

## **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  $\text{gr/cm}^3$ .
- ✓ **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             | $\text{gr/cm}^3$                                 | 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 |         |
| $\Sigma$                            |                                      | 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

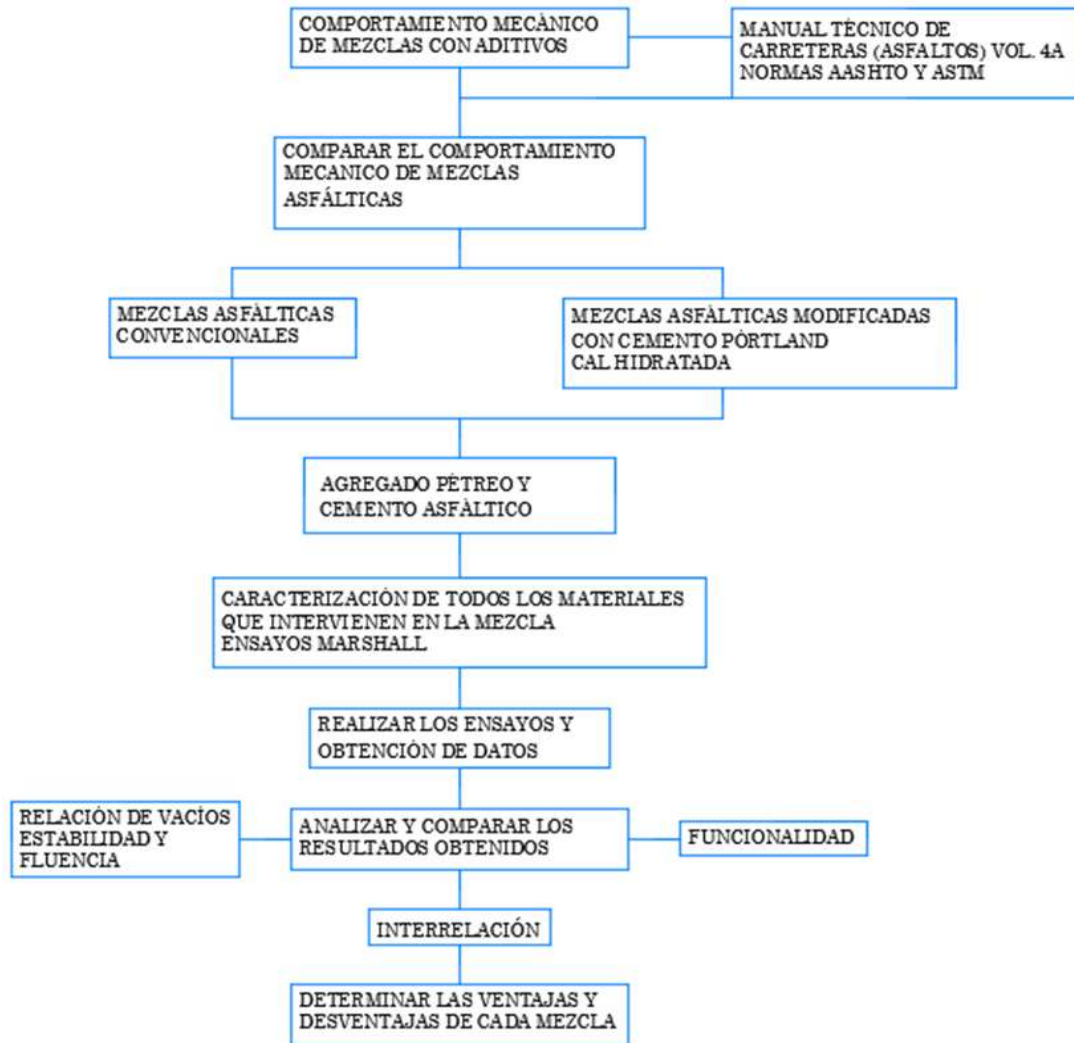
- ✓ Obtención y selección de los diferentes materiales.
- ✓ Caracterización del material pétreo.
  - ✓ Granulometría.
  - ✓ Equivalente de arena.
  - ✓ Gravedad específica y porcentaje de absorción.
  - ✓ Desgaste de los Ángeles.
  - ✓ Porcentaje de caras fracturadas.
- ✓ Caracterización del ligante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

|                                                    |                               |                     |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|
| <b>CLASIFICACIÓN<br/>DE MEZCLAS<br/>ASFÁLTICAS</b> | 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 ( $\text{kg/m}^3$ ) o libras por pie cúbico ( $\text{lb/pe}^3$ ), se calcula al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua ( $1,000 \text{ kg/m}^3$  o  $62.416 \text{ lb/pe}^3$ ). 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.

| <b>DESIGNACIÓN DE TAMICES</b> |                                 |                             |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| <b>PARA AGREGADOS GRUESOS</b> |                                 | <b>PARA AGREGADOS FINOS</b> |                                 |
| 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/m<sup>3</sup>, 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/m<sup>3</sup>, 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/m<sup>3</sup>, 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 rellenedor de vacíos, lo cual permite disminuir espacios libres existentes entre agregados mayores. Esta actividad además depende de los vacíos de la mezcla, ya que cuando el agregado está bien graduado y la forma de sus partículas permiten una ajustada distribución, entonces la necesidad de agregar filler es menor, incluso puede llegar a ser inconveniente por disminuir exageradamente se obtendrían mezclas pobres de ligante de menor durabilidad.

- ✓ **Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica.-** Esto debido a que el filler aumenta de manera importante la viscosidad del asfalto, mejor dicho la combinación de filler-asfalto es un sistema de alta viscosidad el cual participa de manera importante en la resistencia ante la deformación.
- ✓ **Incrementar la durabilidad de la mezcla.-** Esto debido a que el filler actúa como rellenedor de vacíos, lo cual permite disminuir la porosidad dificultando la entrada de agentes agresivos como el agua, aire; además de que es el principal aglomerante dentro de la mezcla asfáltica y mantiene unidos a los agregados.

### 2.3.4. 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<br>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.

| <b>GRANULOMETRÍA PARA EL DISEÑO MARSHALL</b> |                                                                                       |          |          |          |          |          |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| <b>Malla mm</b>                              | <b>Porcentaje por peso que pasa por la malla estándar (AASHTO T 27 y AASHTO T 11)</b> |          |          |          |          |          |
|                                              | <b>Designación de la granulometría</b>                                                |          |          |          |          |          |
|                                              | <b>A</b>                                                                              | <b>B</b> | <b>C</b> | <b>D</b> | <b>E</b> | <b>F</b> |
| 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.

| <b>NÚMERO DE GOLPES</b>                                             |        |               |                    |
|---------------------------------------------------------------------|--------|---------------|--------------------|
| 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<br>CARPETA Y BASE |        | TRANSITO MEDIANO<br>CARPETA Y BASE |        | TRANSITO PESADO<br>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<br>(750.000)               | -      | 5358.000<br>(1200.000)             | -      | 8006.000<br>(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<br>EN MM<br>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  $50 \pm 1\text{ mm/min}$  ( $2\text{ plg/min}$ ), 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  $0.25\text{ mm}$  ( $1/100\text{ —}$ ) 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 (Va); 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.

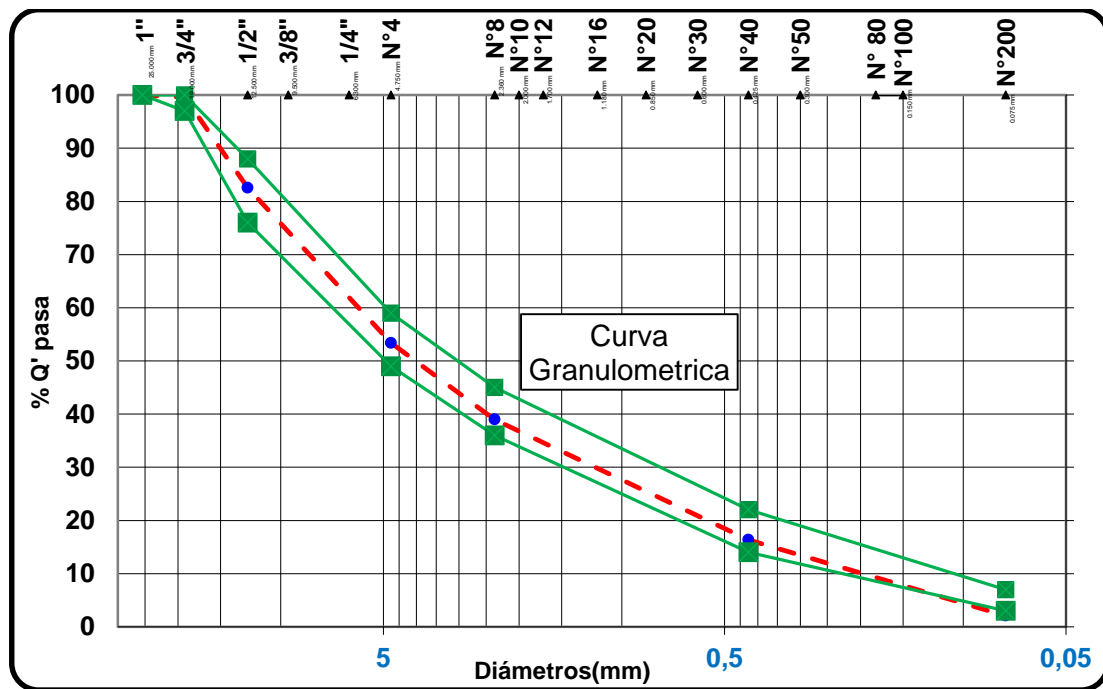
✓ **Mezcla para el diseño normal (convencional).**

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.

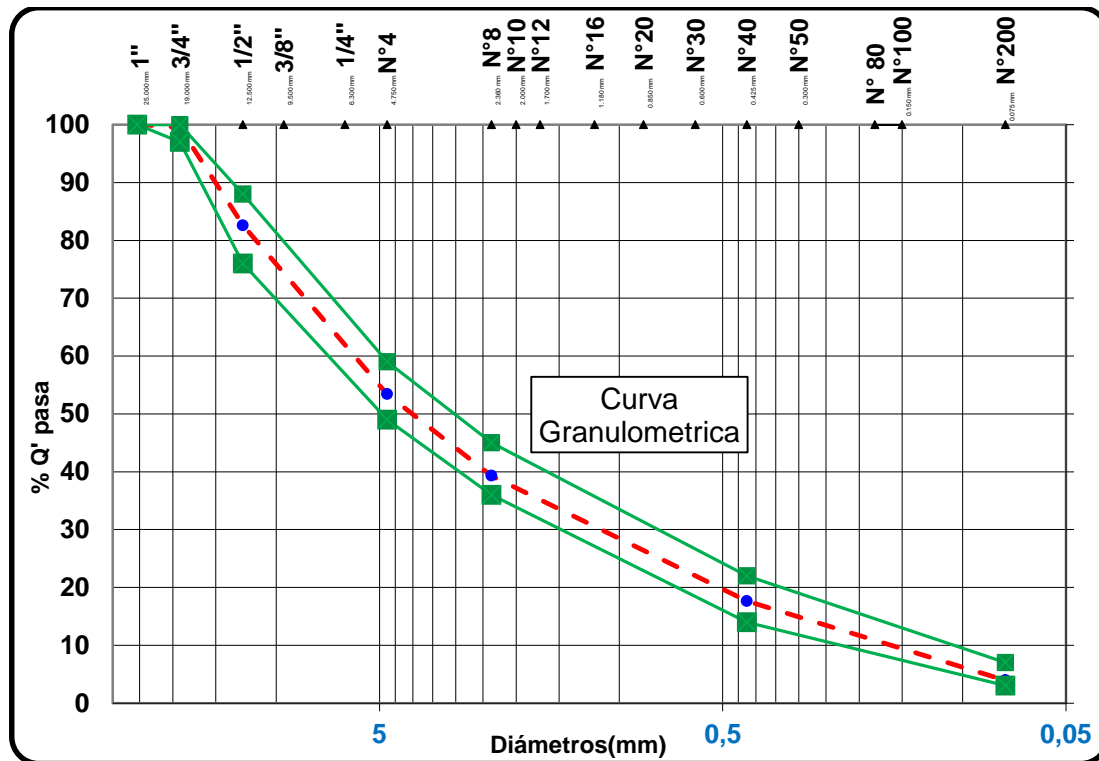
Tabla 3.8. Dosificación de los agregados con 2% de filler.

| AGREGADO |        | GRAVA-ERIKA |        | GRAVILLA-ERIKA |        | ARENA TRITURADA-ERIKA |        | FILLER POLVO DE ROCA |        | % QUE PASA | FAJA                           |      |
|----------|--------|-------------|--------|----------------|--------|-----------------------|--------|----------------------|--------|------------|--------------------------------|------|
| % Usado  |        | 30%         |        | 24%            |        | 44%                   |        | 2%                   |        |            | Especificación gradación media | 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               | 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.





