	5.163	5.135	5.135
1/2"	82.591	17.409	16.952	194.266	199.511	193.249	198.466	192.231	197.422	191.214	196.377	190.197	195.332
3/8"	73.439	26.561	9.152	104.881	304.392	104.332	302.798	103.783	301.205	103.234	299.611	102.685	298.017
Nº4	53.396	46.604	20.043	229.695	534.087	228.493	531.291	227.290	528.495	226.087	525.698	224.885	522.902
Nº10	39.459	60.541	13.936	159.710	693.797	158.874	690.165	158.038	686.532	157.202	682.900	156.365	679.268
Nº16	29.949	70.051	9.510	108.985	802.783	108.415	798.580	107.844	794.377	107.274	790.174	106.703	785.971
Nº40	18.311	81.689	11.638	133.372	936.155	132.674	931.254	131.976	926.353	131.278	921.451	130.579	916.550
Nº80	10.105	89.895	8.206	94.041	1030.196	93.548	1024.802	93.056	1019.408	92.564	1014.015	92.071	1008.621
Nº200	4.911	95.089	5.194	59.519	1089.715	59.207	1084.009	58.895	1078.304	58.584	1072.599	58.272	1066.893
Filler	0.000	100.000	4.911	56.285	1146.000	55.991	1140.000	55.696	1134.000	55.401	1128.000	55.107	1122.000
Peso total (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso muestra (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso asfalto (gr)				54.000		60.000		66.000		72.000		78.000	
Peso total material + cemento asfáltico (gr)				1200.000		1200.000		1200.000		1200.000		1200.000	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.31. Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 4% de cemento portland.

TAMIZ	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4.50%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
				P. parcial	P. acum								
1"	100.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3/4"	99.542	0.458	0.458	5.245	5.245	5.218	5.218	5.190	5.190	5.163	5.163	5.135	5.135
1/2"	82.591	17.409	16.952	194.266	199.511	193.249	198.466	192.231	197.422	191.214	196.377	190.197	195.332
3/8"	73.439	26.561	9.152	104.881	304.392	104.332	302.798	103.783	301.205	103.234	299.611	102.685	298.017
Nº4	53.397	46.603	20.041	229.674	534.066	228.471	531.270	227.269	528.473	226.066	525.677	224.864	522.881
Nº10	39.622	60.378	13.775	157.865	691.931	157.039	688.308	156.212	684.685	155.386	681.063	154.559	677.440
Nº16	30.331	69.669	9.291	106.477	798.408	105.920	794.228	105.362	790.048	104.805	785.867	104.247	781.687
Nº40	18.961	81.039	11.369	130.294	928.702	129.612	923.840	128.930	918.977	128.248	914.115	127.565	909.253
Nº80	10.946	89.054	8.016	91.859	1020.561	91.378	1015.218	90.897	1009.874	90.416	1004.531	89.935	999.188
Nº200	5.856	94.144	5.090	58.328	1078.889	58.022	1073.240	57.717	1067.591	57.412	1061.943	57.106	1056.294
Filler	0.000	100.000	5.856	67.111	1146.000	66.760	1140.000	66.409	1134.000	66.057	1128.000	65.706	1122.000
Peso total (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso muestra (gr)				1146.000		1140.000		1134.000		1128.000		1122.000	
Peso asfalto (gr)				54.000		60.000		66.000		72.000		78.000	
Peso total material + cemento asfáltico (gr)				1200.000		1200.000		1200.000		1200.000		1200.000	

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.

4.1.4.2. 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.

A continuación se muestra los resultados obtenidos del diseño de la mezcla asfáltica modificada con adición de cal hidratada.

Tabla 4.32. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 2% de cemento portland.

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: PROYECTO DE GRADO

CEMENTO PORTLAND 2 %

Pesos Específicos (AASHTO T-100 , T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION		GRAVA	GRAVILLA	ARENA TRITURADA	CEMENTO-FILLER														
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2.675	gr/cm ³	46.6	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100	% DE AGREGADOS :		3/4"	3/8"	N°4	N°200														
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2.688	gr/cm ³	53.4	P. Especifico Total AASHTO T-228	1.011	ORIGEN A GREGADOS :		30%	24%	44%	2%														
P. Esp. Agregado Total (Gag):	2.682	gr/cm ³	100																						
N° GOLPES: 75		130 °C Compactación																							
IDENTIFICACION	ALFURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN ELAIRE	PESO BRIQUETA EN ELAIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)				LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA					
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dc)	PROMEDIO (Dfm)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)				MEDIA f.c.	CORREGIDA			
																							mm	o	p
																							a	b	c
1	6.48	4.71	4.50	1181.1	1184.5	675.0	509.5	2.318						94	2318.9		0.968			7	7.2				
2	6.50	4.71	4.50	1178.4	1180.7	672.0	508.7	2.316						96	2368.3		0.963			8	8.2				
3	6.51	4.71	4.50	1179.4	1184.1	674.5	509.6	2.314	2.316	2.496	7.21	17.52	58.85	90	2220.3	2302.5	0.960	0.963	2217.3	9	8.5	7.97			
4	6.41	5.26	5.00	1184.0	1186.7	678.5	508.2	2.330						102	2516.3		0.985			10	9.5				
5	6.48	5.26	5.00	1181.5	1186.7	680.0	506.7	2.332						100	2466.9		0.968			10	10.0				
6	6.50	5.26	5.00	1185.4	1186.8	680.2	506.6	2.340	2.334	2.477	5.79	17.33	66.60	105	2590.3	2524.5	0.963	0.972	2453.8	10	9.5	9.67			
7	6.50	5.82	5.50	1189.7	1193.4	688.0	505.4	2.354						100	2466.9		0.963			12	12.0				
8	6.47	5.82	5.50	1184.5	1186.8	681.8	505.0	2.346						98	2417.6		0.970			11	11.4				
9	6.45	5.82	5.50	1190.1	1194.5	687.2	507.3	2.346	2.348	2.458	4.47	17.25	74.07	103	2541.0	2475.2	0.975	0.969	2398.4	11	10.5	11.30			
10	6.45	6.38	6.00	1184.8	1187.8	684.5	503.3	2.354						95	2343.6		0.975			15	14.5				
11	6.50	6.38	6.00	1180.7	1185.7	683.0	502.7	2.349						87	2146.2		0.963			14	14.2				
12	6.48	6.38	6.00	1187.5	1191.5	686.2	505.3	2.350	2.351	2.440	3.65	17.60	79.27	92	2269.6	2253.1	0.968	0.968	2181.0	14	13.5	14.07			
13	6.40	6.95	6.50	1190.1	1194.7	686.4	508.3	2.341						80	1973.6		0.988			16	15.6				
14	6.42	6.95	6.50	1192.4	1195.1	685.0	510.1	2.338						85	2096.9		0.983			16	16.0				
15	6.45	6.95	6.50	1187.1	1190.8	684.6	506.2	2.345	2.341	2.422	3.32	18.37	81.93	83	2047.6	2039.3	0.975	0.982	2002.6	17	17.2	16.27			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.33. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 3% de cemento portland.

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: PROYECTO DE GRADO

CEMENTO PORTLAND 3 %

Pesos Específicos (AASHTO T-100 , T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION		GRAVA	GRAVILLA	ARENA TRITURADA	CEMENTO-FILLER											
Mat. Retenido Tamiz N°4	2.675	gr/cm ³	46.6	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100			3/4"	3/8"	N°4	N°200											
Mat. Pasa Tamiz N°4	2.707	gr/cm ³	53.4	P. Especifico Total AASHTO T-228	1.011	% DE AGREGADOS :		30%	24%	43%	3%											
P. Esp. Agregado Total (Gag):	2.692	gr/cm ³	100			ORIGEN A GREGADOS :																
N° GOLPES:		75	130 °C Compactación																			
IDENTIFICACION	ALFURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)				LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA		
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dr.)	PROMEDIO (D _{rm} .)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)				MEDIA f.c.	CORREGIDA
		a	b					c	d	e	f	g	h	i	j	k	l				m	n
1	6.47	4.71	4.50	1205.5	1209.5	689.2	520.3	2.317						85	2096.9		0.970			11	10.5	
2	6.45	4.71	4.50	1207.0	1210.0	692.2	517.8	2.331						92	2269.6		0.975			10	10.0	
3	6.48	4.71	4.50	1207.3	1208.5	689.5	519.0	2.326	2.325	2.505	7.18	17.53	59.03	88	2170.9	2179.1	0.968	0.971	2115.9	11	11.0	10.50
4	6.35	5.26	5.00	1200.4	1204.0	695.6	508.4	2.361						91	2244.9		1.000			12	12.0	
5	6.37	5.26	5.00	1197.1	1200.5	690.3	510.2	2.346						92	2269.6		0.995			10	10.0	
6	6.37	5.26	5.00	1200.0	1202.8	694.0	508.8	2.358	2.355	2.485	5.23	16.88	69.00	98	2417.6	2310.7	0.995	0.997	2303.8	11	11.0	11.00
7	6.33	5.82	5.50	1208.7	1210.0	701.9	508.1	2.379						114	2812.3		1.005			13	13.0	
8	6.33	5.82	5.50	1204.6	1206.5	695.8	510.7	2.359						108	2664.3		1.005			12	12.0	
9	6.35	5.82	5.50	1208.8	1210.5	699.1	511.4	2.364	2.367	2.466	4.03	16.91	76.17	111	2738.3	2738.3	1.000	1.003	2746.5	12	12.0	12.33
10	6.25	6.38	6.00	1193.9	1195.0	693.2	501.8	2.379						107	2639.6		1.027			14	14.0	
11	6.33	6.38	6.00	1208.1	1202.4	692.2	510.2	2.368						105	2590.3		1.005			14	14.0	
12	6.32	6.38	6.00	1197.0	1198.5	692.9	505.6	2.367	2.372	2.448	3.12	17.19	81.88	107	2639.6	2623.2	1.008	1.013	2657.3	13	13.0	13.67
13	6.35	6.95	6.50	1205.5	1206.8	696.2	510.6	2.361						85	2096.9		1.000			14	14.0	
14	6.37	6.95	6.50	1200.0	1204.0	697.0	507.0	2.367						92	2269.6		0.995			15	15.0	
15	6.40	6.95	6.50	1202.0	1203.0	693.5	509.5	2.359	2.362	2.429	2.76	17.95	84.61	89	2195.6	2187.4	0.988	0.994	2174.2	17	17.0	15.33

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.34. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica con 4% de cemento portland.

