

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

## 1.1 INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo tiene como propósito fundamental realizar una evaluación de agregados preparados y seleccionados para utilizar en la elaboración de mezclas asfálticas, con referencia a la presencia porcentual de partículas denominadas planas y alargadas de manera que se pueda evaluar su incidencia en las propiedades físico mecánicas de la mezcla asfáltica elaborada, lo que represente una alerta técnica en el cuidado de las proporciones de partículas planas y alargadas en los agregados de la mezcla asfáltica.

En los diferentes países así como en el nuestro se han realizado investigaciones sobre este aspecto de planas y alargadas en agregados, algunos eminentemente académicos en las universidades y otros en el área de la construcción de carreteras donde predomina el cumplimiento de especificaciones técnicas.

A través de las diferentes normas en cada uno de los países se han establecido ensayos de control del porcentaje de partículas planas y alargadas, además de las limitaciones de la cantidad admisible, todas estas normativas basadas en las normativas de la ASTM y AASHTO que nuestro país las asume dentro de las especificaciones técnicas.

Lo que el autor propone en esta investigación es evaluar si el porcentaje de partículas planas y alargadas tiene una influencia importante en las propiedades de la mezcla asfáltica cuya consecuencia pueda ser una menor durabilidad de la misma a través del tiempo. Las características propias de los agregados que se utilizan para la trituración y las formas de realizarlas influyen en la cantidad de partículas que se obtienen en el proceso de partículas planas y alargadas.

La aplicación práctica que se realice en la investigación será de mucho interés a nivel del área de mezclas asfálticas ya que a partir de los resultados que se obtengan se podrá determinar los límites de la aplicación de partículas planas y alargadas en mezclas asfálticas. Su relevancia de los resultados que se obtengan será en prevenir a los constructores la aplicación correcta de porcentaje de partículas planas y alargadas de manera que no afecten significativamente a las mezclas asfálticas.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN.**

En los últimos años la construcción de carreteras en todos los países y también en el nuestro han adquirido mucha importancia, la ejecución de nuevos y más tramos viales han dado lugar a nuevas experiencias en la construcción de carreteras que muchas veces dan lugar a problemas que no eran comunes.

La importancia de determinar metodologías que permitan evaluar a las mezclas asfálticas a partir de los agregados utilizados en dicha mezcla, uno de los factores que esta normalizado es la presencia de agregado triturado en la conformación de mezclas asfálticas de manera que puedan otorgar mejor condición mecánica, sin embargo en el proceso de trituración se pueden presentar condiciones no deseadas a partir de los resultados en la trituración de los agregados, una de ellas es el porcentaje de particular planas y alargadas.

Establecer cuáles son las condiciones de la mezcla asfáltica dependiendo del porcentaje de planas y alargadas en sus agregados es una necesidad de investigación de manera que se pueda prevenir las acciones al producir los agregados de la mezcla asfáltica.

Es importante evaluar la incidencia del porcentaje de planas y alargadas en las propiedades de la mezcla asfáltica, pese a que hay una condicionante en la normativa vigente de un máximo de 10%, es necesario investigar sus efectos con porcentajes menores y mayores al especificado, de manera que se pueda tomar en consideración en los proyectos carreteros.

Los resultados que puedan obtenerse de este estudio en nuestro medio pueden ser una base importante para las entidades encargadas de la planificación de las acciones sobre la red vial del departamento de manera que será un indicador importante que permitirá priorizar el tipo de mezclas asfálticas y la conformación de los agregados con respecto al porcentaje de planas y alargadas.

Significará un aporte académico importante porque su estudio no está en las materias de la carrera de ingeniería civil por lo que se hace imperioso la necesidad de profundizar para que se convierta en documento de consulta.

## **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.3.1 Situación problemática.**

Las carreteras cada vez son proyectos con mayores problemas en lo que se refiere a la durabilidad de los pavimentos, ante el incremento de los volúmenes de tráfico las mezclas asfálticas del pavimento deben ser más consistentes, lo que implica la necesidad de cuidar los elementos que la constituyen entre ellos los agregados.