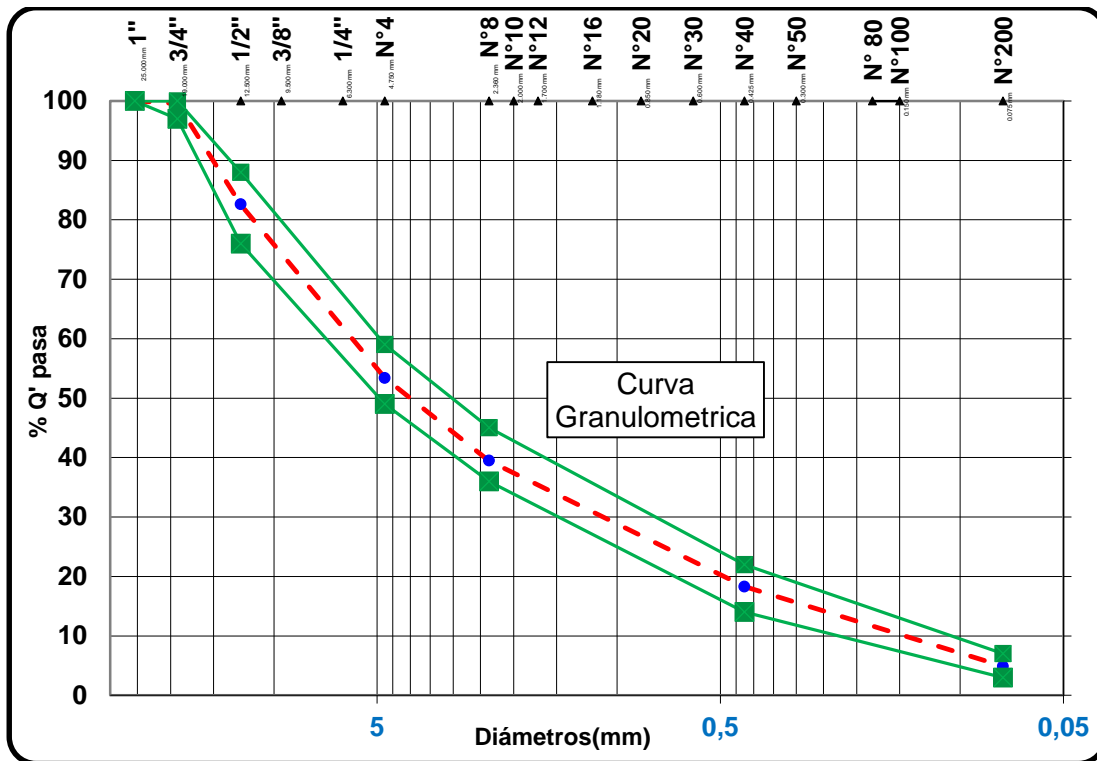
Fuente: Elaboración propia.

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.



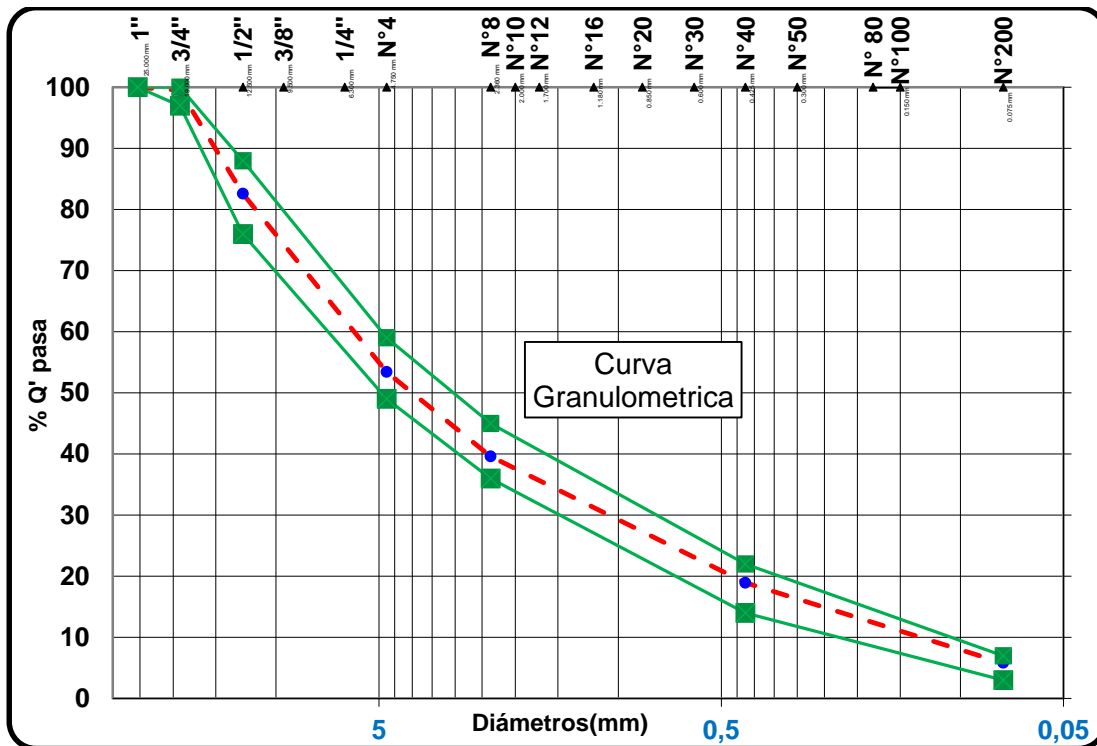
Fuente: Elaboración propia.

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.

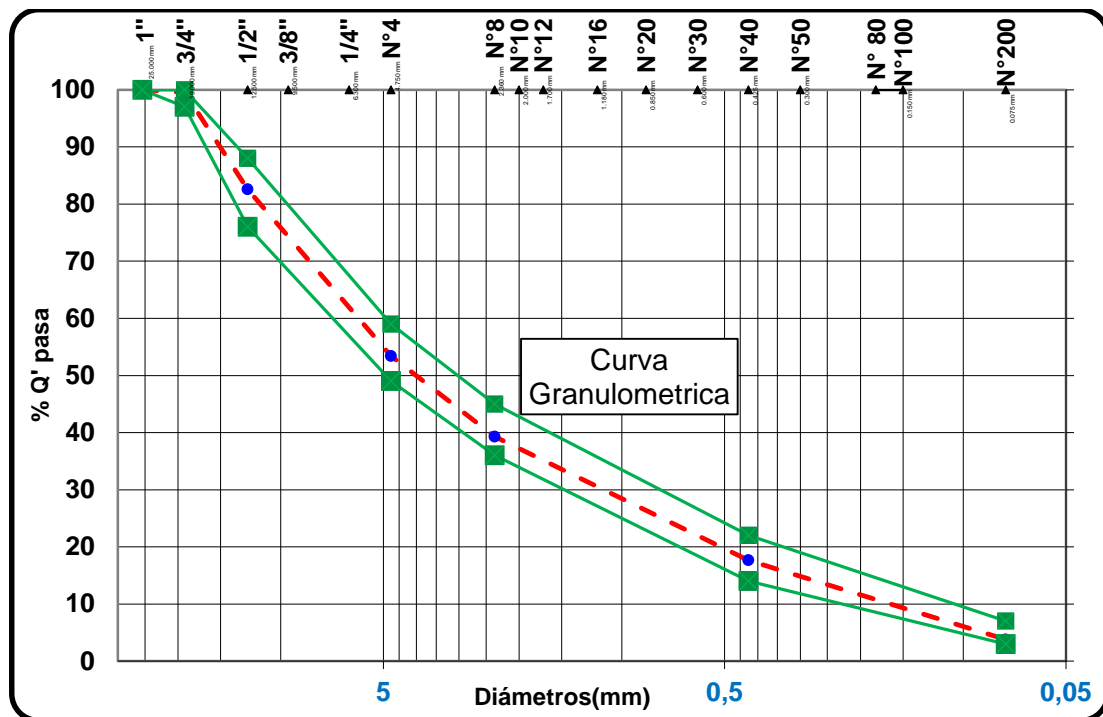
✓ Mezcla para el diseño modificado (filler: cal hidratada).

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.



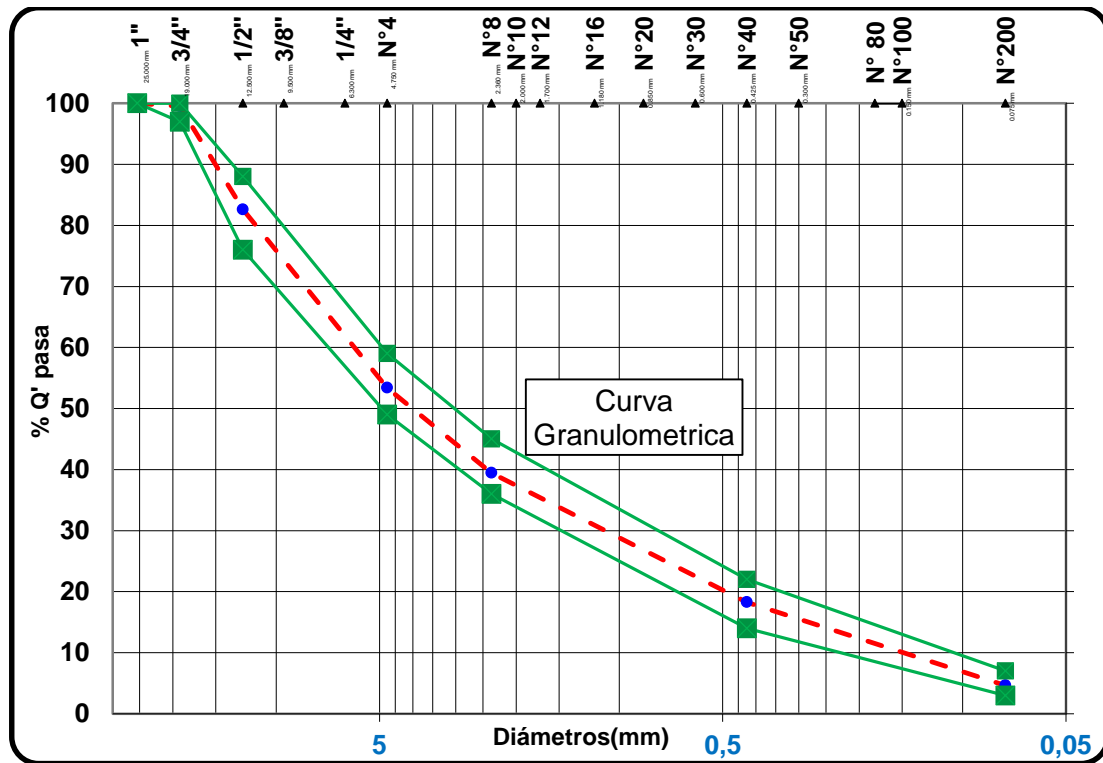
Fuente: Elaboración propia.

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. | 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 | 99.085               | 2.973  | 18.284     | 14                             | 22   |      |
| N° 80    | 0.180  | 0.259       | 0.078  | 0.748          | 0.180  | 15.925                | 6.848  | 94.686               | 2.841  | 9.946      |                                |      |      |
| N° 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.



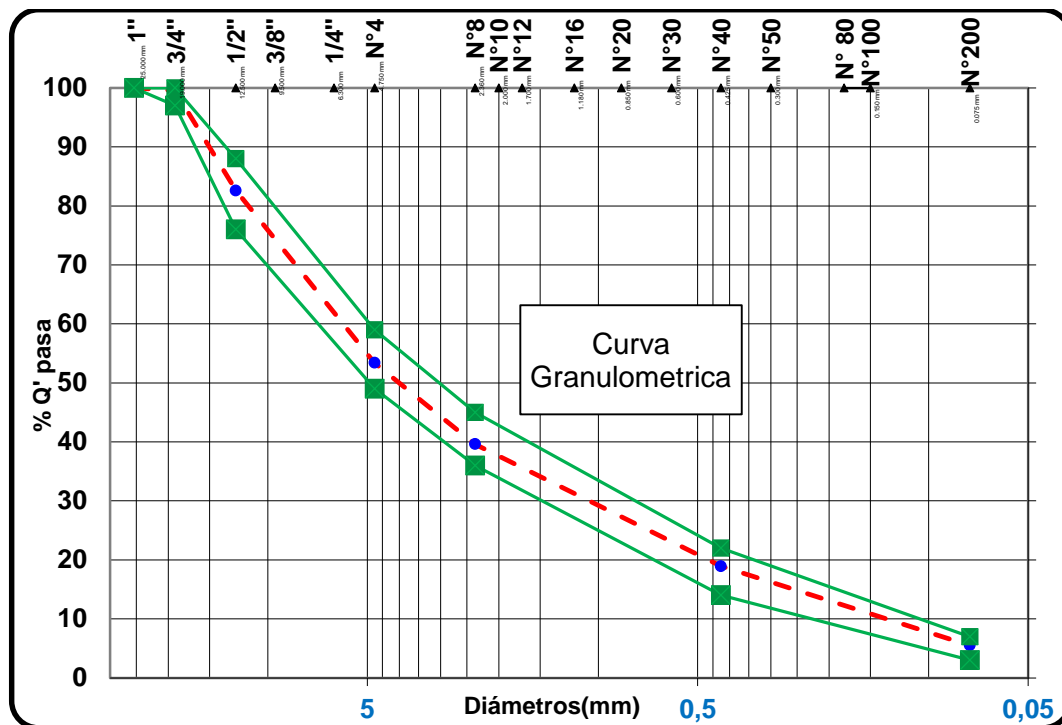
Fuente: Elaboración propia.