" DISEÑO DE MEZCLA AFALTICA EN CALIENTE // METODO MARSHALL "

Proyecto: PROYECTO DE GRADO

CEMENTO PORTLAND 4 %

Pesos Específicos (AASHTO T-100 , T-85)		% de Agregados		C. Asfáltico AASHTO M-20		DOSIFICACION		GRAVA	GRAVILLA	ARENA TRITURADA	CEMENTO-FILLER											
Mat. Retenido Tamiz N° 4	2.675	gr/cm ³	46.6	Tipo de asfalto AASHTO M 20	85-100	% DE AGREGADOS :		3/4"	3/8"	N°4	N°200											
Mat. Pasa Tamiz N° 4	2.711	gr/cm ³	53.4	P. Especifico Total AASHTO T-228	1.011	ORIGEN A GREGADOS :		30%	24%	42%	4%											
P. Esp. Agregado Total (Gag):	2.694	gr/cm ³	100																			
N° GOLPES:		75		130 °C Compactación																		
IDENTIFICACION	ALFURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S.	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA	VOLUMEN BRIQUETA	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacios			ESTABILIDAD (Lb)				LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA		
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dc)	PROMEDIO (Dfm)	MAXIMA TEORICA	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)				MEDIA f.c.	CORREGIDA
		a	b					c	r	d	e	f	g	h	i	j	k				l	m
1	6.45	4.71	4.50	1178.5	1180.5	675.6	504.9	2.334					96	2368.3		0.975			10	10.0		
2	6.50	4.71	4.50	1184.0	1186.8	678.5	508.3	2.329					105	2590.3		0.963			11	10.5		
3	6.42	4.71	4.50	1180.4	1182.8	674.8	508.0	2.324	2.329	2.506	7.07	17.44	59.44	102	2516.3	2491.6	0.983	0.973	2424.3	12	11.5	10.67
4	6.45	5.26	5.00	1178.9	1181.8	680.0	501.8	2.349						115	2837.0		0.975			13	12.5	
5	6.40	5.26	5.00	1180.0	1183.5	682.5	501.0	2.355						120	2960.3		0.988			11	11.0	
6	6.50	5.26	5.00	1181.8	1185.9	681.6	504.3	2.343	2.349	2.487	5.54	17.16	67.72	118	2911.0	2902.8	0.963	0.975	2830.2	11	11.4	11.63
7	6.50	5.82	5.50	1185.0	1190.0	686.9	503.1	2.355						130	3207.0		0.963			12	12.4	
8	6.48	5.82	5.50	1187.5	1192.8	692.2	500.6	2.372						125	3083.7		0.968			13	12.5	
9	6.45	5.82	5.50	1178.8	1182.1	684.0	498.1	2.367	2.365	2.468	4.19	17.05	75.43	126	3108.4	3133.0	0.975	0.968	3032.8	12	11.8	12.23
10	6.45	6.38	6.00	1180.0	1183.5	687.5	496.0	2.379						120	2960.3		0.975			14	14.0	
11	6.50	6.38	6.00	1185.4	1187.7	687.0	500.7	2.367						118	2911.0		0.963			14	13.5	
12	6.40	6.38	6.00	1190.1	1193.7	692.5	501.2	2.375	2.374	2.449	3.09	17.18	82.00	126	3108.4	2993.2	0.988	0.975	2918.4	13	13.0	13.50
13	6.48	6.95	6.50	1189.0	1192.0	690.5	501.5	2.371						112	2763.0		0.968			14	14.0	
14	6.40	6.95	6.50	1180.0	1183.1	687.0	496.1	2.379						105	2590.3		0.988			15	15.0	
15	6.50	6.95	6.50	1185.4	1187.8	688.5	499.3	2.374	2.375	2.431	2.32	17.59	86.78	112	2763.0	2705.4	0.963	0.973	2632.4	16	15.5	14.83

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4.3. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland

Con la ayuda de las gráficas podemos definir nuestro contenido óptimo de cemento asfáltico, el criterio para determinar el contenido óptimo es realizando un promedio de los óptimos parciales de cada gráfica.

Tabla 4.35. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 2% de cemento portland.

VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.900	2.352	-----	-----
% VACIOS	5.788	4.000	3.000	5.000
R.B.V.	5.221	70.000	65.000	75.000
V.A.M	5.000	17.250		
ESTABILIDAD (Lb)	5.104	2464.688	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.810	11.000	8.000	14.000
PROMEDIO (%)	5.471			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.36. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 3% de cemento portland.

VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.850	2.371	-----	-----
% VACIOS	5.485	4.000	3.000	5.000
R.B.V.	5.066	70.000	65.000	75.000
V.A.M	5.200	16.800		
ESTABILIDAD (Lb)	5.812	2744.304	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.810	11.000	8.000	14.000
PROMEDIO (%)	5.537			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.37. Contenido óptimo de cemento asfáltico con 4% de cemento portland.

VALORES				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	OBTENIDOS DE GRAFICOS	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	6.300	2.375	-----	-----
% VACIOS	5.581	4.000	3.000	5.000
R.B.V.	5.128	70.000	65.000	75.000
V.A.M	5.500	17.050		
ESTABILIDAD (Lb)	5.586	3014.230	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.780	11.000	8.000	14.000
PROMEDIO (%)	5.646			

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 4.38. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 2% de Cemento Portland.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.471	2.349	-----	-----
% VACIOS	5.471	4.320	3.000	5.000
R.B.V.	5.471	75.100	65.000	75.000
V.A.M	5.471	17.280		
ESTABILIDAD (Lb)	5.471	2360.000	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.471	12.000	8.000	14.000
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.471	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.39. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 3% de Cemento Portland.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.537	2.370	-----	-----
% VACIOS	5.537	3.680	3.000	5.000
R.B.V.	5.537	77.800	65.000	75.000
V.A.M	5.537	17.100		
ESTABILIDAD (Lb)	5.537	2720.000	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.537	12.520	8.000	14.000
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.537	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.40. Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 4% de Cemento Portland.

VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL				
CARACTERISTICAS	% DE ASFALTO	VALORES CON EL % OPTIMO	ESPECIFICACIONES TECNICAS	
DENSIDAD	5.646	2.370	-----	-----
% VACIOS	5.646	3.600	3.000	5.000
R.B.V.	5.646	78.720	65.000	75.000
V.A.M	5.646	17.000		
ESTABILIDAD (Lb)	5.646	3005.000	> 1800 Lb.	
FLUENCIA 1/100"	5.646	12.900	8.000	14.000
% OPTIMO DE ASFALTO PROPUESTO			5.646	

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. DISEÑO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS CON CONTENIDO ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

Una vez determinados los contenidos óptimos de cemento asfáltico de cada diseño de las mezclas asfálticas, se realizan 30 briquetas de cada diseño para realizar un tratamiento estadístico y verificar la confiabilidad de los resultados

4.1.5.1. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica normal con 0% de polvo de roca

Tabla 4.41. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica normal con 0% de polvo de roca.

% Optimo de Asfalto	Densidad (Grs/cm³)	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.372	2.319	1973.558	9.055	5.070	17.392	70.846
5.372	2.307	2216.503	9.252	5.536	17.797	68.894
5.372	2.314	2086.421	9.449	5.278	17.572	69.966
5.372	2.325	2108.685	9.055	4.804	17.160	72.006
5.372	2.318	2138.547	10.039	5.088	17.407	70.773
5.372	2.322	1985.917	9.449	4.946	17.283	71.384
5.372	2.320	2075.936	9.055	5.033	17.359	71.006
5.372	2.314	2065.378	8.740	5.287	17.580	69.927
5.372	2.318	2078.453	9.646	5.115	17.430	70.657
5.372	2.315	2024.204	10.039	5.209	17.513	70.254
5.372	2.317	1948.888	9.252	5.132	17.445	70.582
5.372	2.312	2088.814	8.858	5.344	17.630	69.689
5.372	2.308	2216.503	9.449	5.513	17.777	68.988
5.372	2.315	2169.853	9.252	5.216	17.519	70.225
5.372	2.325	2091.663	8.858	4.806	17.161	71.998
5.372	2.314	2070.694	9.252	5.274	17.569	69.980
5.372	2.310	2037.329	8.661	5.436	17.710	69.305
5.372	2.312	2060.209	9.449	5.339	17.626	69.709
5.372	2.313	2039.080	8.858	5.311	17.602	69.824
5.372	2.320	2054.967	9.646	5.009	17.338	71.112
5.372	2.309	2041.152	9.055	5.467	17.737	69.178
5.372	2.319	2154.632	9.252	5.047	17.372	70.945
5.372	2.319	2175.848	9.449	5.057	17.380	70.902
5.372	2.317	2114.051	9.449	5.129	17.443	70.593
5.372	2.313	2072.162	9.646	5.308	17.598	69.840
5.372	2.319	2053.709	9.252	5.053	17.377	70.921
5.372	2.321	2028.756	8.858	4.963	17.298	71.309
5.372	2.322	2086.421	9.055	4.922	17.263	71.487
5.372	2.318	2074.185	9.449	5.109	17.425	70.682
5.372	2.321	2065.452	9.843	4.982	17.314	71.229

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.2. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica normal con 2% de polvo de roca

Tabla 4.42. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica normal con 2% de polvo de roca.

% Optimo de Asfalto	Densidad (Grs/cm³)	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.470	2.332	2499.018	10.630	4.404	17.019	74.125
5.470	2.321	2357.168	10.433	4.850	17.406	72.138
5.470	2.327	2538.489	10.630	4.589	17.180	73.290
5.470	2.325	2485.388	10.236	4.660	17.242	72.972
5.470	2.333	2458.375	10.039	4.352	16.974	74.361
5.470	2.334	2472.930	10.787	4.292	16.923	74.635
5.470	2.336	2448.014	10.630	4.233	16.871	74.908
5.470	2.334	2486.683	10.827	4.298	16.927	74.610
5.470	2.342	2533.555	10.827	3.971	16.644	76.141
5.470	2.341	2472.930	11.024	4.004	16.673	75.982
5.470	2.340	2474.028	11.024	4.058	16.719	75.730
5.470	2.322	2468.378	10.827	4.811	17.373	72.307
5.470	2.340	2449.037	10.433	4.064	16.725	75.698
5.470	2.332	2533.555	10.630	4.394	17.011	74.168
5.470	2.350	2411.749	10.236	3.658	16.372	77.656
5.470	2.324	2429.943	11.024	4.703	17.279	72.781
5.470	2.330	2491.617	11.024	4.459	17.068	73.872
5.470	2.334	2411.749	10.906	4.328	16.953	74.473
5.470	2.331	2533.555	10.433	4.414	17.028	74.078
5.470	2.340	2316.311	10.236	4.068	16.728	75.681
5.470	2.345	2466.947	10.433	3.847	16.536	76.735
5.470	2.345	2448.014	10.236	3.860	16.547	76.672
5.470	2.330	2466.947	9.843	4.491	17.095	73.730
5.470	2.344	2513.819	11.811	3.892	16.575	76.518
5.470	2.343	2491.123	9.646	3.942	16.618	76.281
5.470	2.333	2477.432	9.843	4.352	16.974	74.362
5.470	2.341	2443.758	10.630	4.017	16.683	75.923
5.470	2.341	2508.219	10.236	4.011	16.679	75.949
5.470	2.336	2466.947	10.039	4.211	16.852	75.013
5.470	2.342	2514.313	10.433	3.994	16.664	76.030

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.3. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica normal con 3% de polvo de roca

Tabla 4.43. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica normal con 3% de polvo de roca.

% Optimo de Asfalto	Densidad (Grs/cm³)	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.510	2.355	2623.969	10.827	3.404	16.237	79.034
5.510	2.353	2469.414	11.417	3.486	16.308	78.623
5.510	2.352	2551.440	11.024	3.505	16.324	78.530
5.510	2.353	2516.286	11.220	3.476	16.299	78.674
5.510	2.344	2609.562	11.811	3.854	16.627	76.822
5.510	2.346	2561.283	11.417	3.743	16.531	77.359
5.510	2.358	2544.965	11.181	3.274	16.125	79.693
5.510	2.362	2639.510	11.417	3.104	15.977	80.571
5.510	2.358	2614.964	11.417	3.249	16.102	79.824
5.510	2.343	2495.722	11.024	3.865	16.636	76.770
5.510	2.354	2564.392	11.378	3.416	16.248	78.973
5.510	2.358	2644.691	11.811	3.267	16.118	79.732
5.510	2.355	2568.906	11.811	3.409	16.242	79.008
5.510	2.354	2533.555	11.417	3.419	16.250	78.961
5.510	2.328	2525.537	10.827	4.506	17.192	73.792
5.510	2.343	2639.510	11.220	3.874	16.645	76.725
5.510	2.352	2586.150	11.024	3.520	16.337	78.455
5.510	2.346	2557.916	11.260	3.748	16.535	77.335
5.510	2.350	2486.683	11.024	3.609	16.415	78.014
5.510	2.345	2494.454	11.417	3.797	16.578	77.096
5.510	2.339	2565.625	11.417	4.026	16.776	76.003
5.510	2.363	2506.110	11.181	3.051	15.931	80.848
5.510	2.358	2677.723	11.417	3.267	16.118	79.731
5.510	2.346	2509.194	11.811	3.773	16.557	77.214
5.510	2.357	2546.383	11.811	3.296	16.143	79.583
5.510	2.365	2660.233	11.378	2.986	15.874	81.191
5.510	2.357	2544.965	12.008	3.310	16.155	79.512
5.510	2.349	2609.562	11.811	3.645	16.446	77.837
5.510	2.341	2564.392	11.378	3.962	16.721	76.305
5.510	2.344	2548.998	11.024	3.843	16.617	76.876

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.4. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica normal con 4% de polvo de roca

Tabla 4.44. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica normal con 4% de polvo de roca.

% Optimo de Asfalto	Densidad (Grs/cm³)	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.540	2.362	2604.356	11.024	3.058	16.001	80.888
5.540	2.373	2647.725	11.614	2.591	15.597	83.388
5.540	2.358	2693.907	11.811	3.204	16.128	80.134
5.540	2.352	2533.555	12.795	3.464	16.353	78.819
5.540	2.366	2716.183	11.024	2.897	15.862	81.736
5.540	2.361	2627.200	12.205	3.090	16.029	80.723
5.540	2.353	2387.388	10.630	3.436	16.329	78.957
5.540	2.372	2635.884	11.811	2.636	15.636	83.140
5.540	2.368	2466.947	11.417	2.796	15.775	82.273
5.540	2.360	2714.925	10.236	3.142	16.074	80.450
5.540	2.371	2682.250	11.417	2.684	15.677	82.878
5.540	2.367	2743.492	11.811	2.848	15.819	81.997
5.540	2.368	2630.999	11.811	2.803	15.780	82.238
5.540	2.360	2635.884	11.024	3.155	16.085	80.385
5.540	2.365	2669.878	10.827	2.922	15.884	81.602
5.540	2.358	2657.642	11.614	3.218	16.140	80.063
5.540	2.374	2648.959	11.024	2.568	15.577	83.511
5.540	2.370	2770.629	11.811	2.729	15.716	82.636
5.540	2.369	2479.282	12.205	2.786	15.765	82.330
5.540	2.370	2275.695	12.205	2.715	15.704	82.712
5.540	2.353	2520.727	11.811	3.440	16.333	78.935
5.540	2.357	2411.749	11.220	3.281	16.194	79.742
5.540	2.367	2639.510	10.630	2.841	15.813	82.036
5.540	2.379	2709.448	11.811	2.373	15.408	84.597
5.540	2.357	2700.074	12.205	3.274	16.188	79.775
5.540	2.362	2681.868	11.417	3.076	16.017	80.793
5.540	2.357	2544.965	11.811	3.261	16.177	79.843
5.540	2.366	2731.466	12.598	2.896	15.861	81.740
5.540	2.358	2757.554	11.811	3.238	16.157	79.958
5.540	2.354	2639.634	11.220	3.386	16.286	79.208

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.5. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 2% de cal hidratada

Tabla 4.45. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 2% de cal hidratada.

% Optimo de Asfalto	Densidad (Grs/cm³)	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.540	2.327	2436.111	12.795	4.510	17.259	73.870
5.540	2.335	2533.555	12.598	4.184	16.977	75.354
5.540	2.337	2442.278	12.992	4.085	16.891	75.817
5.540	2.332	2513.819	13.780	4.282	17.061	74.905
5.540	2.339	2393.432	13.976	4.023	16.838	76.105
5.540	2.338	2320.904	12.992	4.038	16.850	76.036
5.540	2.328	2349.767	12.795	4.454	17.211	74.121
5.540	2.336	2454.613	12.402	4.116	16.918	75.669
5.540	2.333	2513.104	12.598	4.244	17.029	75.079
5.540	2.335	2448.014	12.598	4.174	16.968	75.402
5.540	2.335	2497.414	11.811	4.149	16.947	75.517
5.540	2.339	2417.608	12.598	4.015	16.831	76.143
5.540	2.340	2508.219	13.780	3.959	16.782	76.411
5.540	2.329	2543.965	12.205	4.417	17.179	74.288
5.540	2.333	2491.617	12.598	4.238	17.024	75.104
5.540	2.332	2405.274	13.780	4.276	17.057	74.930
5.540	2.341	2558.891	12.795	3.918	16.746	76.605
5.540	2.331	2499.092	12.205	4.330	17.104	74.682
5.540	2.332	2386.772	13.583	4.306	17.083	74.793
5.540	2.339	2425.108	12.992	3.994	16.812	76.246
5.540	2.329	2315.168	12.402	4.416	17.178	74.292
5.540	2.339	2368.270	12.008	4.018	16.833	76.132
5.540	2.337	2423.961	13.189	4.083	16.889	75.827
5.540	2.334	2520.431	13.386	4.228	17.015	75.153
5.540	2.334	2479.159	12.205	4.209	16.998	75.240
5.540	2.336	2494.084	12.520	4.137	16.936	75.575
5.540	2.336	2423.961	12.795	4.120	16.922	75.651
5.540	2.339	2448.014	12.402	4.019	16.834	76.127
5.540	2.331	2417.855	13.780	4.351	17.121	74.588
5.540	2.335	2475.631	13.780	4.153	16.950	75.501

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.6. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 3% de cal hidratada

Tabla 4.46. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 3% de cal hidratada.

% Optimo de Asfalto	Densidad (Grs/cm³)	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.660	2.335	2603.246	13.780	4.000	17.071	76.571
5.660	2.334	2423.776	14.370	4.035	17.102	76.408
5.660	2.344	2436.949	14.173	3.626	16.748	78.352
5.660	2.341	2442.278	13.386	3.743	16.850	77.785
5.660	2.346	2472.251	14.961	3.552	16.685	78.711
5.660	2.341	2591.282	13.780	3.755	16.860	77.727
5.660	2.345	2488.681	14.764	3.596	16.723	78.496
5.660	2.347	2656.804	14.961	3.522	16.659	78.859
5.660	2.331	2565.625	14.961	4.168	17.217	75.790
5.660	2.340	2716.183	14.567	3.778	16.880	77.620
5.660	2.339	2448.445	13.780	3.812	16.909	77.455
5.660	2.347	2557.916	14.370	3.507	16.646	78.931
5.660	2.343	2369.256	14.173	3.660	16.778	78.185
5.660	2.340	2564.096	14.961	3.791	16.892	77.554
5.660	2.336	2583.819	15.354	3.943	17.023	76.835
5.660	2.329	2745.219	14.764	4.258	17.294	75.381
5.660	2.347	2606.675	14.173	3.514	16.652	78.898
5.660	2.337	2611.017	14.961	3.916	16.999	76.966
5.660	2.338	2375.300	14.173	3.859	16.950	77.231
5.660	2.349	2448.445	13.780	3.411	16.563	79.405
5.660	2.342	2460.780	14.567	3.696	16.809	78.012
5.660	2.340	2618.788	13.780	3.781	16.883	77.604
5.660	2.349	2509.996	13.386	3.406	16.559	79.430
5.660	2.345	2569.128	14.961	3.577	16.706	78.589
5.660	2.334	2656.804	14.370	4.048	17.113	76.346
5.660	2.329	2448.445	14.567	4.255	17.292	75.395
5.660	2.339	2424.861	13.780	3.822	16.918	77.407
5.660	2.347	2533.555	13.780	3.491	16.632	79.011
5.660	2.337	2549.590	14.173	3.913	16.996	76.978
5.660	2.336	2399.476	13.780	3.943	17.023	76.835

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.7. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 4% de cal hidratada

Tabla 4.47. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 4% de cal hidratada.