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.

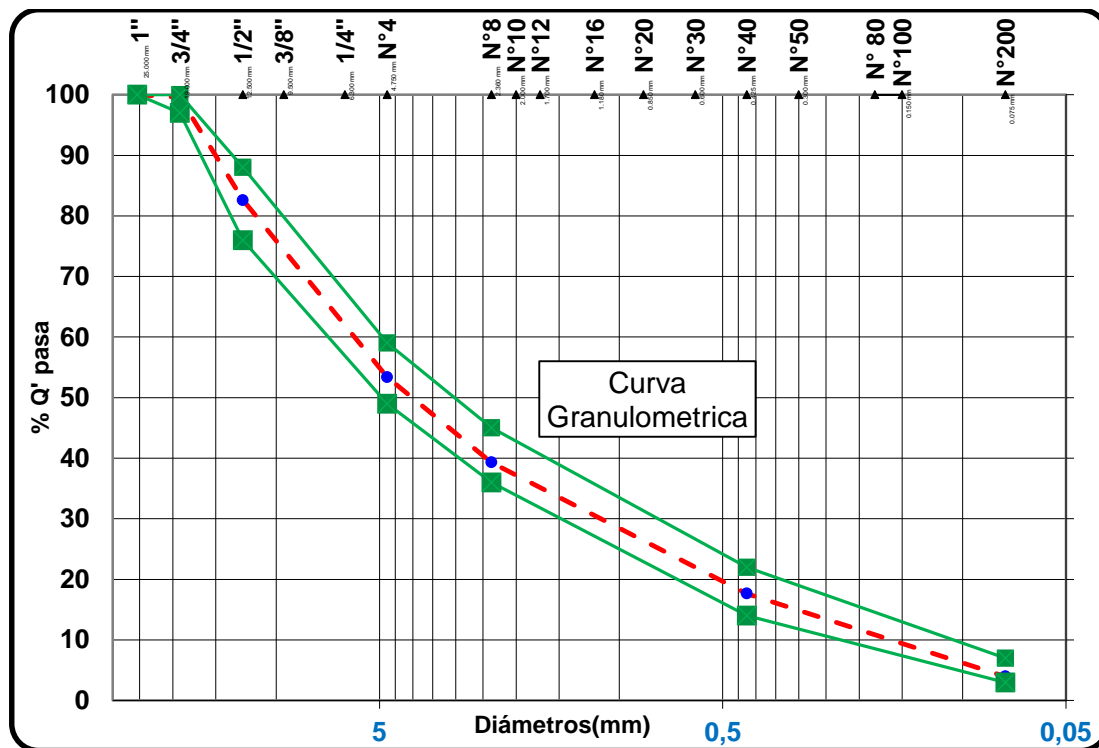
✓ Mezcla para el diseño modificado (filler: cemento portland).

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.



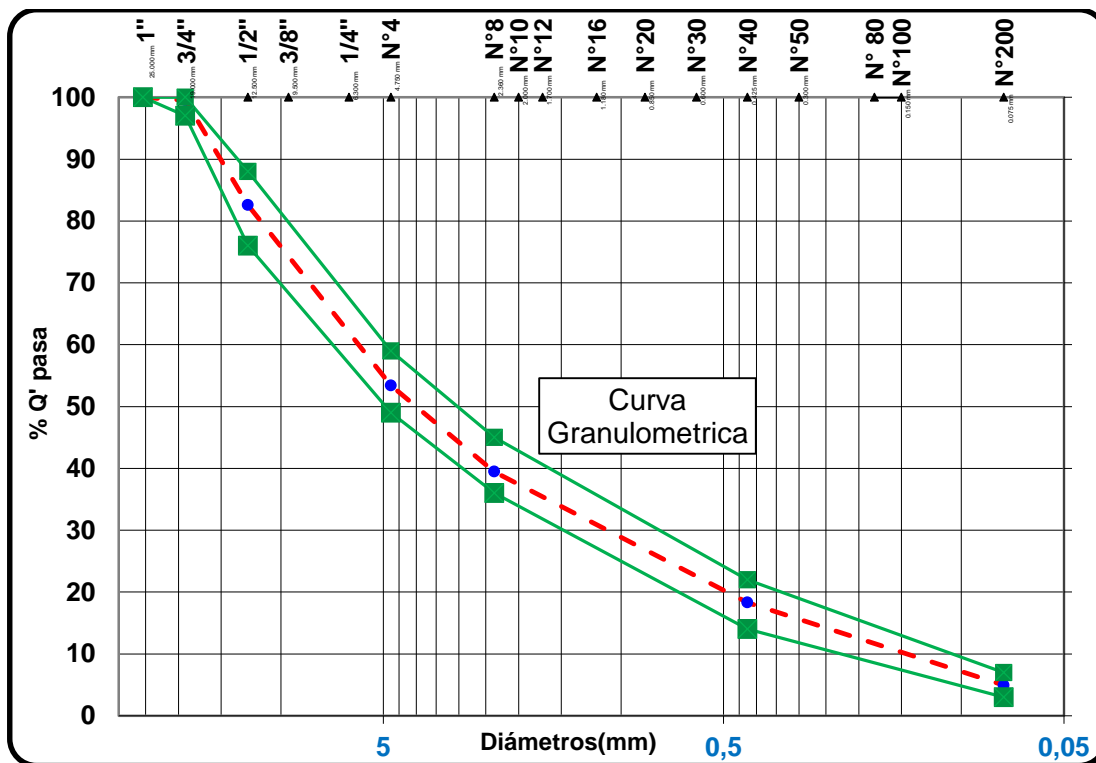
Fuente: Elaboración propia.

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.

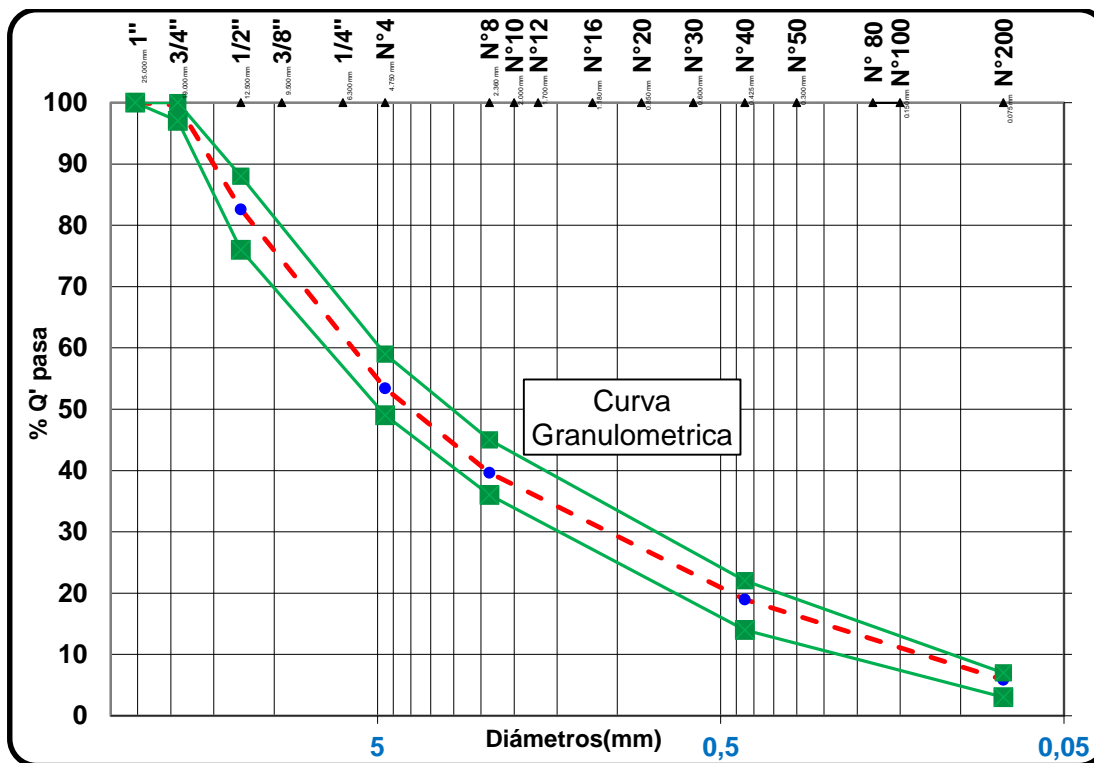
Tabla 3.16. Dosificación de los agregados con 4% de adición de cemento portland.

| AGREGADO |        | GRAVA-ERIKA |        | GRAVILLA-ERIKA |        | ARENA TRITURADA-ERIKA |        | FILLER CEMENTO PORTLAND |        | % QUE PASA | FAJA                           |      |
|----------|--------|-------------|--------|----------------|--------|-----------------------|--------|-------------------------|--------|------------|--------------------------------|------|
| % Usado  |        | 30%         |        | 24%            |        | 42%                   |        | 4%                      |        |            | Especificación gradación media | Inf. |
| 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.





Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar los resultados de la mezcla de los agregados cumplen con la especificación, es decir están dentro de los parámetros que establece norma.

### 3.2.2. Densidad real, densidad neta y absorción de agua en áridos

#### ✓ Agregado grueso (AASHTO T85).

Tabla 3.17. Densidad real, densidad neta y absorción de agua del agregado grueso.

| DETERMINACIÓN                                              | MUESTRA 1 | MUESTRA 2 | MUESTRA 3 | Promedio |       |
|------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------|
| A (Peso en el aire de la muestra seca) (gr)                | 3220.000  | 3555.000  | 3430.000  |          |       |
| B ( Peso en el aire muestra saturada-superficie seca) (gr) | 3280.000  | 3624.000  | 3496.000  |          |       |
| Peso canastillo + muestra sumergida en agua (gr)           | 2017.000  | 2225.000  | 2148.000  |          |       |
| Peso canastillo sumergido en agua (gr)                     |           |           |           |          |       |
| C ( Peso sumergido en agua de la muestra saturada) (gr)    | 2017.000  | 2225.000  | 2148.000  |          |       |
| D = B - C                                                  | 1263.000  | 1399.000  | 1348.000  |          |       |
| E = A - C                                                  | 1203.000  | 1330.000  | 1282.000  |          |       |
| F = B - A                                                  | 60.000    | 69.000    | 66.000    |          |       |
| "DN" Densidad neta (gr/cm <sup>3</sup> )                   | 2.677     | 2.673     | 2.676     |          | 2.675 |
| "DRS" Densidad real del árido seco (gr/cm <sup>3</sup> )   | 2.549     | 2.541     | 2.545     |          | 2.545 |
| "DRT" Densidad real del árido S.S.S (gr/cm <sup>3</sup> )  | 2.597     | 2.590     | 2.593     |          | 2.594 |
| (%) Porcentaje de absorción (%)                            | 0.019     | 0.019     | 0.019     | 1.909    |       |

Fuente: Elaboración propia.