% Optimo de Asfalto	Densidad (Grs/cm³)	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.710	2.360	2557.916	13.780	2.894	16.223	82.163
5.710	2.341	2710.904	14.370	3.676	16.898	78.247
5.710	2.353	2673.949	14.764	3.164	16.456	80.772
5.710	2.344	2497.414	13.780	3.563	16.800	78.792
5.710	2.350	2525.537	14.882	3.313	16.584	80.026
5.710	2.352	2539.969	15.315	3.226	16.510	80.460
5.710	2.353	2605.096	14.882	3.178	16.468	80.701
5.710	2.350	2621.748	14.488	3.311	16.583	80.032
5.710	2.362	2644.321	13.780	2.797	16.140	82.668
5.710	2.360	2553.846	15.315	2.900	16.228	82.132
5.710	2.356	2762.981	14.449	3.068	16.373	81.264
5.710	2.364	2731.996	14.961	2.739	16.090	82.976
5.710	2.348	2497.414	14.961	3.406	16.664	79.564
5.710	2.354	2644.691	14.803	3.144	16.439	80.872
5.710	2.346	2577.343	13.780	3.491	16.738	79.144
5.710	2.345	2736.239	13.780	3.519	16.762	79.007
5.710	2.347	2600.039	14.173	3.441	16.695	79.388
5.710	2.342	2619.836	14.370	3.638	16.865	78.429
5.710	2.371	2482.242	13.976	2.463	15.852	84.461
5.710	2.356	2681.868	13.976	3.066	16.372	81.271
5.710	2.346	2647.553	14.961	3.485	16.733	79.172
5.710	2.340	2595.352	14.370	3.734	16.948	77.969
5.710	2.352	2627.200	15.157	3.216	16.501	80.511
5.710	2.343	2706.932	14.961	3.602	16.834	78.601
5.710	2.361	2677.625	14.567	2.870	16.203	82.285
5.710	2.356	2688.973	14.764	3.068	16.373	81.263
5.710	2.355	2534.048	14.528	3.086	16.389	81.171
5.710	2.345	2593.440	14.882	3.522	16.765	78.991
5.710	2.348	2690.798	14.567	3.372	16.636	79.728
5.710	2.338	2618.788	14.882	3.804	17.008	77.634

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.8. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 2% de cemento portland

Tabla 4.48. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 2% de cemento portland.

% Optimo de Asfalto	Densidad (Grs/cm³)	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.590	2.353	2314.305	11.811	3.343	16.355	79.562
5.590	2.346	2405.274	11.811	3.649	16.620	78.043
5.590	2.347	2350.507	11.811	3.597	16.575	78.298
5.590	2.346	2330.871	13.780	3.652	16.623	78.028
5.590	2.356	2436.949	12.598	3.246	16.271	80.051
5.590	2.349	2308.446	11.811	3.524	16.511	78.659
5.590	2.351	2368.270	11.378	3.424	16.425	79.152
5.590	2.357	2448.445	11.811	3.193	16.225	80.322
5.590	2.350	2285.010	11.890	3.478	16.471	78.887
5.590	2.360	2374.067	11.811	3.072	16.121	80.943
5.590	2.365	2252.570	11.811	2.867	15.943	82.018
5.590	2.358	2406.877	12.598	3.157	16.194	80.506
5.590	2.354	2309.063	12.205	3.310	16.326	79.729
5.590	2.353	2337.741	12.008	3.347	16.358	79.540
5.590	2.340	2312.714	12.402	3.896	16.834	76.856
5.590	2.350	2188.799	12.008	3.472	16.466	78.916
5.590	2.355	2349.077	11.811	3.270	16.292	79.926
5.590	2.344	2388.128	11.811	3.733	16.692	77.639
5.590	2.348	2285.010	12.008	3.545	16.530	78.553
5.590	2.346	2442.278	12.205	3.645	16.616	78.063
5.590	2.352	2399.846	12.205	3.400	16.404	79.273
5.590	2.356	2309.186	11.811	3.221	16.249	80.179
5.590	2.342	2245.403	11.811	3.818	16.766	77.226
5.590	2.352	2442.278	11.850	3.386	16.392	79.346
5.590	2.348	2425.108	12.402	3.553	16.537	78.513
5.590	2.346	2320.164	12.402	3.651	16.621	78.036
5.590	2.355	2285.010	12.008	3.265	16.287	79.956
5.590	2.353	2279.274	12.205	3.366	16.374	79.446
5.590	2.352	2343.600	12.795	3.406	16.409	79.244
5.590	2.343	2431.226	11.890	3.779	16.732	77.417

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.9. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 3% de cemento portland

Tabla 4.49. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 3% de cemento portland.

% Optimo de Asfalto	Densidad (Grs/cm³)	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.640	2.369	2735.351	12.795	2.617	15.834	83.473
5.640	2.374	2776.796	12.205	2.415	15.660	84.578
5.640	2.367	2698.939	12.205	2.728	15.930	82.875
5.640	2.361	2840.616	12.992	2.945	16.117	81.729
5.640	2.356	2714.629	12.205	3.181	16.322	80.508
5.640	2.378	2693.290	12.598	2.239	15.507	85.563
5.640	2.372	2557.916	13.386	2.490	15.724	84.167
5.640	2.374	2597.696	13.189	2.413	15.658	84.590
5.640	2.369	2575.740	12.598	2.616	15.833	83.478
5.640	2.364	2890.892	12.598	2.850	16.036	82.226
5.640	2.368	2771.270	11.417	2.683	15.891	83.116
5.640	2.361	2664.303	13.386	2.958	16.129	81.660
5.640	2.363	2861.659	12.795	2.885	16.066	82.042
5.640	2.365	2742.259	12.598	2.790	15.984	82.545
5.640	2.378	2807.189	12.205	2.243	15.511	85.541
5.640	2.377	2756.074	13.386	2.305	15.565	85.190
5.640	2.369	2836.990	12.795	2.631	15.846	83.396
5.640	2.369	2861.659	12.992	2.622	15.839	83.443
5.640	2.373	2752.805	12.598	2.467	15.705	84.289
5.640	2.368	2700.074	12.402	2.650	15.863	83.291
5.640	2.364	2848.880	11.811	2.821	16.011	82.379
5.640	2.367	2714.925	11.811	2.697	15.903	83.040
5.640	2.365	2837.582	12.008	2.800	15.992	82.493
5.640	2.361	2757.060	12.598	2.951	16.123	81.697
5.640	2.375	2650.982	12.598	2.388	15.636	84.726
5.640	2.369	2618.788	12.205	2.612	15.829	83.502
5.640	2.370	2623.969	13.386	2.606	15.824	83.534
5.640	2.359	2762.981	12.992	3.032	16.193	81.273
5.640	2.371	2675.528	13.386	2.532	15.760	83.937
5.640	2.366	2698.939	12.402	2.753	15.952	82.741

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5.10. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 4% de cemento portland

Tabla 4.50. Contenido óptimo de la mezcla asfáltica con 4% de cemento portland.

% Optimo de Asfalto	Densidad (Grs/cm³)	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
6.450	2.379	3123.772	12.598	2.071	15.600	86.722
6.450	2.381	2960.337	12.402	1.957	15.501	87.374
6.450	2.383	2766.065	12.992	1.875	15.430	87.850
6.450	2.385	3166.944	12.283	1.804	15.369	88.260
6.450	2.377	3078.750	12.992	2.156	15.672	86.245
6.450	2.376	2819.721	13.386	2.165	15.681	86.191
6.450	2.374	2838.223	13.583	2.254	15.757	85.694
6.450	2.382	2910.998	13.780	1.925	15.473	87.561
6.450	2.384	3007.702	12.992	1.854	15.412	87.969
6.450	2.378	2979.579	12.441	2.114	15.636	86.479
6.450	2.372	3066.860	12.559	2.346	15.836	85.188
6.450	2.375	2960.337	12.795	2.205	15.714	85.971
6.450	2.377	3013.130	12.795	2.151	15.668	86.274
6.450	2.370	3148.442	13.583	2.413	15.894	84.818
6.450	2.374	2889.165	12.402	2.256	15.759	85.683
6.450	2.380	2886.328	12.205	2.033	15.566	86.941
6.450	2.389	3060.557	12.795	1.624	15.214	89.326
6.450	2.383	3123.772	13.583	1.874	15.430	87.852
6.450	2.371	2964.259	12.795	2.371	15.858	85.048
6.450	2.377	2856.725	12.402	2.120	15.641	86.447
6.450	2.384	3032.766	13.189	1.834	15.395	88.085
6.450	2.378	3026.759	12.205	2.110	15.633	86.503
6.450	2.378	3041.721	12.402	2.088	15.614	86.628
6.450	2.384	2938.134	13.386	1.832	15.393	88.100
6.450	2.380	2843.034	12.008	2.011	15.548	87.065
6.450	2.375	2970.081	12.205	2.230	15.736	85.828
6.450	2.373	2972.129	13.780	2.287	15.785	85.514
6.450	2.375	2818.241	13.386	2.217	15.725	85.902
6.450	2.383	2955.156	13.780	1.885	15.439	87.792
6.450	2.376	2932.769	12.992	2.180	15.693	86.110

Fuente: Elaboración propia.

4.2. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.2.1. RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS DISEÑOS

Tabla 4.51. Resumen de resultados de las características de la mezcla asfáltica normal.

MEZCLA ASFÁLTICA				
CARACTERÍSTICAS	NORMAL			
	0%	2%	3%	4%
% OPTIMO DE C.A. (%)	5.370	5.470	5.510	5.540
% VACÍOS (%)	5.170	4.400	4.000	3.720
% VAM (%)	17.450	17.000	16.800	16.700
% RBV (%)	70.650	74.100	76.500	77.320
DENSIDAD (gr/cm ³)	2.318	2.336	2.351	2.368
ESTABILIDAD (Lb)	2062.000	2470.000	2578.000	2625.000
FLUJO (1/100 plg)	9.180	10.450	11.350	11.800

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.52. Resumen de resultados de las características de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada.

MEZCLA ASFÁLTICA				
CARACTERÍSTICAS	CON ADICIÓN DE CAL HIDRATADA			
	0%	2%	3%	4%
% OPTIMO DE C.A. (%)	5.370	5.540	5.660	5.710
% VACÍOS (%)	5.170	4.420	3.400	2.400
% VAM (%)	17.450	17.200	16.450	15.650
% RBV (%)	70.650	74.420	79.300	84.680
DENSIDAD (gr/cm ³)	2.318	2.332	2.342	2.354
ESTABILIDAD (Lb)	2062.000	2448.000	2572.000	2630.000
FLUJO (1/100 plg)	9.180	12.800	14.300	14.500

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.53. Resumen de resultados de las características de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland.

CARACTERÍSTICAS	MEZCLA ASFÁLTICA			
	CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND			
	0%	2%	3%	4%
% OPTIMO DE C.A. (%)	5.370	5.590	5.640	5.750
% VACÍOS (%)	5.170	4.320	3.680	3.600
% VAM (%)	17.450	17.280	17.100	17.000
% RBV (%)	70.650	75.100	77.800	78.720
DENSIDAD (gr/cm ³)	2.318	2.349	2.370	2.370
ESTABILIDAD (Lb)	2062.000	2360.000	2720.000	3005.000
FLUJO (1/100 plg)	9.180	12.000	12.520	12.900

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.2.2.1. Estadística descriptiva

Tabla 4.54. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica normal con 0% de polvo de roca.

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MEDIANA	MODOS	N PARA MODA
Estabilidad (Lb)	2079.900	63.300	2073.200	2086.420, 2216.500	2.000
Flujo (1/100")	9.287	0.357	9.252	9.449	7.000
Densidad (gr/cm ³)	2.316	0.005	2.318	*	0.000
% Vacíos (%)	5.159	0.196	5.122	*	0.000
% VAM (%)	17.469	0.171	17.437	*	0.000
% RBV (%)	70.474	0.833	70.625	*	0.000

Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia.

Tabla 4.55. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica normal con 2% de polvo de roca.

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MEDIANA	MODOS	N PARA MODA
Estabilidad (Lb)	2469.000	49.600	2472.900	2466.950, 2533.550	3.000
Flujo (1/100")	10.533	0.448	10.531	10.236, 10.433, 10.630	5.000
Densidad (gr/cm³)	2.336	0.007	2.335	*	0.000
% Vacíos (%)	4.241	0.304	4.263	*	0.000
% VAM (%)	16.878	0.264	16.897	*	0.000
% RBV (%)	74.894	1.402	74.771	*	0.000

Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia.

Tabla 4.56. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica normal con 3% de polvo de roca.

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MEDIANA	MODOS	N PARA MODA
Estabilidad (Lb)	2565.400	55.000	2559.600	2544.960, 2564.390, 2609.560, 2639.510	2.000
Flujo (1/100")	11.373	0.317	11.398	11.4173	8.000
Densidad (gr/cm³)	2.351	0.008	2.352	*	0.000
% Vacíos (%)	3.556	0.332	3.496	*	0.000
% VAM (%)	16.369	0.288	16.316	*	0.000
% RBV (%)	78.303	1.630	78.576	*	0.000

Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia.

Tabla 4.57. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica normal con 4% de polvo de roca.

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MEDIANA	MODO	N PARA MODA
Estabilidad (Libras)	2618.700	118.100	2643.700	2635.880	2.000
Flujo (1/100")	11.562	0.596	11.713	11.811	9.000
Densidad (gr/cm³)	2.364	0.007	2.364	*	0.000
% Vacíos (%)	2.994	0.294	2.990	*	0.000
% VAM (%)	15.946	0.255	15.943	*	0.000
% RBV (%)	81.250	1.549	81.245	*	0.000

Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia.

Tabla 4.58. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con adición de 2% de cemento portland.

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MEDIANA	MODO	N PARA MODA
Estabilidad (Lb)	2345.800	67.100	2340.700	2285.010	3.000
Flujo (1/100")	12.092	0.445	11.949	11.811	11.000
Densidad (gr/cm³)	2.351	0.006	2.352	*	0.000
% Vacíos (%)	3.442	0.233	3.415	*	0.000
% VAM (%)	16.441	0.202	16.417	*	0.000
% RBV (%)	79.078	1.166	79.198	*	0.000

Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia.

Tabla 4.59. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con adición de 3% de cemento portland.

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MEDIANA	MODO	N PARA MODA
Estabilidad (Lb)	2734.200	90.000	2738.800	2698.940, 2861.660	2.000
Flujo (1/100")	12.618	0.520	12.598	12.598	7.000
Densidad (gr/cm³)	2.368	0.006	2.369	*	0.000
% Vacíos (%)	2.664	0.235	2.641	*	0.000
% VAM (%)	15.875	0.203	15.855	*	0.000
% RBV (%)	83.234	1.263	83.344	*	0.000

Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia.

Tabla 4.60. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con adición de 4% de cemento portland.

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MEDIANA	MODO	N PARA MODA
Estabilidad (Lb)	2971.700	104.400	2967.200	2960.340, 3123.770	2.000
Flujo (1/100")	12.890	0.545	12.795	12.402, 12.795, 12.992	4.000
Densidad (gr/cm³)	2.379	0.005	2.378	*	0.000
% Vacíos (%)	2.075	0.193	2.112	*	0.000
% VAM (%)	15.602	0.167	15.635	*	0.000
% RBV (%)	86.714	1.101	86.491	*	0.000

Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia.

Tabla 4.61. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con adición de 2% de cal hidratada.

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MEDIANA	MODO	N PARA MODA
Estabilidad (Lb)	2450.200	64.100	2448.000	2423.960, 2448.010	2.000
Flujo (1/100")	12.878	0.606	12.795	12.598, 13.780	5.000
Densidad (gr/cm³)	2.335	0.004	2.335	*	0.000
% Vacíos (%)	4.181	0.155	4.163	*	0.000
% VAM (%)	16.975	0.135	16.959	*	0.000
% RBV (%)	75.372	0.718	75.451	*	0.000

Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia.

Tabla 4.62. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con adición de 3% de cal hidratada.

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MEDIANA	MODO	N PARA MODA
Estabilidad (Lb)	2529.300	99.400	2541.600	2448.450	3.000
Flujo (1/100")	14.311	0.535	14.272	13.779	8.000
Densidad (gr/cm³)	2.340	0.006	2.340	2.336	2.000
% Vacíos (%)	3.779	0.237	3.779	3.943	2.000
% VAM (%)	16.881	0.205	16.881	17.023	2.000
% RBV (%)	77.626	1.130	77.612	76.835	2.000

Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia.

Tabla 4.63. Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con adición de 4% de cal hidratada.

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MEDIANA	MODO	N PARA MODA
Estabilidad (Lb)	2621.5	76.100	2620.800	2497.410	2.000
Flujo (1/100")	14.541	0.480	14.567	13.780	5.000
Densidad (gr/cm³)	2.351	0.008	2.351	*	0.000
% Vacíos (%)	3.259	0.325	3.269	*	0.000
% VAM (%)	16.538	0.281	16.546	*	0.000
% RBV (%)	80.323	1.645	80.246	*	0.000

Fuente: Programa Minitab - Elaboración propia.

4.2.2.2. 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 μ = valor especificado

Hipótesis alterna = H_1 $\left\{ \begin{array}{l} \mu > \text{valor especificado} \\ \mu \neq \text{valor especificado} \\ \mu < \text{valor especificado} \end{array} \right.$

4.2.2.2.1. Variable estabilidad

4.2.2.2.1.1. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 2% de filler

Muestra	N	Media	Desv. est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
Cemento portland 2%	30	2345.80	67.10	12.20	2325.00
Cal hidratada 2%	30	2450.20	64.10	11.70	2430.30

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2469.00$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2469.00$

Muestra	Valor T	Valor p
Cemento portland 2 %	-10.06	1.00
Cal hidratada 2 %	-1.61	0.94

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento portland, con un nivel de confianza del 95%.

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 2% de cal hidratada, con un nivel de confianza del 95%.

4.2.2.2.1.2. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 3% de filler

Muestra	N	Media	Desv. est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
Cemento portland 3%	30	2734.20	90.00	16.40	2706.30
Cal hidratada 3%	30	2529.30	99.40	18.10	2498.50

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2565.40$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2565.40$

Muestra	Valor T	Valor p
Cemento portland 3 %	10.27	0.00
Cal hidratada 3 %	-1.99	0.97

Debido a que el valor P para esta prueba es menor o igual a 0.05, se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 3% de cemento portland, con un nivel de confianza del 95%.

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 3% de cal hidratada, con un nivel de confianza del 95%.

4.2.2.1.3. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 4% de filler

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para μ
Cemento portland 4%	30	2971.70	104.40	19.10	2939.40
Cal hidratada 4%	30	2621.50	76.10	13.90	2597.90

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2618.70$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2618.70$

Muestra	Valor T	Valor p
Cemento portland 4 %	18.52	0.00
Cal hidratada 4 %	0.20	0.42

Debido a que el valor P para esta prueba es menor o igual a 0.05, se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 4% de cemento portland, con un nivel de confianza del 95%.

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 4% de cal hidratada, con un nivel de confianza del 95%.

4.2.2.2.2. Variable fluencia

4.2.2.2.2.1. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 2% de filler

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ
Cemento portland 2%	30	12.09	0.45	0.08	12.23
Cal hidratada 2%	30	12.88	0.61	0.11	13.07

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 10.53$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu < 10.53$

Muestra	Valor T	Valor p
Cemento portland 2 %	19.19	1.00
Cal hidratada 2 %	21.20	1.00

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 2% de cemento portland, con un nivel de confianza del 95%.

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 2% de cal hidratada, con un nivel de confianza del 95%.

4.2.2.2.2.2. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 3% de filler

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ
---------	---	-------	------------	----------------------------	-----------------------------------

Cemento portland 3%	30	12.62	0.52	0.09	12.78
Cal hidratada 3%	30	14.31	0.54	0.10	14.48

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 11.37$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu < 11.37$

Muestra	Valor T	Valor p
Cemento portland 3 %	13.10	1.00
Cal hidratada 3 %	30.07	1.00

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 3% de cemento portland, con un nivel de confianza del 95%.