✓ **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 <sup>3</sup> )                  | 2.736     | 2.746     | 2.739     |          | 2.741 |
| "DRS" Densidad real del árido seco (gr/cm <sup>3</sup> )  | 2.651     | 2.657     | 2.654     |          | 2.654 |
| "DRT" Densidad real del árido S.S.S (gr/cm <sup>3</sup> ) | 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 <sup>3</sup> )                  | 2.702     | 2.694     | 2.698     |          | 2.698 |
| "DRS" Densidad real del árido seco (gr/cm <sup>3</sup> )  | 2.538     | 2.536     | 2.538     |          | 2.537 |
| "DRT" Densidad real del árido S.S.S (gr/cm <sup>3</sup> ) | 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 | 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)               | 494.900   | 494.700   | 494.800   |          |       |
| 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 <sup>3</sup> )                  | 2.740     | 2.750     | 2.747     |          | 2.746 |
| "DRS" Densidad real del árido seco (gr/cm <sup>3</sup> )  | 2.665     | 2.671     | 2.670     |          | 2.669 |
| "DRT" Densidad real del árido S.S.S (gr/cm <sup>3</sup> ) | 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.

| <b>MATERIAL PASANTE TAMIZ N°4</b>    |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Determinaciones</b>               | <b>Muestra N°1</b>                  |
| Lectura nivel superior suspensión    | A = 89.000                          |
| Lectura nivel superior sedimento     | B = 40.000                          |
| Equivalente de arena                 | $\frac{B}{A} \times 100 = 44.944\%$ |
| <b>Determinaciones</b>               | <b>Muestra N°2</b>                  |
| Lectura nivel superior suspensión    | A = 89.000                          |
| Lectura nivel superior sedimento     | B = 41.000                          |
| Equivalente de arena                 | $\frac{B}{A} \times 100 = 46.067\%$ |
| <b>Determinaciones</b>               | <b>Muestra N°3</b>                  |
| Lectura nivel superior suspensión    | A = 93.000                          |
| Lectura nivel superior sedimento     | B = 42.000                          |
| Equivalente de arena                 | $\frac{B}{A} \times 100 = 45.161\%$ |
| <b>RESUMEN</b>                       |                                     |
| Muestra N°1                          | 44.944%                             |
| Muestra N°2                          | 46.067%                             |
| Muestra N°3                          | 45.161%                             |
| <b>Equivalente de arena promedio</b> | <b>45.391%</b>                      |

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.

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

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.

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

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.



| <b>LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89</b> |                      |                      |                 |           |                 |           |              |
|-----------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|--------------|
| Nº tara                                                   | Peso suelo hum.+tara | Peso suelo seco+tara | Peso agua       | Peso tara | Peso suelo seco | % de hum. | Nº 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.

| <b>LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89</b> |                      |                      |                 |           |                 |           |              |
|-----------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|--------------|
| Nº tara                                                   | Peso suelo hum.+tara | Peso suelo seco+tara | Peso agua       | Peso tara | Peso suelo seco | % de hum. | Nº 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.

| <b>LIMITES DE ATTERBERG (Límite Líquido) AASHTO T- 89</b> |                      |                      |                 |           |                 |           |              |
|-----------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|--------------|
| Nº tara                                                   | Peso suelo hum.+tara | Peso suelo seco+tara | Peso agua       | Peso tara | Peso suelo seco | % de hum. | Nº 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.

| <b>ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA NORMAL</b> |                                                    |              |          |           |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------|----------|-----------|
| N°                                                                    | Parámetro                                          | Norma        | Valor    | Resultado |
| 1                                                                     | Densidad del agregado grueso (gr/cm <sup>3</sup> ) | AASHTO T 85  |          | 2.675     |
| 2                                                                     | Densidad del agregado fino (gr/cm <sup>3</sup> )   | 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.

| <b>ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS PARA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE CAL HIDRATADA</b> |                                                    |              |          |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------|----------|-----------|
| N°                                                                                          | Parámetro                                          | Norma        | Valor    | Resultado |
| 1                                                                                           | Densidad del agregado grueso (gr/cm <sup>3</sup> ) | AASHTO T 85  |          | 2.675     |
| 2                                                                                           | Densidad del agregado fino (gr/cm <sup>3</sup> )   | 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 <sup>3</sup> ) | AASHTO T 85  |          | 2.675     |
| 2                                                                                       | Densidad del agregado fino (gr/cm <sup>3</sup> )   | 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 <sup>3</sup> | 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.<br>5seg. (0.1mm) AASHTO<br>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  | P. Parcial | P. Acum  | P. Parcial | P. Acum  | P. Parcial | P. Acum  | 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             | 53.390  | 46.610    | 20.049       | 229.760    | 534.152  | 228.557    | 531.355  | 227.354    | 528.558  | 226.151    | 525.762  | 224.948    | 522.965  |
| Nº10            | 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  |
| Nº16            | 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  |
| Nº40            | 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  |
| Nº80            | 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 |
| Nº200           | 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  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | 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            | 17.651  | 82.349    | 11.917       | 136.566    | 943.723  | 135.851    | 938.782  | 135.136    | 933.841  | 134.421    | 928.900  | 133.706    | 923.959  |
| Nº80            | 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 |
| Nº200           | 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  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | 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  | P. Parcial | P. Acum  | P. Parcial | P. Acum  | P. Parcial | P. Acum  | 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 = Estabilida real prom \* Factor de correccion*

*Estabilidad corregida = 2253.2 \* 1.018*

*Estabilidad corregida = 2293.7Lb*

➤ **Fluencia.**

| <b>Identificación</b> | <b>Fluencia 1/100"</b> |
|-----------------------|------------------------|
| 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 <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup>               | 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 <sub>rm</sub> ) | 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     |            |              |       |            |           |
| 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 <sup>3</sup> | 46.6 | Tipo de asfalto AASHTO M 20      | <b>85-100</b> |                     |  | 3/4"                                                 | 3/8"     | Nº4            |                        |
| Mat. Pasa Tamiz Nº 4                    | 2.652        | gr/cm <sup>3</sup> | 53.4 | P. Especifico Total AASHTO T-228 | <b>1.011</b>  | % DE AGREGADOS :    |  | 30%                                                  | 24%      | 44%            | 2%                     |
| P. Esp. Agregado Total (Gag):           | <b>2.663</b> | gr/cm <sup>3</sup> | 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 | mm | mm |
|                |                        |               |             |                          |                                 |                                 |                  |                   |                  |                |               |                   |                           |                  |        |        |                                 |            |            |              |       |           | a  | b  | c  | d  |
| 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 <sup>3</sup> | 46.6 | Tipo de asfalto AASHTO M 20            | <b>85-100</b> | % DE AGREGADOS :    |  | 3/4"                                                 | 3/8"     | Nº4            | 43%                    |
| Mat. Pasa Tamiz Nº 4                    | 2.665        | gr/cm <sup>3</sup> | 53.4 | P. Especifico Total AASHTO T-228       | <b>1.011</b>  | ORIGEN A GREGADOS : |  | Material de Acopio Planta de Asfaltos - ERIKA S.R.L. |          |                |                        |
| P. Esp. Agregado Total (Gag):           | <b>2.670</b> | gr/cm <sup>3</sup> | 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 | mm | 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 %**

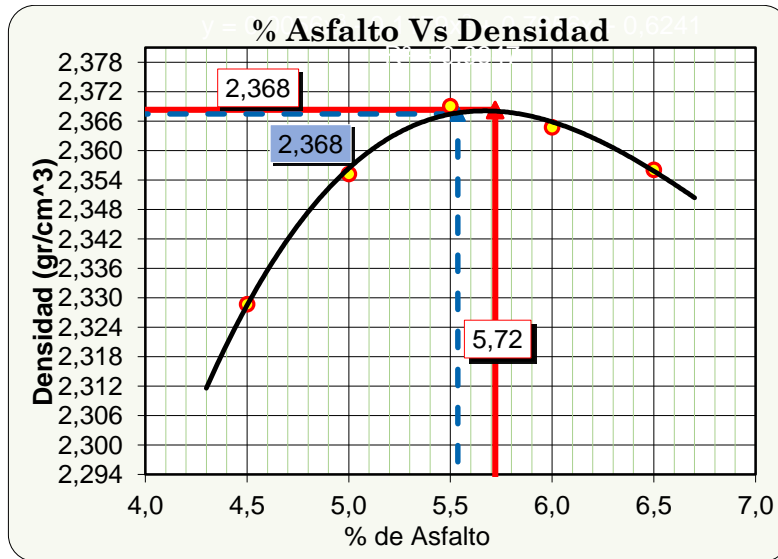
| Pesos Específicos (AASHTO T-100 , T-85) |                        | % de Agregados     |             | C. Asfáltico AASHTO M-20         |                                 | DOSIFICACION                                         |                  | GRAVA             | GRAVILLA         | ARENA CHANCADA | FILLER - POLVO DE ROCA |                   |                           |                  |      |       |                                 |    |            |              |       |            |           |   |   |
|-----------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|----------------|------------------------|-------------------|---------------------------|------------------|------|-------|---------------------------------|----|------------|--------------|-------|------------|-----------|---|---|
| Mat. Retenido Tamiz N° 4                | 2.675                  | gr/cm <sup>3</sup> | 46.6        | Tipo de asfalto AASHTO M 20      | <b>85-100</b>                   | % DE AGREGADOS :                                     |                  | 3/4"              | 3/8"             | N°4            | N° 200                 |                   |                           |                  |      |       |                                 |    |            |              |       |            |           |   |   |
| Mat. Pasa Tamiz N° 4                    | 2.698                  | gr/cm <sup>3</sup> | 53.4        | P. Especifico Total AASHTO T-228 | <b>1.011</b>                    | ORIGEN A GREGADOS :                                  |                  | 30%               | 24%              | 42%            | 4%                     |                   |                           |                  |      |       |                                 |    |            |              |       |            |           |   |   |
| P. Esp. Agregado Total (Gag):           | <b>2.687</b>           | gr/cm <sup>3</sup> | 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 ( 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  | 6.30 | 4.71 | <b>4.50</b> | 1185.2 | 1187.2 | 677.0 | 510.2 | 2.323 |              |       |             |       | 88    | 2170.9 |        | 1.013  |       |       | 8      | 8.0  |      |       |
| 2  | 6.22 | 4.71 | <b>4.50</b> | 1192.5 | 1194.1 | 683.2 | 510.9 | 2.334 |              |       |             |       | 90    | 2220.3 |        | 1.035  |       |       | 9      | 8.5  |      |       |
| 3  | 6.33 | 4.71 | <b>4.50</b> | 1189.2 | 1192.6 | 682.0 | 510.6 | 2.329 | <b>2.329</b> | 2.501 | <b>6.88</b> | 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 | <b>5.00</b> | 1200.0 | 1198.5 | 692.9 | 505.6 | 2.373 |              |       |             |       | 102   | 2516.3 |        | 1.000  |       |       | 10     | 9.5  |      |       |
| 5  | 6.39 | 5.26 | <b>5.00</b> | 1203.8 | 1207.5 | 694.0 | 513.5 | 2.344 |              |       |             |       | 103   | 2541.0 |        | 0.990  |       |       | 11     | 10.6 |      |       |
| 6  | 6.35 | 5.26 | <b>5.00</b> | 1197.3 | 1201.2 | 691.3 | 509.9 | 2.348 | <b>2.355</b> | 2.482 | <b>5.09</b> | 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 | <b>5.50</b> | 1192.5 | 1194.1 | 687.4 | 506.7 | 2.353 |              |       |             |       | 105   | 2590.3 |        | 1.016  |       |       | 11     | 11.4 |      |       |
| 8  | 6.28 | 5.82 | <b>5.50</b> | 1199.8 | 1200.7 | 695.9 | 504.8 | 2.377 |              |       |             |       | 105   | 2590.3 |        | 1.019  |       |       | 12     | 12.4 |      |       |
| 9  | 6.28 | 5.82 | <b>5.50</b> | 1200.6 | 1202.1 | 697.0 | 505.1 | 2.377 | <b>2.369</b> | 2.463 | <b>3.80</b> | 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 | <b>6.00</b> | 1217.5 | 1218.6 | 706.4 | 512.2 | 2.377 |              |       |             |       | 101   | 2491.6 |        | 1.000  |       |       | 13     | 12.9 |      |       |
| 11 | 6.37 | 6.38 | <b>6.00</b> | 1191.4 | 1193.7 | 686.4 | 507.3 | 2.349 |              |       |             |       | 90    | 2220.3 |        | 0.995  |       |       | 14     | 14.3 |      |       |
| 12 | 6.40 | 6.38 | <b>6.00</b> | 1214.7 | 1216.4 | 703.6 | 512.8 | 2.369 | <b>2.365</b> | 2.444 | <b>3.25</b> | 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 | <b>6.50</b> | 1203.3 | 1204.7 | 694.3 | 510.4 | 2.358 |              |       |             |       | 77    | 1899.5 |        | 1.000  |       |       | 16     | 15.5 |      |       |
| 14 | 6.47 | 6.95 | <b>6.50</b> | 1223.8 | 1225.1 | 705.4 | 519.7 | 2.355 |              |       |             |       | 69    | 1702.2 |        | 0.970  |       |       | 16     | 16.0 |      |       |
| 15 | 6.29 | 6.95 | <b>6.50</b> | 1186.2 | 1187.0 | 683.5 | 503.5 | 2.356 | <b>2.356</b> | 2.426 | <b>2.87</b> | 18.02 | 84.05 | 82     | 2022.9 | 1874.9 | 1.016 | 0.995 | 1865.5 | 15   | 15.2 | 15.57 |

Fuente: Elaboración propia.