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 3% de cal hidratada, con un nivel de confianza del 95%.

4.2.2.2.2.3. Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 4% de filler

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 95% para μ
Cemento portland 4%	30	12.89	0.55	0.10	13.06
Cal hidratada 4%	30	14.54	0.48	0.09	14.69

Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 10.56$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu < 10.56$

Muestra	Valor T	Valor p
Cemento portland 4 %	13.34	1.00
Cal hidratada 4 %	33.97	1.00

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 4% de cemento portland, con un nivel de confianza del 95%.

Debido a que el valor P para esta prueba es mayor o igual a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula para la mezcla asfáltica modificada con 4% de cal hidratada, con un nivel de confianza del 95%.

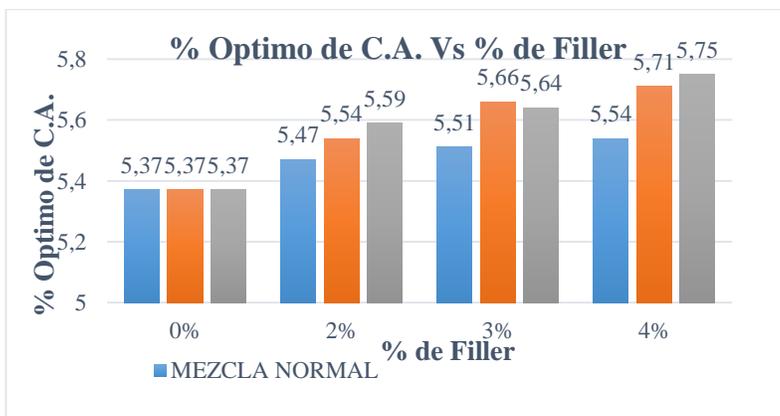
Nota. Cabe mencionar que al rechazar la hipótesis nula, se comprueba que la hipótesis alterna es la correcta y/o verdadera.

4.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

4.3.1. Comparación del contenido óptimo del cemento asfáltico

En cuanto a los contenidos óptimos de cemento asfáltico encontrados en los diferentes diseños de mezclas asfálticas, en la **figura 4.7** se observa que en las mezclas con adición de cal hidratada y cemento portland, dichas proporciones son un poco más altas. Para el 2% de filler añadido el contenido de cemento asfáltico es mayor en un 1.75% aproximadamente, para el 3% de filler añadido el contenido de cemento asfáltico es mayor en un 2.5% y para el 4% de filler añadido el contenido de cemento asfáltico es mayor en un 3.4% con respecto de la mezcla asfáltica normal.

Figura 4.7. Comparación del contenido óptimo cemento asfáltico.

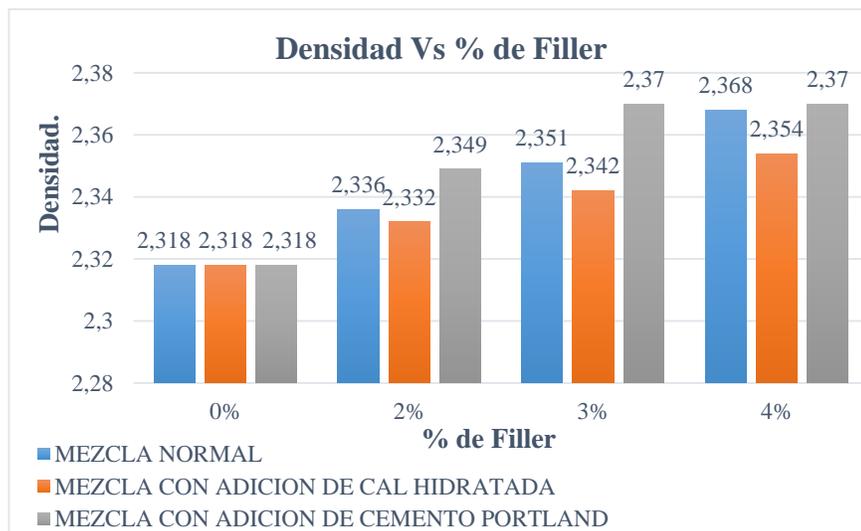


Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Comparación de la densidad

En la **figura 4.8** se puede apreciar que la densidad de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada es menor en relación a la mezcla asfáltica normal, mientras que la densidad de la mezcla asfáltica modificada con adición de cemento portland es mayor.

Figura 4.8. Comparación de la densidad de las mezclas asfálticas.

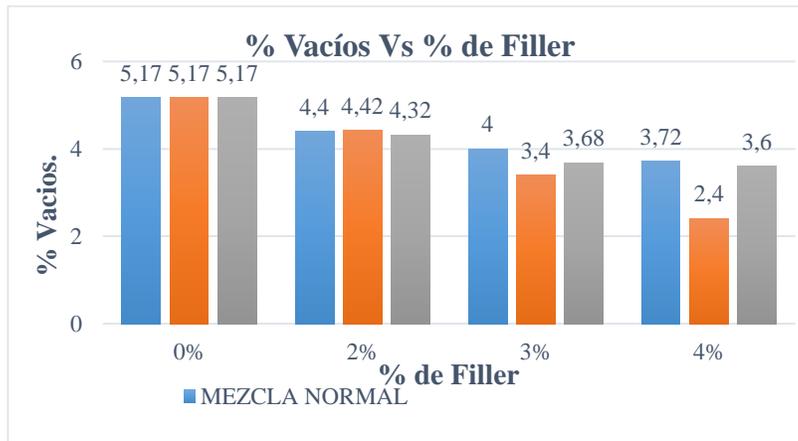


Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Comparación del % de vacíos totales en la mezcla

En la **figura 4.9**. Se puede observar que, a medida que se incrementa el porcentaje de filler en la mezcla asfáltica, los porcentajes de vacíos en las mezclas asfálticas son menores, esto es debido a que el filler actúa como rellenedor de vacíos y hace que las partículas finas llenen los espacios vacíos dentro de la mezcla asfáltica.

Figura 4.9. Comparación del % de vacíos de las mezclas asfálticas.

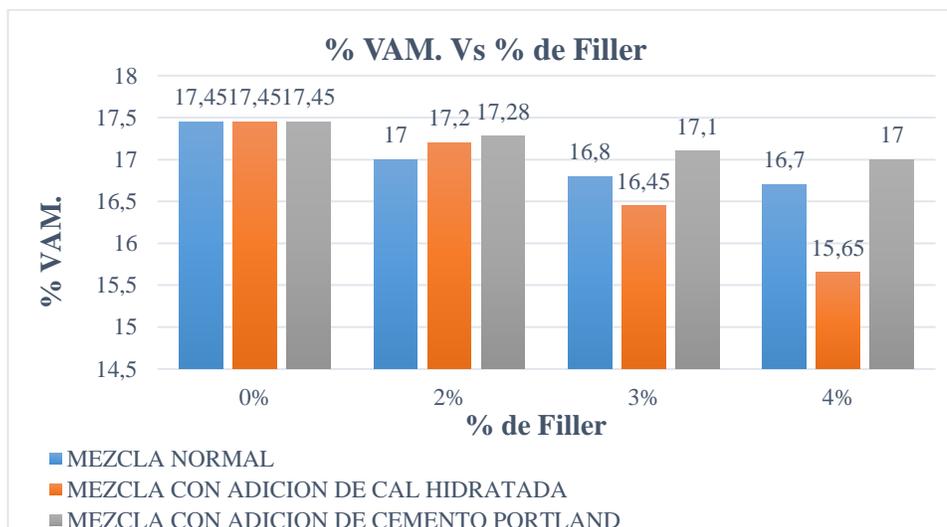


Fuente: Elaboración propia.

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

En la **figura 4.10** se observa que el % VAM de las mezclas asfálticas es menor a medida que se incrementa el porcentaje de filler, en resumen se puede decir que a mayor porcentaje de filler añadido a la mezcla asfáltica, existirá un menor porcentaje de vacíos en el agregado mineral de la mezcla asfáltica.

Figura 4.10. Comparación del % de VAM de las mezclas asfálticas.

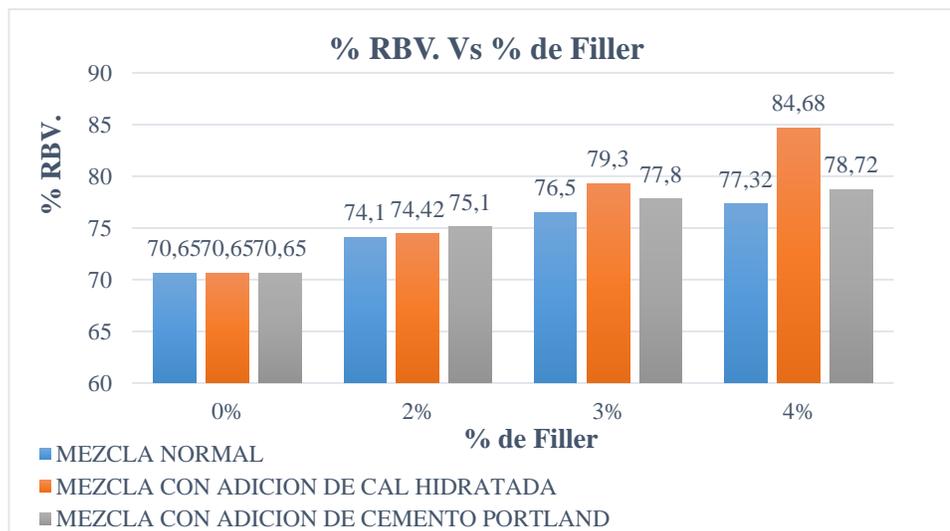


Fuente: Elaboración propia.

4.3.5. Comparación del % RBV

En la **figura 4.11**. Se puede observar que el porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV) en las mezclas asfálticas va aumentando cuando el % de filler es mayor, también se puede notar que el RBV de las mezclas con adición de cal hidratada y cemento portland son mayores en relación a la mezcla asfáltica normal.

Figura 4.11. Comparación del % de RBV de las mezclas asfálticas.

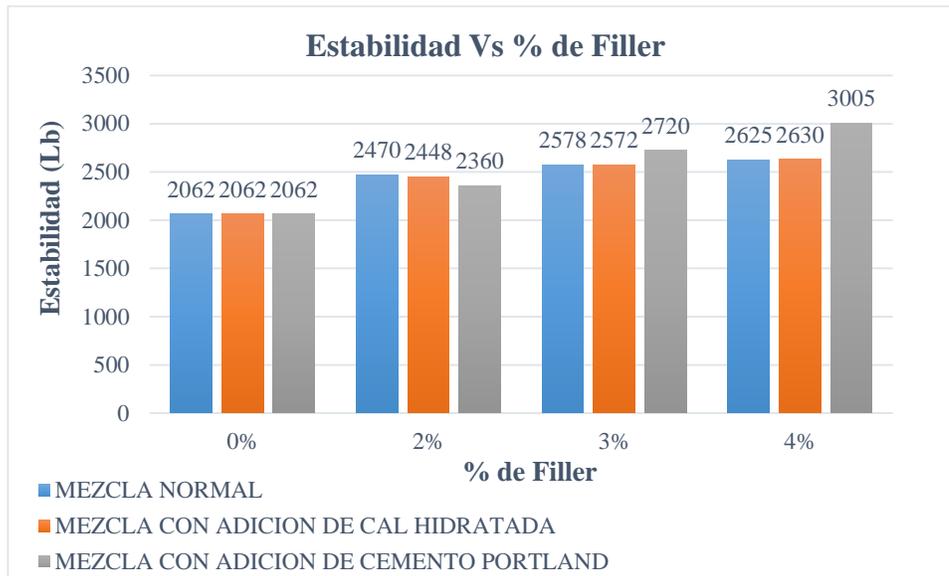


Fuente: Elaboración propia.

4.3.6. Comparación de la estabilidad de las mezclas

En la **figura 4.12** se puede observar que los valores de las tres diferentes mezclas asfálticas cumplen con la norma. También se puede notar que la estabilidad de las mezclas asfálticas aumenta a medida que se incrementa el porcentaje de filler.

Figura 4.12. Comparación de la estabilidad de las mezclas asfálticas.

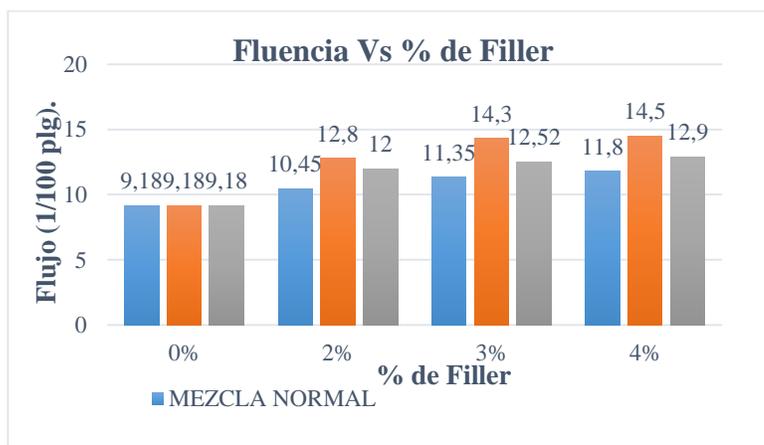


Fuente: Elaboración propia.

4.3.7. Comparación del flujo o fluencia de las mezclas

En la **figura 4.13**. 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 las mezclas asfálticas con adición de cal hidratada y cemento portland presentan valores más altos de fluencia.

Figura 4.13. Comparación del flujo de las mezclas asfálticas.



Fuente: Elaboración propia.

4.4. 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.

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

Dosificación de los materiales para la mezcla asfáltica normal.

Tabla 4.64. Dosificación para la mezcla asfáltica normal.

Dosificación de la mezcla asfáltica normal	
Materiales	Porcentaje
Grava de 3/4"	28.389 %
Gravilla de 3/8"	22.7112 %
Arena triturada	43.5298 %
Cemento asfáltico	5.37 %

Fuente: Elaboración propia.

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

Tabla 4.65. Dosificación para 1 m³ de la mezcla asfáltica normal.

Dosificación para un metro cubico				
Material	Peso (kg)	Peso esp. (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Unidad
Grava de 3/4"	638.75	2675	0.239	m ³
Gravilla de 3/8"	511.00	2675	0.191	m ³
Arena triturada	979.42	2697	0.363	m ³
Cemento asfáltico	120.83	1011		kg

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un cálculo de los precios de producción para 1m³ de la mezcla asfáltica normal, a continuación se muestra los precios unitarios.

Tabla 4.66. Precio de producción para 1 m³ de la mezcla asfáltica normal.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto de Grado				Actividad N°	1.000
Actividad : Carpeta de concreto asfáltico 0% de polvo de roca			Cantidad :	1.00	
Unidad : m³			Moneda .	Bs	
Descripción		Unidad	Cantidad o rendimiento	Precio unitario	Costo total
1 Materiales					
1	Grava de 3/4"	m ³	0.239	152.000	36.328
2	Grava de 3/8"	m ³	0.191	152.000	29.032
3	Arena triturada	m ³	0.363	145.000	52.635
4	Cemento asfáltico	kg	120.830	9.000	1087.470
5	Diessel	lt	18.000	3.740	67.320
Total materiales					1272.785
2 Mano de obra					
1	Ayudante de operador	hr	0.028	16.000	0.448
2	Capataz	hr	1.800	25.000	45.000
3	Operador	hr	0.820	20.000	16.402
4	Operador de equipo liviano	hr	0.082	18.000	1.476
5	Operador de planta	hr	0.090	23.190	2.087
6	Obrero	hr	0.072	12.070	0.869
7	Chofer	hr	0.001	18.000	0.022
Sub total mano de obra					66.304
Cargas sociales = (55% - 71.18%) del sub total M. O.				65.000%	43.097
Impuestos IVA M.O. = % (del sub total de M. O. + cargas sociales)				14.940%	16.345
Total mano de obra					125.746
3 Equipo, maquinaria y herramientas					
1	Compactador liso pata de cabra	hr	0.035	303.850	10.635
2	Distribuidor de agregados autop	hr	0.028	455.030	12.741
3	Esoba mecanica autop	hr	0.028	71.550	2.003
4	Planta calentamiento de asfalto	hr	0.090	965.230	86.871
5	Rodillo neumatico T sp1000	hr	0.084	332.810	27.956
6	Terminadora de asfalto	hr	0.075	669.060	50.180
7	Cargador frontal de ruedas=950m ³	hr	0.0001	421.290	0.042
8	Volqueta=12 m ³	hr	0.001	227.870	0.273
Herramientas = % de la mano de obra				5.000%	6.287
Total eq, maq. y herr.					196.988
4 Gastos generales y administrativos					
Gastos generales = % (1+2+3)				10.000%	159.552
5 Utilidad					
Utilidad = % (1+2+3+4)				10.000%	175.507
6 Impuestos					
Impuestos I. T. = % (1+2+3+4+5)				3.090%	59.655
Total precio unitario					1990.233

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada

Dosificación de los materiales para la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada.

Tabla 4.67. Dosificación para la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada.

Dosificación de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada	
Materiales	Porcentaje
Grava de 3/4"	28.338 %
Gravilla de 3/8"	22.6704 %
Arena triturada	41.5624 %
Cal hidratada	1.8892 %
Cemento asfáltico	5.54 %

Fuente: Elaboración propia.

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

Tabla 4.68. Dosificación para 1 m³ de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada.

Dosificación para un metro cubico				
Material	Peso (kg)	Peso esp. (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Unidad
Grava de 3/4"	637.61	2675	0.238	m ³
Gravilla de 3/8"	510.08	2675	0.191	m ³
Arena triturada	935.15	2618	0.357	m ³
Cal hidratada	42.51			kg
Cemento asfáltico	124.65	1011		kg

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un cálculo de los precios de producción para 1m³ de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada, a continuación se muestra los precios unitarios.

Tabla 4.69. Precio de producción para 1 m³ de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto de Grado				Actividad N°	5.000
Actividad : Carpeta de concreto asfáltico 2% de cal hidratada			Cantidad :	1.00	
Unidad : m ³			Moneda .	Bs	
Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total	
1 Materiales					
1	Grava de 3/4"	m ³	0.238	152.000	36.176
2	Grava de 3/8"	m ³	0.191	152.000	29.032
3	Arena triturada	m ³	0.357	145.000	51.765
4	Cal hidratada (filler)	kg	42.510	1.300	55.263
5	Cemento asfáltico	kg	124.650	9.000	1121.850
6	Diesel	lt	18.000	3.740	67.320
Total Materiales					1361.406
2 Mano de Obra					
1	Ayudante de Operador	hr	0.028	16.000	0.448
2	Capataz	hr	1.800	25.000	45.000
3	Operador	hr	0.820	20.000	16.402
4	Operador de Equipo Liviano	hr	0.082	18.000	1.476
5	Operador de Planta	hr	0.090	23.190	2.087
6	Obrero	hr	0.072	12.070	0.869
7	Chofer	hr	0.001	18.000	0.022
Sub total mano de obra					66.304
Cargas Sociales = (55% - 71.18%) del sub total M. O.				65.000%	43.097
Impuestos IVA M.O. = % (del sub total de M. O. + Cargas Sociales)				14.940%	16.345
Total Mano de Obra					125.746
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas					
1	Compactador liso pata de cabra	hr	0.035	303.850	10.635
2	Distribuidor de agregados autop	hr	0.028	455.030	12.741
3	Esoba mecanica autop	hr	0.028	71.550	2.003
4	Planta calentamiento de asfalto	hr	0.090	965.230	86.871
5	Rodillo neumatico T sp1000	hr	0.084	332.810	27.956
6	Terminadora de asfalto	hr	0.075	669.060	50.180
7	Cargador frontal de ruedas=950m ³	hr	0.0001	421.290	0.042
8	Volqueta=12 m ³	hr	0.001	227.870	0.273
Herramientas = % de la mano de obra				5.000%	6.287
Total Eq, Maq. y Herr.					196.988
4 Gastos Generales y Administrativos					
Gastos Generales = % (1+2+3)				10.000%	168.414
5 Utilidad					
Utilidad = % (1+2+3+4)				10.000%	185.255
6 Impuestos					
Impuestos I. T. = % (1+2+3+4+5)				3.090%	62.968
Total Precio Unitario					2100.777

Fuente: Elaboración propia.