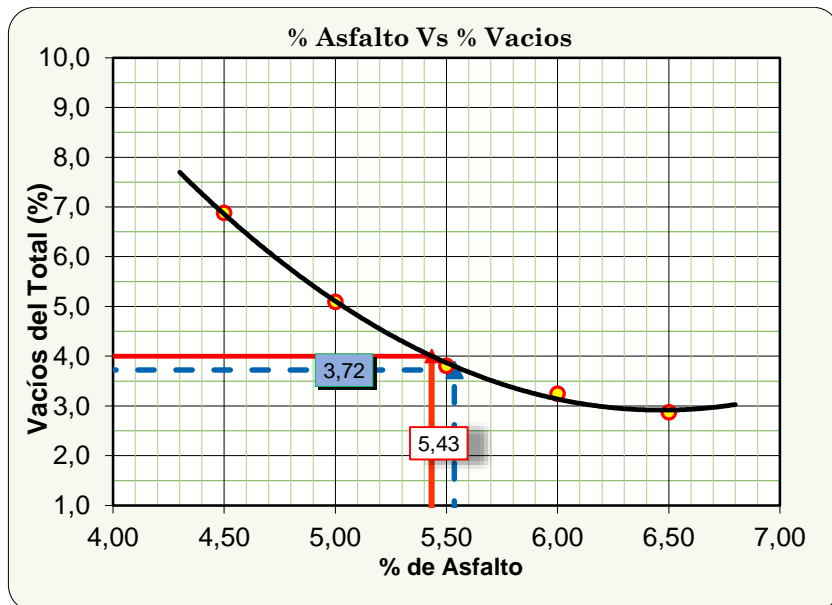
#### 4.1.2.3. Gráficos de las curvas de diseño de la mezcla asfáltica normal con 4% de polvo de roca

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



Fuente: Elaboración propia.

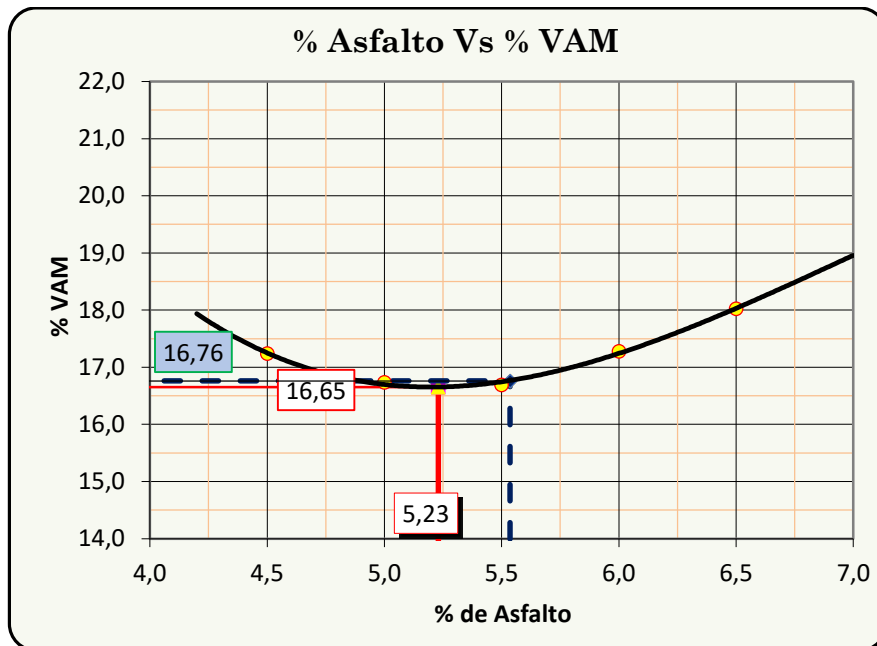
Figura 4.2. % de asfalto vs % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica normal.



Fuente: Elaboración propia.

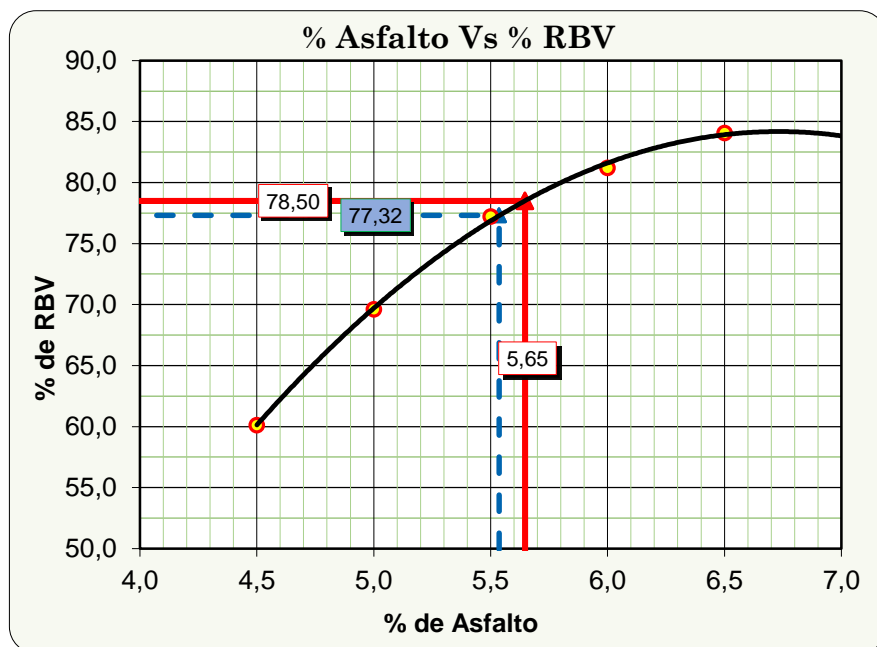


Figura 4.3. % de asfalto vs % VAM del diseño de la mezcla asfáltica normal.



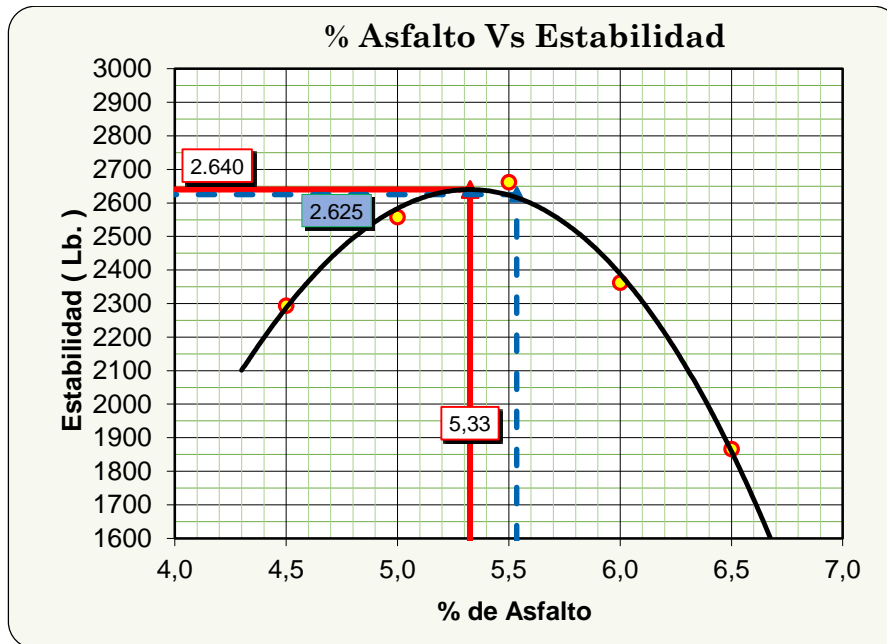
Fuente: Elaboración propia.

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



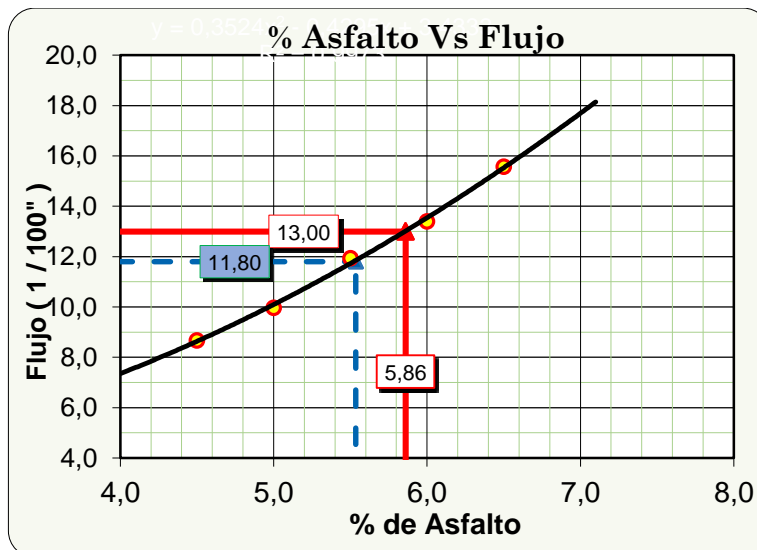
Fuente: Elaboración propia.

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 ( % )   | <b>5.211</b> | 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<br>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<br>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    |              |                         | <b>5.211</b>              |        |

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.

| <b>VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL</b> |                     |                                |                                  |        |
|-----------------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------|
| <b>CARACTERISTICAS</b>                  | <b>% DE ASFALTO</b> | <b>VALORES CON EL % OPTIMO</b> | <b>ESPECIFICACIONES TECNICAS</b> |        |
| 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.

| <b>VALORES OBTENIDOS DISEÑO MARHALL</b> |                     |                                |                                  |        |
|-----------------------------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------|
| <b>CARACTERISTICAS</b>                  | <b>% DE ASFALTO</b> | <b>VALORES CON EL % OPTIMO</b> | <b>ESPECIFICACIONES TECNICAS</b> |        |
| 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  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | 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  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | 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  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | 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 Nº 4                |                        | 2.675         | gr/cm <sup>3</sup> | 46.6                    | Tipo de asfalto AASHTO M 20      |                                 | 85-100           |                   | % DE AGREGADOS :             |                |               | 3/4"              | 3/8"                      | Nº4               |                |           |                                 |            |            |              |       |           |    |   |   |   |
| Mat. Pasa Tamiz Nº 4                    |                        | 2.650         | gr/cm <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 100                     | Nº 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 ( Dr. )      | PROMEDIO ( D <sub>rm</sub> ) | 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 | d |
| 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 Específicos (AASHTO T-100 , T-85) |                        | % de Agregados     |             | C. Asfáltico AASHTO M-20         |                                      | DOSIFICACION                         |                        |                       | GRAVA                                 | GRAVILLA                | ARENA TRITURADA | CAL-FILLER       |                           |                  |        |        |                                 |            |              |       |            |           |   |
|-----------------------------------------|------------------------|--------------------|-------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|------------------|--------|--------|---------------------------------|------------|--------------|-------|------------|-----------|---|
| Mat. Retenido Tamiz N°4                 | 2.675                  | gr/cm <sup>3</sup> | 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                     | 2.618                  | gr/cm <sup>3</sup> | 53.4        | P. Especifico Total AASHTO T-228 | 1.011                                | ORIGEN A GREGADOS :                  |                        |                       | 30%                                   | 24%                     | 43%             | 3%               |                           |                  |        |        |                                 |            |              |       |            |           |   |
| P. Esp. Agregado Total (Gag):           | 2.644                  | gr/cm <sup>3</sup> | 100         |                                  |                                      |                                      |                        |                       |                                       |                         |                 |                  |                           |                  |        |        |                                 |            |              |       |            |           |   |
| N° GOLPES:                              |                        | 75                 |             | 130 °C Compactación              |                                      |                                      |                        |                       |                                       |                         |                 |                  |                           |                  |        |        |                                 |            |              |       |            |           |   |
| IDENTIFICACION                          | ALFURA BRIQUETA ( CM ) | % DE ASFALTO       |             | PESO BRIQUETA EN EL AIRE (gr)    | PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S. (gr) | PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA (gr) | VOLUMEN BRIQUETA (cm3) | DENSIDAD BRIQUETA     |                                       |                         | % Vacios        |                  |                           | ESTABILIDAD (Lb) |        |        |                                 | LECT. DIAL | FLUJO 1 /100 | MEDIA |            |           |   |
|                                         |                        | BASE AGREGADO      | BASE MEZCLA |                                  |                                      |                                      |                        | REAL ( Dr. ) (kg/cm3) | PROMEDIO ( D <sub>rm</sub> ) (kg/cm3) | MAXIMA TEORICA (kg/cm3) | MEZCLA ( Vv)    | AGREGADOS ( VAM) | LLENOS DE ASFALTO ( RBV ) | LECT. DIAL       | REAL   | MEDIA  | FACTOR DE CORRECCION ( ALTURA ) |            |              |       | MEDIA f.c. | CORREGIDA |   |
|                                         |                        |                    |             |                                  |                                      |                                      |                        |                       |                                       |                         |                 |                  |                           |                  |        |        | mm                              |            |              |       |            |           |   |
|                                         |                        |                    |             |                                  |                                      |                                      |                        |                       |                                       |                         |                 |                  |                           |                  |        |        | a                               |            |              |       |            |           | b |
| 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-FILER        |        |        |                                 |       |            |              |       |            |           |
| Mat. Retenido Tamiz N°4                 | 2.675                  | gr/cm <sup>3</sup> | 46.6                | Tipo de asfalto AASHTO M 20      | 85-100                          |                                 |                     |                   |                              |                   | 3/4"          | 3/8"              | N°4                       | N°200            |        |        |                                 |       |            |              |       |            |           |
| Mat. Pasa Tamiz N°4                     | 2.592                  | gr/cm <sup>3</sup> | 53.4                | P. Especifico Total AASHTO T-228 | 1.011                           |                                 |                     | % DE AGREGADOS :  |                              |                   | 30%           | 24%               | 42%                       | 4%               |        |        |                                 |       |            |              |       |            |           |
| P. Esp. Agregado Total (Gag):           | 2.630                  | gr/cm <sup>3</sup> | 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 <sub>mm</sub> ) | 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     |            |              |       |            |           |
| 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  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | 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  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | 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  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | P. parcial | P. acum  | 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 <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 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 | mm | mm | mm |
|                                         |                        |                    |             |                                  |                                |                                 |                  |                   |                  |                 |                |                   |                           |                  |        |        |                                 |            |              |       |            |           | a  | b  | c  | d  |
| 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 <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 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 <sub>rm</sub> .) | 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 <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 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 <sup>3</sup> | 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 | o | p |
|                                         |                        |                    |             |                                  |                                 |                                 |                  |                   |                  |                 |                |                   |                           |                  |        |        |                                 |            |            |              |       |           | a  | b | c |
| 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.

| <b>% Optimo de Asfalto</b> | <b>Densidad (Grs/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Estabilidad (Libras)</b> | <b>Flujo (1/100 plg)</b> | <b>% Vacios (%)</b> | <b>% V.A.M. (%)</b> | <b>% R.B.V. (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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.

| <b>% Optimo de Asfalto</b> | <b>Densidad (Grs/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Estabilidad (Libras)</b> | <b>Flujo (1/100 plg)</b> | <b>% Vacios (%)</b> | <b>% V.A.M. (%)</b> | <b>% R.B.V. (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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.

| <b>% Optimo de Asfalto</b> | <b>Densidad (Grs/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Estabilidad (Libras)</b> | <b>Flujo (1/100 plg)</b> | <b>% Vacios (%)</b> | <b>% V.A.M. (%)</b> | <b>% R.B.V. (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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.

| <b>% Optimo de Asfalto</b> | <b>Densidad (Grs/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Estabilidad (Libras)</b> | <b>Flujo (1/100 plg)</b> | <b>% Vacios (%)</b> | <b>% V.A.M. (%)</b> | <b>% R.B.V. (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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.

| <b>% Optimo de Asfalto</b> | <b>Densidad (Grs/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Estabilidad (Libras)</b> | <b>Flujo (1/100 plg)</b> | <b>% Vacios (%)</b> | <b>% V.A.M. (%)</b> | <b>% R.B.V. (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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.

| <b>% Optimo de Asfalto</b> | <b>Densidad (Grs/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Estabilidad (Libras)</b> | <b>Flujo (1/100 plg)</b> | <b>% Vacios (%)</b> | <b>% V.A.M. (%)</b> | <b>% R.B.V. (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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.

| <b>% Optimo de Asfalto</b> | <b>Densidad (Grs/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Estabilidad (Libras)</b> | <b>Flujo (1/100 plg)</b> | <b>% Vacios (%)</b> | <b>% V.A.M. (%)</b> | <b>% R.B.V. (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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.

| <b>% Optimo de Asfalto</b> | <b>Densidad (Grs/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Estabilidad (Libras)</b> | <b>Flujo (1/100 plg)</b> | <b>% Vacios (%)</b> | <b>% V.A.M. (%)</b> | <b>% R.B.V. (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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.

| <b>% Optimo de Asfalto</b> | <b>Densidad (Grs/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Estabilidad (Libras)</b> | <b>Flujo (1/100 plg)</b> | <b>% Vacios (%)</b> | <b>% V.A.M. (%)</b> | <b>% R.B.V. (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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.

| <b>% Optimo de Asfalto</b> | <b>Densidad (Grs/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Estabilidad (Libras)</b> | <b>Flujo (1/100 plg)</b> | <b>% Vacios (%)</b> | <b>% V.A.M. (%)</b> | <b>% R.B.V. (%)</b> |
|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 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 <sup>3</sup> ) | 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 <sup>3</sup> ) | 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 <sup>3</sup> ) | 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,<br>2216.500 | 2.000       |
| Flujo (1/100")                 | 9.287    | 0.357      | 9.252    | 9.449                 | 7.000       |
| Densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) | 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.

| <b>VARIABLE</b>                     | <b>MEDIA</b> | <b>DESV.<br/>EST.</b> | <b>MEDIANA</b> | <b>MODOS</b>                 | <b>N<br/>PARA<br/>MODA</b> |
|-------------------------------------|--------------|-----------------------|----------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>Estabilidad (Lb)</b>             | 2469.000     | 49.600                | 2472.900       | 2466.950,<br>2533.550        | 3.000                      |
| <b>Flujo (1/100")</b>               | 10.533       | 0.448                 | 10.531         | 10.236,<br>10.433,<br>10.630 | 5.000                      |
| <b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.336        | 0.007                 | 2.335          | *                            | 0.000                      |
| <b>% Vacíos (%)</b>                 | 4.241        | 0.304                 | 4.263          | *                            | 0.000                      |
| <b>% VAM (%)</b>                    | 16.878       | 0.264                 | 16.897         | *                            | 0.000                      |
| <b>% RBV (%)</b>                    | 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.

| <b>VARIABLE</b>                     | <b>MEDIA</b> | <b>DESV.<br/>EST.</b> | <b>MEDIANA</b> | <b>MODOS</b>                                    | <b>N<br/>PARA<br/>MODA</b> |
|-------------------------------------|--------------|-----------------------|----------------|-------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>Estabilidad (Lb)</b>             | 2565.400     | 55.000                | 2559.600       | 2544.960,<br>2564.390,<br>2609.560,<br>2639.510 | 2.000                      |
| <b>Flujo (1/100")</b>               | 11.373       | 0.317                 | 11.398         | 11.4173                                         | 8.000                      |
| <b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.351        | 0.008                 | 2.352          | *                                               | 0.000                      |
| <b>% Vacíos (%)</b>                 | 3.556        | 0.332                 | 3.496          | *                                               | 0.000                      |
| <b>% VAM (%)</b>                    | 16.369       | 0.288                 | 16.316         | *                                               | 0.000                      |
| <b>% RBV (%)</b>                    | 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.

| <b>VARIABLE</b>                     | <b>MEDIA</b> | <b>DESV. EST.</b> | <b>MEDIANA</b> | <b>MODO</b> | <b>N PARA MODA</b> |
|-------------------------------------|--------------|-------------------|----------------|-------------|--------------------|
| <b>Estabilidad (Libras)</b>         | 2618.700     | 118.100           | 2643.700       | 2635.880    | 2.000              |
| <b>Flujo (1/100")</b>               | 11.562       | 0.596             | 11.713         | 11.811      | 9.000              |
| <b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.364        | 0.007             | 2.364          | *           | 0.000              |
| <b>% Vacíos (%)</b>                 | 2.994        | 0.294             | 2.990          | *           | 0.000              |
| <b>% VAM (%)</b>                    | 15.946       | 0.255             | 15.943         | *           | 0.000              |
| <b>% RBV (%)</b>                    | 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.

| <b>VARIABLE</b>                     | <b>MEDIA</b> | <b>DESV. EST.</b> | <b>MEDIANA</b> | <b>MODO</b> | <b>N PARA MODA</b> |
|-------------------------------------|--------------|-------------------|----------------|-------------|--------------------|
| <b>Estabilidad (Lb)</b>             | 2345.800     | 67.100            | 2340.700       | 2285.010    | 3.000              |
| <b>Flujo (1/100")</b>               | 12.092       | 0.445             | 11.949         | 11.811      | 11.000             |
| <b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.351        | 0.006             | 2.352          | *           | 0.000              |
| <b>% Vacíos (%)</b>                 | 3.442        | 0.233             | 3.415          | *           | 0.000              |
| <b>% VAM (%)</b>                    | 16.441       | 0.202             | 16.417         | *           | 0.000              |
| <b>% RBV (%)</b>                    | 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.

| <b>VARIABLE</b>                     | <b>MEDIA</b> | <b>DESV.<br/>EST.</b> | <b>MEDIANA</b> | <b>MODO</b>           | <b>N<br/>PARA<br/>MODA</b> |
|-------------------------------------|--------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Estabilidad (Lb)</b>             | 2734.200     | 90.000                | 2738.800       | 2698.940,<br>2861.660 | 2.000                      |
| <b>Flujo (1/100")</b>               | 12.618       | 0.520                 | 12.598         | 12.598                | 7.000                      |
| <b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.368        | 0.006                 | 2.369          | *                     | 0.000                      |
| <b>% Vacíos (%)</b>                 | 2.664        | 0.235                 | 2.641          | *                     | 0.000                      |
| <b>% VAM (%)</b>                    | 15.875       | 0.203                 | 15.855         | *                     | 0.000                      |
| <b>% RBV (%)</b>                    | 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.

| <b>VARIABLE</b>                     | <b>MEDIA</b> | <b>DESV.<br/>EST.</b> | <b>MEDIANA</b> | <b>MODO</b>                  | <b>N<br/>PARA<br/>MODA</b> |
|-------------------------------------|--------------|-----------------------|----------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>Estabilidad (Lb)</b>             | 2971.700     | 104.400               | 2967.200       | 2960.340,<br>3123.770        | 2.000                      |
| <b>Flujo (1/100")</b>               | 12.890       | 0.545                 | 12.795         | 12.402,<br>12.795,<br>12.992 | 4.000                      |
| <b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.379        | 0.005                 | 2.378          | *                            | 0.000                      |
| <b>% Vacíos (%)</b>                 | 2.075        | 0.193                 | 2.112          | *                            | 0.000                      |
| <b>% VAM (%)</b>                    | 15.602       | 0.167                 | 15.635         | *                            | 0.000                      |
| <b>% RBV (%)</b>                    | 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.

| <b>VARIABLE</b>                     | <b>MEDIA</b> | <b>DESV.<br/>EST.</b> | <b>MEDIANA</b> | <b>MODO</b>           | <b>N<br/>PARA<br/>MODA</b> |
|-------------------------------------|--------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------------------|
| <b>Estabilidad (Lb)</b>             | 2450.200     | 64.100                | 2448.000       | 2423.960,<br>2448.010 | 2.000                      |
| <b>Flujo (1/100")</b>               | 12.878       | 0.606                 | 12.795         | 12.598,<br>13.780     | 5.000                      |
| <b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.335        | 0.004                 | 2.335          | *                     | 0.000                      |
| <b>% Vacíos (%)</b>                 | 4.181        | 0.155                 | 4.163          | *                     | 0.000                      |
| <b>% VAM (%)</b>                    | 16.975       | 0.135                 | 16.959         | *                     | 0.000                      |
| <b>% RBV (%)</b>                    | 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.

| <b>VARIABLE</b>                     | <b>MEDIA</b> | <b>DESV.<br/>EST.</b> | <b>MEDIANA</b> | <b>MODO</b> | <b>N<br/>PARA<br/>MODA</b> |
|-------------------------------------|--------------|-----------------------|----------------|-------------|----------------------------|
| <b>Estabilidad (Lb)</b>             | 2529.300     | 99.400                | 2541.600       | 2448.450    | 3.000                      |
| <b>Flujo (1/100")</b>               | 14.311       | 0.535                 | 14.272         | 13.779      | 8.000                      |
| <b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.340        | 0.006                 | 2.340          | 2.336       | 2.000                      |
| <b>% Vacíos (%)</b>                 | 3.779        | 0.237                 | 3.779          | 3.943       | 2.000                      |
| <b>% VAM (%)</b>                    | 16.881       | 0.205                 | 16.881         | 17.023      | 2.000                      |
| <b>% RBV (%)</b>                    | 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 |
|-------------------------------------|--------|------------|----------|----------|-------------|
| <b>Estabilidad (Lb)</b>             | 2621.5 | 76.100     | 2620.800 | 2497.410 | 2.000       |
| <b>Flujo (1/100")</b>               | 14.541 | 0.480      | 14.567   | 13.780   | 5.000       |
| <b>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</b> | 2.351  | 0.008      | 2.351    | *        | 0.000       |
| <b>% Vacíos (%)</b>                 | 3.259  | 0.325      | 3.269    | *        | 0.000       |
| <b>% VAM (%)</b>                    | 16.538 | 0.281      | 16.546   | *        | 0.000       |
| <b>% RBV (%)</b>                    | 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:

$\mu$  = media de la muestra.