4.4.3. Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica con adición de cemento portland

Dosificación de los materiales para la mezcla asfáltica con adición de cemento portland.

Tabla 4.70. Dosificación para la mezcla asfáltica con adición de cemento portland.

Dosificación de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland	
Materiales	Porcentaje
Grava de 3/4"	28.323 %
Gravilla de 3/8"	22.6584 %
Arena triturada	41.5404 %
Cemento portland	1.8882 %
Cemento asfáltico	5.59 %

Fuente: Elaboración propia.

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

Tabla 4.71. Dosificación para 1 m³ de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland.

Dosificación para un metro cubico				
Material	Peso (kg)	Peso esp. (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Unidad
Grava de 3/4"	637.27	2675	0.238	m ³
Gravilla de 3/8"	509.81	2675	0.191	m ³
Arena triturada	934.66	2707	0.345	m ³
Cemento portland	42.48			kg
Cemento asfáltico	125.78	1011		kg

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un cálculo de los precios de producción para 1m³ de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada, a continuación se muestra los precios unitarios.

Tabla 4.72. Precio de producción para 1 m³ de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Proyecto de Grado				Actividad N°	8.000
Actividad : Carpeta de concreto asfáltico 2% de cemento portland			Cantidad :	1.00	
Unidad : m³			Moneda .	Bs	
Descripción	Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio Unitario	Costo Total	
1 Materiales					
1	Grava de 3/4"	m ³	0.238	152.000	36.176
2	Grava de 3/8"	m ³	0.191	152.000	29.032
3	Arena triturada	m ³	0.345	145.000	50.025
4	Cemento portland (filler)	kg	42.480	1.100	46.728
5	Cemento asfáltico	kg	125.780	9.000	1132.020
6	Diessel	lt	18.000	3.740	67.320
Total Materiales					1361.301
2 Mano de Obra					
1	Ayudante de Operador	hr	0.028	16.000	0.448
2	Capataz	hr	1.800	25.000	45.000
3	Operador	hr	0.820	20.000	16.402
4	Operador de Equipo Liviano	hr	0.082	18.000	1.476
5	Operador de Planta	hr	0.090	23.190	2.087
6	Obrero	hr	0.072	12.070	0.869
7	Chofer	hr	0.001	18.000	0.022
Sub total mano de obra					66.304
Cargas Sociales = (55% - 71.18%) del sub total M. O.				65.000%	43.097
Impuestos IVA M.O. = % (del sub total de M. O. + Cargas Sociales)				14.940%	16.345
Total Mano de Obra					125.746
3 Equipo, Maquinaria y Herramientas					
1	Compactador liso pata de cabra	hr	0.035	303.850	10.635
2	Distribuidor de agregados autop	hr	0.028	455.030	12.741
3	Esoba mecanica autop	hr	0.028	71.550	2.003
4	Planta calentamiento de asfalto	hr	0.090	965.230	86.871
5	Rodillo neumatico T sp1000	hr	0.084	332.810	27.956
6	Terminadora de asfalto	hr	0.075	669.060	50.180
7	Cargador frontal de ruedas=950m ³	hr	0.0001	421.290	0.042
8	Volqueta=12 m ³	hr	0.001	227.870	0.273
Herramientas = % de la mano de obra				5.000%	6.287
Total Eq, Maq. y Herr.					196.988
4 Gastos Generales y Admistrativos					
Gastos Generales = % (1+2+3)				10.000%	168.403
5 Utilidad					
Utilidad = % (1+2+3+4)				10.000%	185.244
6 Impuestos					
Impuestos I. T. = % (1+2+3+4+5)				3.090%	62.964
Total Precio Unitario					2100.646

Fuente: Elaboración propia.

4.4.5. Resultados del precio unitario de producción de las demás mezclas asfálticas

Tabla 4.73. Precios de producción para las mezclas asfálticas.

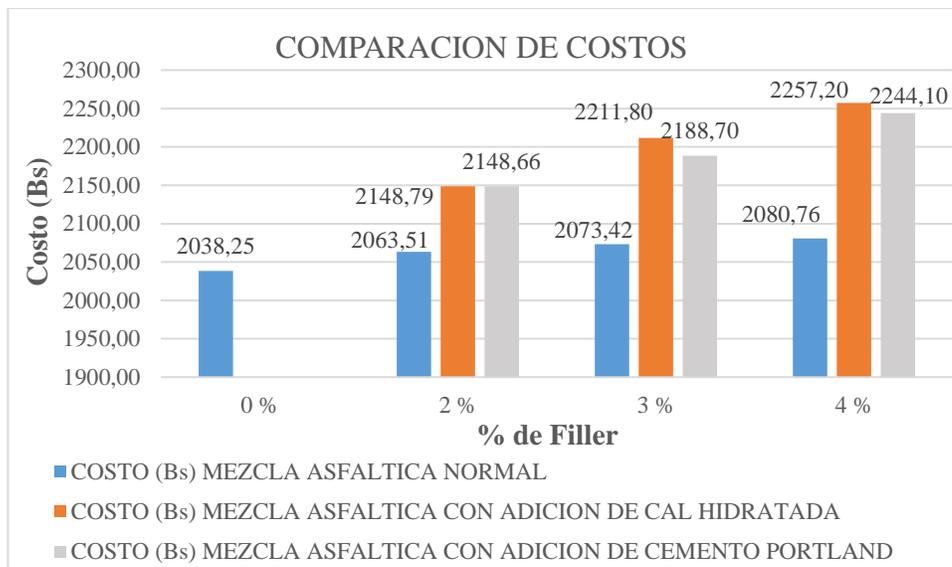
DESCRIPCIÓN	% DE FILLER	COSTO (Bs)
MEZCLA ASFÁLTICA NORMAL	0 %	1990.233
	2 %	2015.492
	3 %	2025.406
	4 %	2032.747
MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE CAL HIDRATADA	2 %	2100.777
	3 %	2163.782
	4 %	2209.186
MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE CEMENTO PORTLAND	2 %	2100.646
	3 %	2140.686
	4 %	2196.088

Fuente: Elaboración propia.

4.4.6. Comparación del precio de los materiales para las mezclas asfálticas estudiadas.

Como se puede observar en la **figura 4.14** el precio de las mezclas asfálticas con adición de cal hidratada y cemento portland son mayores que el de la mezcla asfáltica normal en todos los contenidos de filler añadidos, también se puede notar que a medida que se va aumentando el porcentaje de cualquier tipo de filler los costos van aumentando, esto es consecuencia de que mientras aumentamos el filler a nuestra mezcla, esta requiere un mayor porcentaje de cemento asfáltico.

Figura 4.14. Comparación del precio de las mezclas asfálticas.



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con el trabajo de investigación correspondiente a la comparación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas convencionales calientes con otras con adición de cemento portland y cal hidratada como reemplazo del filler y en base a los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones.

- ✓ Se realizó con normalidad los diferentes ensayos de caracterización de los agregados pétreos, cemento asfáltico y filler. Donde se pudo verificar que los mismos cumplen con las especificaciones de las normas AASHTO y ASTM para el diseño de mezclas asfálticas.
- ✓ Se realizó el diseño de las mezclas asfálticas empleando el método de diseño Marshall, donde se hizo variar los porcentajes de filler (polvo de roca, cal hidratada y cemento portland) para cada diseño.
- ✓ De acuerdo a los ensayos realizados en laboratorio se determinó que las mezclas asfálticas modificadas con adición de cemento portland y cal hidratada presentan contenidos de cemento asfáltico un poco más elevados que una mezcla asfáltica convencional, esto se puede evidenciar en la **figura 4.7**.
- ✓ Del análisis conjunto de la estabilidad y la fluencia de las mezclas asfálticas estudiadas, se puede establecer que los mejores comportamientos se producen cuando hay un reemplazo del filler natural por el cemento portland.
- ✓ Del análisis del porcentaje de vacíos en las mezclas asfálticas se puede observar en la **figura 4.9** que las mezclas asfálticas con adición de cal hidratada y cemento portland, presentan porcentajes de vacíos más bajos que una mezcla asfáltica convencional y en consecuencia una disminución de la penetración del agua y del aire en la carpeta de rodadura. Lo que significa que existirá una oxidación más lenta del asfalto, es decir que tendrá una mayor durabilidad.

- ✓ Desde el punto de vista económico, en la **figura 4.14** se puede evidenciar que los precios para las mezclas asfálticas con adición de cal hidratada y cemento portland son más elevados en comparación con la mezcla asfáltica normal. 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, esto nos lleva a hacer un análisis más detallado del costo y de la resistencia (Estabilidad) de una mezcla asfáltica, para ver si es que es conveniente adicionar la cal hidratada o el cemento portland.
- ✓ Después de realizar el análisis estadístico se concluye que para la variable estabilidad de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland, se comprueba que la hipótesis planteada es verdadera, es decir mejora el comportamiento de esta propiedad. Mientras tanto que para la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada se comprueba que la hipótesis es falsa, es decir no mejora el comportamiento de esta propiedad.
- ✓ Para la variable fluencia de las mezclas asfálticas modificadas con adición de cemento portland y cal hidratada se comprueba que la hipótesis planteada es falsa, es decir el comportamiento de esta propiedad no mejora.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Para garantizar la calidad de las mezclas asfálticas el personal encargado de laboratorio debe tener la preparación adecuada para evitar fallas de fabricación y colocación en obra
- ✓ Realizar el mezclado de los agregados con el cemento asfáltico y el filler de la manera más homogénea posible para evitar la variabilidad de los resultados de la mezcla en los distintos ensayos que se realicen.
- ✓ Se recomienda ser muy cuidadosos al momento de trabajar con mezclas asfálticas, ya que se trabaja a altas temperaturas, se debe utilizar el equipo de seguridad necesario para la manipulación de los materiales.
- ✓ Recomendar el reemplazo de cemento portland en el diseño de mezclas asfálticas para su utilización en la construcción de pavimentos, ya que la adición

de cemento portland aumenta la estabilidad de la mezcla con respecto a una mezcla asfáltica normal.

El aporte de esta investigación estimula la necesidad de seguir investigando más a detalle el comportamiento de las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas con el fin de encontrar mejoras en las propiedades para así poder prolongar la vida útil de los pavimentos.