Hipótesis nula =  $H_0$                        $\mu$  = 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 $\mu$ |
|---------------------|----|---------|------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 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

|                          |                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Hipótesis nula</b>    | <b><math>H_0: \mu = 2469.00</math></b>    |
| <b>Hipótesis alterna</b> | <b><math>H_1: \mu &gt; 2469.00</math></b> |

| 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 $\mu$ |
|---------------------|----|---------|------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 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

|                          |                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Hipótesis nula</b>    | <b><math>H_0: \mu = 2565.40</math></b>    |
| <b>Hipótesis alterna</b> | <b><math>H_1: \mu &gt; 2565.40</math></b> |

| Muestra                     | Valor T | Valor p |
|-----------------------------|---------|---------|
| <b>Cemento portland 3 %</b> | 10.27   | 0.00    |
| <b>Cal hidratada 3 %</b>    | -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 $\mu$ |
|----------------------------|----|---------|------------|----------------------------|-----------------------------------|
| <b>Cemento portland 4%</b> | 30 | 2971.70 | 104.40     | 19.10                      | 2939.40                           |
| <b>Cal hidratada 4%</b>    | 30 | 2621.50 | 76.10      | 13.90                      | 2597.90                           |

Prueba

|                          |                                           |
|--------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Hipótesis nula</b>    | <b><math>H_0: \mu = 2618.70</math></b>    |
| <b>Hipótesis alterna</b> | <b><math>H_1: \mu &gt; 2618.70</math></b> |

| Muestra                     | Valor T | Valor p |
|-----------------------------|---------|---------|
| <b>Cemento portland 4 %</b> | 18.52   | 0.00    |
| <b>Cal hidratada 4 %</b>    | 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 $\mu$ |
|---------------------|----|-------|------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 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 $\mu$ |
|---------|---|-------|------------|----------------------------|-----------------------------------|
|---------|---|-------|------------|----------------------------|-----------------------------------|

|                            |    |       |      |      |       |
|----------------------------|----|-------|------|------|-------|
| <b>Cemento portland 3%</b> | 30 | 12.62 | 0.52 | 0.09 | 12.78 |
| <b>Cal hidratada 3%</b>    | 30 | 14.31 | 0.54 | 0.10 | 14.48 |

Prueba

|                          |                                         |
|--------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Hipótesis nula</b>    | <b><math>H_0: \mu = 11.37</math></b>    |
| <b>Hipótesis alterna</b> | <b><math>H_1: \mu &lt; 11.37</math></b> |

| <b>Muestra</b>              | <b>Valor T</b> | <b>Valor p</b> |
|-----------------------------|----------------|----------------|
| <b>Cemento portland 3 %</b> | 13.10          | 1.00           |
| <b>Cal hidratada 3 %</b>    | 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

| <b>Muestra</b>             | <b>N</b> | <b>Media</b> | <b>Desv. Est.</b> | <b>Error estándar de la media</b> | <b>Límite superior de 95% para <math>\mu</math></b> |
|----------------------------|----------|--------------|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>Cemento portland 4%</b> | 30       | 12.89        | 0.55              | 0.10                              | 13.06                                               |
| <b>Cal hidratada 4%</b>    | 30       | 14.54        | 0.48              | 0.09                              | 14.69                                               |

Prueba

|                          |                                         |
|--------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Hipótesis nula</b>    | <b><math>H_0: \mu = 10.56</math></b>    |
| <b>Hipótesis alterna</b> | <b><math>H_1: \mu &lt; 10.56</math></b> |

| Muestra                     | Valor T | Valor p |
|-----------------------------|---------|---------|
| <b>Cemento portland 4 %</b> | 13.34   | 1.00    |
| <b>Cal hidratada 4 %</b>    | 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%.

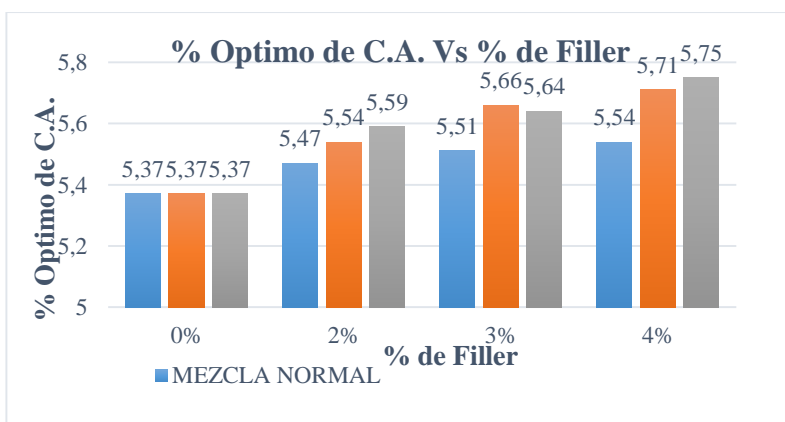
Nota. Cabe mencionar que al rechazar la hipótesis nula, se comprueba que la hipótesis alterna es la correcta y/o verdadera.

### 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.

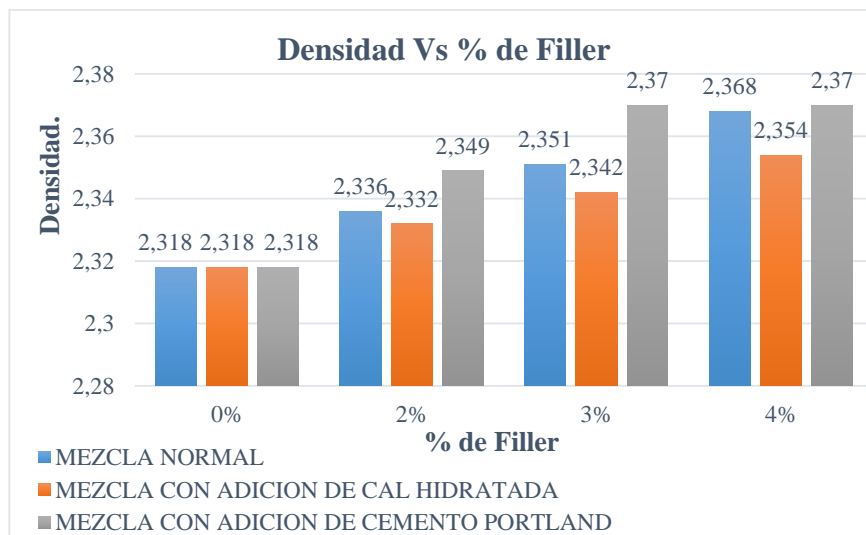


Fuente: Elaboración propia.

### 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.

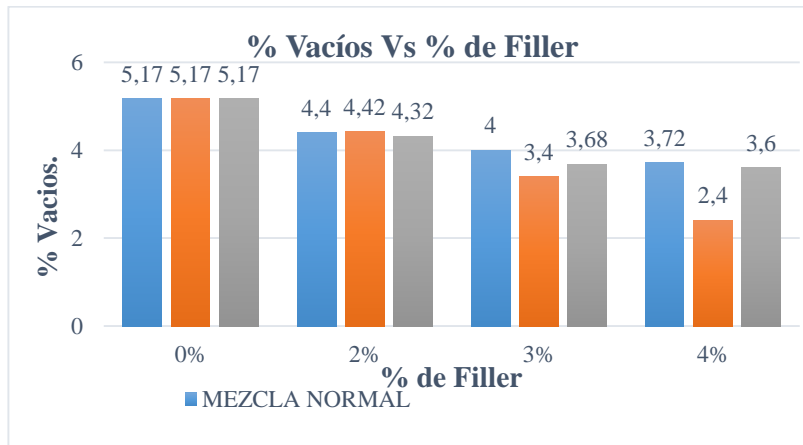


Fuente: Elaboración propia.

### 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 relleno 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.

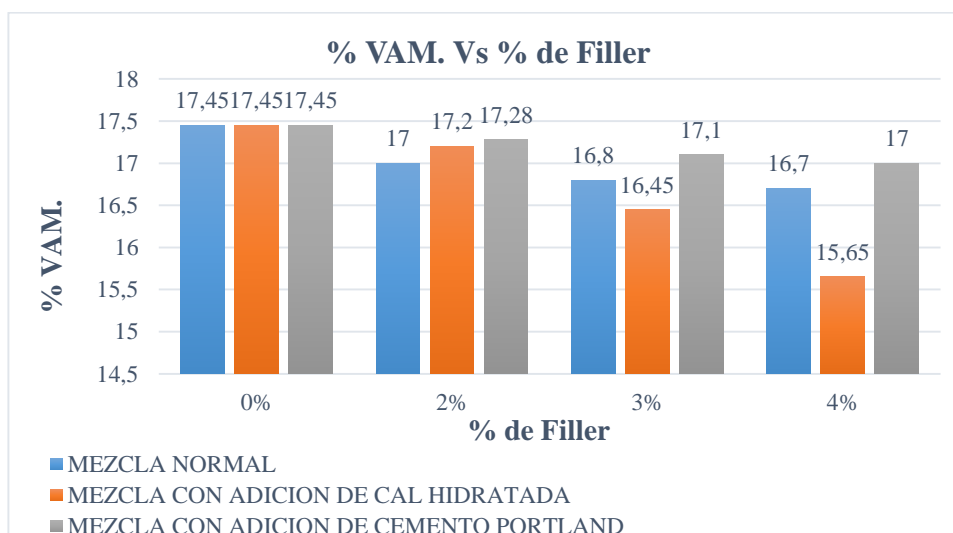


Fuente: Elaboración propia.

#### 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.



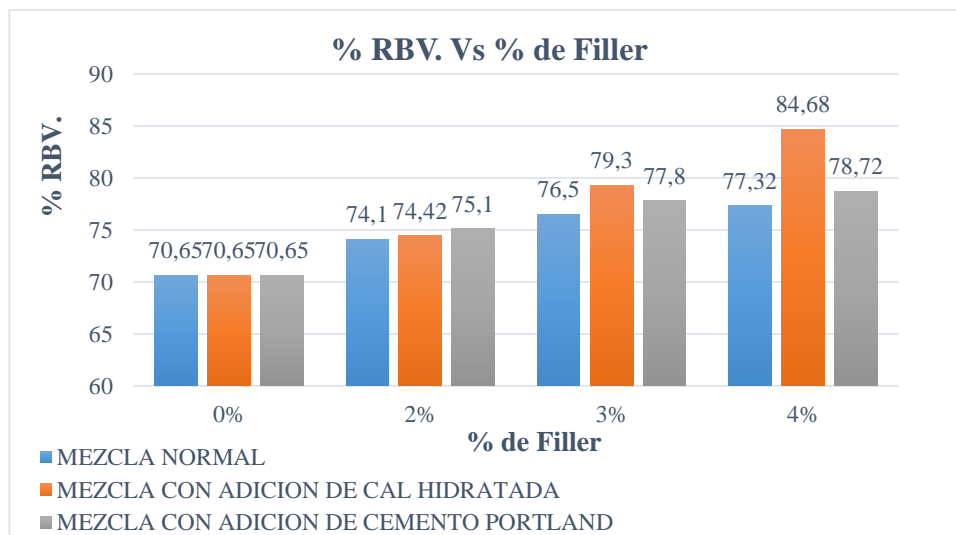
Fuente: Elaboración propia.



#### 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.

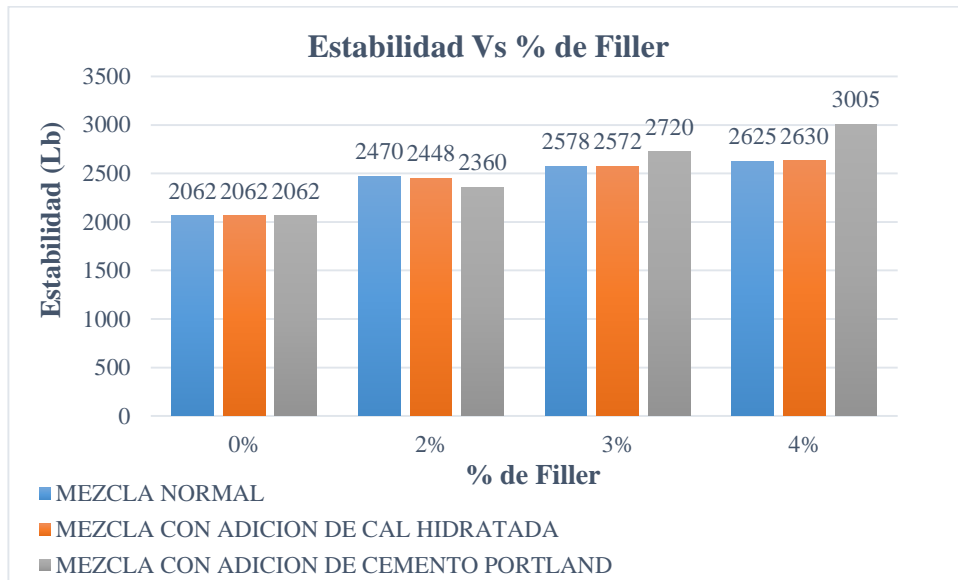


Fuente: Elaboración propia.

#### 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.

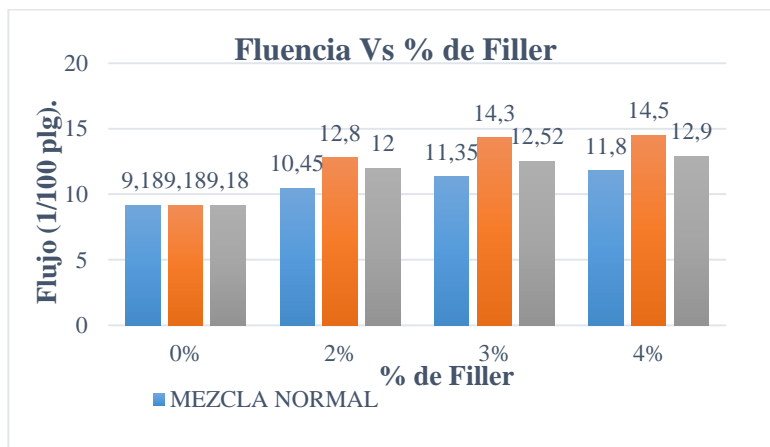


Fuente: Elaboración propia.

#### 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/m<sup>3</sup>.

Tabla 4.65. Dosificación para 1 m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica normal.

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

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un cálculo de los precios de producción para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica normal, a continuación se muestra los precios unitarios.

Tabla 4.66. Precio de producción para 1 m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica normal.

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS                                     |                                              |                |                        |                 |                 |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Proyecto de Grado                                                 |                                              |                |                        | Actividad N°    | <b>1.000</b>    |
| Actividad : Carpeta de concreto asfáltico 0% de polvo de roca     |                                              |                | Cantidad :             | 1.00            |                 |
| Unidad : <b>m<sup>3</sup></b>                                     |                                              |                | Moneda .               | Bs              |                 |
| Descripción                                                       |                                              | Unidad         | Cantidad o rendimiento | Precio unitario | Costo total     |
| <b>1 Materiales</b>                                               |                                              |                |                        |                 |                 |
| 1                                                                 | Grava de 3/4"                                | m <sup>3</sup> | 0.239                  | 152.000         | 36.328          |
| 2                                                                 | Grava de 3/8"                                | m <sup>3</sup> | 0.191                  | 152.000         | 29.032          |
| 3                                                                 | Arena triturada                              | m <sup>3</sup> | 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          |
| <b>Total materiales</b>                                           |                                              |                |                        |                 | <b>1272.785</b> |
| <b>2 Mano de obra</b>                                             |                                              |                |                        |                 |                 |
| 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          |
| <b>Total mano de obra</b>                                         |                                              |                |                        |                 | <b>125.746</b>  |
| <b>3 Equipo, maquinaria y herramientas</b>                        |                                              |                |                        |                 |                 |
| 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 <sup>3</sup> | hr             | 0.0001                 | 421.290         | 0.042           |
| 8                                                                 | Volqueta=12 m <sup>3</sup>                   | hr             | 0.001                  | 227.870         | 0.273           |
| Herramientas = % de la mano de obra                               |                                              |                |                        | 5.000%          | 6.287           |
| <b>Total eq, maq. y herr.</b>                                     |                                              |                |                        |                 | <b>196.988</b>  |
| <b>4 Gastos generales y administrativos</b>                       |                                              |                |                        |                 |                 |
| Gastos generales = % (1+2+3)                                      |                                              |                |                        | 10.000%         | 159.552         |
| <b>5 Utilidad</b>                                                 |                                              |                |                        |                 |                 |
| Utilidad = % (1+2+3+4)                                            |                                              |                |                        | 10.000%         | 175.507         |
| <b>6 Impuestos</b>                                                |                                              |                |                        |                 |                 |
| Impuestos I. T. = % (1+2+3+4+5)                                   |                                              |                |                        | 3.090%          | 59.655          |
| <b>Total precio unitario</b>                                      |                                              |                |                        |                 | <b>1990.233</b> |

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/m<sup>3</sup>.

Tabla 4.68. Dosificación para 1 m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada.

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

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un cálculo de los precios de producción para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada, a continuación se muestra los precios unitarios.

Tabla 4.69. Precio de producción para 1 m<sup>3</sup> 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 <sup>3</sup>                                           |                                              |                        | Moneda :        | Bs           |                 |
| Descripción                                                       | Unidad                                       | Cantidad o Rendimiento | Precio Unitario | Costo Total  |                 |
| <b>1 Materiales</b>                                               |                                              |                        |                 |              |                 |
| 1                                                                 | Grava de 3/4"                                | m <sup>3</sup>         | 0.238           | 152.000      | 36.176          |
| 2                                                                 | Grava de 3/8"                                | m <sup>3</sup>         | 0.191           | 152.000      | 29.032          |
| 3                                                                 | Arena triturada                              | m <sup>3</sup>         | 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          |
| <b>Total Materiales</b>                                           |                                              |                        |                 |              | 1361.406        |
| <b>2 Mano de Obra</b>                                             |                                              |                        |                 |              |                 |
| 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          |
| <b>Total Mano de Obra</b>                                         |                                              |                        |                 |              | 125.746         |
| <b>3 Equipo, Maquinaria y Herramientas</b>                        |                                              |                        |                 |              |                 |
| 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 <sup>3</sup> | hr                     | 0.0001          | 421.290      | 0.042           |
| 8                                                                 | Volqueta=12 m <sup>3</sup>                   | hr                     | 0.001           | 227.870      | 0.273           |
| Herramientas = % de la mano de obra                               |                                              |                        |                 | 5.000%       | 6.287           |
| <b>Total Eq, Maq. y Herr.</b>                                     |                                              |                        |                 |              | 196.988         |
| <b>4 Gastos Generales y Administrativos</b>                       |                                              |                        |                 |              |                 |
| Gastos Generales = % (1+2+3)                                      |                                              |                        |                 | 10.000%      | 168.414         |
| <b>5 Utilidad</b>                                                 |                                              |                        |                 |              |                 |
| Utilidad = % (1+2+3+4)                                            |                                              |                        |                 | 10.000%      | 185.255         |
| <b>6 Impuestos</b>                                                |                                              |                        |                 |              |                 |
| Impuestos I. T. = % (1+2+3+4+5)                                   |                                              |                        |                 | 3.090%       | 62.968          |
| <b>Total Precio Unitario</b>                                      |                                              |                        |                 |              | <b>2100.777</b> |

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.

| <b>Dosificación de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland</b> |            |
|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 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/m<sup>3</sup>.

Tabla 4.71. Dosificación para 1 m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland.

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

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó un cálculo de los precios de producción para 1m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica con adición de cal hidratada, a continuación se muestra los precios unitarios.

Tabla 4.72. Precio de producción para 1 m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica con adición de cemento portland.

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS                                     |                                              |                        |                 |              |                 |
|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------|-----------------|--------------|-----------------|
| Proyecto de Grado                                                 |                                              |                        |                 | Actividad N° | <b>8.000</b>    |
| Actividad : Carpeta de concreto asfáltico 2% de cemento portland  |                                              |                        | Cantidad :      | 1.00         |                 |
| Unidad : <b>m<sup>3</sup></b>                                     |                                              |                        | Moneda .        | Bs           |                 |
| Descripción                                                       | Unidad                                       | Cantidad o Rendimiento | Precio Unitario | Costo Total  |                 |
| <b>1 Materiales</b>                                               |                                              |                        |                 |              |                 |
| 1                                                                 | Grava de 3/4"                                | m <sup>3</sup>         | 0.238           | 152.000      | 36.176          |
| 2                                                                 | Grava de 3/8"                                | m <sup>3</sup>         | 0.191           | 152.000      | 29.032          |
| 3                                                                 | Arena triturada                              | m <sup>3</sup>         | 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          |
| <b>Total Materiales</b>                                           |                                              |                        |                 |              | <b>1361.301</b> |
| <b>2 Mano de Obra</b>                                             |                                              |                        |                 |              |                 |
| 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          |
| <b>Total Mano de Obra</b>                                         |                                              |                        |                 |              | <b>125.746</b>  |
| <b>3 Equipo, Maquinaria y Herramientas</b>                        |                                              |                        |                 |              |                 |
| 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 <sup>3</sup> | hr                     | 0.0001          | 421.290      | 0.042           |
| 8                                                                 | Volqueta=12 m <sup>3</sup>                   | hr                     | 0.001           | 227.870      | 0.273           |
| Herramientas = % de la mano de obra                               |                                              |                        |                 | 5.000%       | 6.287           |
| <b>Total Eq, Maq. y Herr.</b>                                     |                                              |                        |                 |              | <b>196.988</b>  |
| <b>4 Gastos Generales y Admistrativos</b>                         |                                              |                        |                 |              |                 |
| Gastos Generales = % (1+2+3)                                      |                                              |                        |                 | 10.000%      | 168.403         |
| <b>5 Utilidad</b>                                                 |                                              |                        |                 |              |                 |
| Utilidad = % (1+2+3+4)                                            |                                              |                        |                 | 10.000%      | 185.244         |
| <b>6 Impuestos</b>                                                |                                              |                        |                 |              |                 |
| Impuestos I. T. = % (1+2+3+4+5)                                   |                                              |                        |                 | 3.090%       | 62.964          |
| <b>Total Precio Unitario</b>                                      |                                              |                        |                 |              | <b>2100.646</b> |

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.

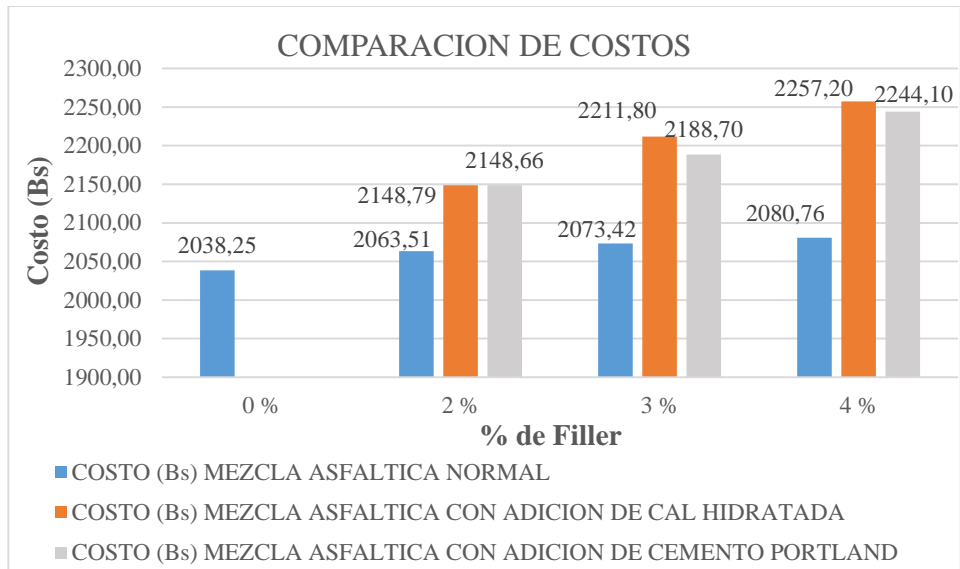
| DESCRIPCIÓN                                      | % DE FILLER | COSTO (Bs) |
|--------------------------------------------------|-------------|------------|
| MEZCLA ASFÁLTICA NORMAL                          | 0 %         | 1990.233   |
|                                                  | 2 %         | 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.