Al ser las carreteras obras de ingeniería de mucho costo, muchas veces los presupuestos no consideran obras complementarias para los riesgos que se presentan en la carretera esperando que se estabilicen con el tiempo, lo cual ocurre en algún grado siempre y cuando los agregados sean adecuados y cumplan las especificaciones.

En proyectos en nuestro país tanto en la etapa de diseño como de ejecución se priorizan las obras más importantes de la carretera dejando en muchos casos algunos componentes que no son totalmente resueltos en cuanto a los riesgos que pudiesen tener a los largo de su puesta en servicio, entre ellos el porcentaje de planas y alargadas que puedan tener los agregados al conformar la mezcla asfáltica.

La determinación de los agregados adecuados para una mezcla asfáltica en un determinado proyecto es muy importante para garantizar la durabilidad proyectada, el deterioro de la capa de rodadura que pueden tener las carreteras durante su puesta en servicio es cada vez de mayor importancia pensando en la confiabilidad y seguridad de los usuarios por eso cualquier esfuerzo académico o ingenieril para investigar los efectos de los agregados en este caso sobre su característica de planas y alargadas es importante y necesario en nuestros países, por ello debe considerarse evaluaciones ya estudiadas que permitan establecer el efecto del porcentaje de planas y alargadas en las propiedades de la mezcla asfáltica y poner en consideración para nuestro país.

### **1.3.2 Problema.**

¿De qué forma una evaluación, puede determinar el efecto que tienen las partículas planas y alargadas, en las propiedades de resistencia de una mezcla asfáltica?

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.4.1 Objetivo general.**

Evaluar las propiedades de las mezclas asfálticas, haciendo variar el porcentaje de partículas planas y alargadas, de tal forma que se pueda cuantificar los efectos que tienen en su resistencia y flujo.

### **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.
- Caracterizar los materiales, agregados pétreos y del cemento asfáltico que intervendrán en la mezcla asfáltica considerando el porcentaje de planas y alargadas según AASHTO y ASTM.
- Seleccionar las partículas planas y alargadas del agregado grueso para luego utilizarlas en las diferentes mezclas asfálticas.
- Realizar las mezclas asfálticas en caliente por el método Marshall según ASTM D 1559 haciendo variar los porcentajes de partículas planas y alargadas en el agregado grueso.
- Medir los efectos en las propiedades mecánicas tales como: estabilidad, fluencia, % de vacíos y densidad, de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas.
- Evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, a partir de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio realizadas.

## 1.5 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

### 1.5.1 Hipótesis.

Si realizamos diferentes mezclas asfálticas calientes modificadas donde se hará variar los porcentajes de las partículas planas y alargadas en el agregado grueso, entonces se puede desarrollar en laboratorio los ensayos necesarios para poder determinar si existen mejoras en sus propiedades mecánicas.

### 1.5.2 Identificación de variables.

**Variable independiente:** El porcentaje de partículas planas y alargadas en el agregado pétreo.

**Variable dependiente:**

Estabilidad.

Fluencia.

Porcentaje de vacíos.

Densidad.

#### 1.5.2.1 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.

**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.

### 1.5.2.2 Operacionalidad de las variables.

#### Variable independiente:

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
El porcentaje de partículas planas y alargadas en el agregado pétreo	Se refiere a la variación de porcentajes de planas y alargadas en el agregado grueso de una mezcla asfáltica	Agregado grueso	Se hará variar el porcentaje de planas y alargadas (%)	ASTM D4791-10

#### Variable dependiente:

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
El comportamiento de la estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos y densidad en una mezcla asfáltica	Se refiere a la variación del comportamiento de las propiedades físico mecánicas de una mezcla asfáltica	estabilidad	Lb	Especificaciones de la Norma (AASHTO)
		fluencia	1/100	
		Porcentaje de vacíos	%	
		densidad	g/cm <sup>3</sup>	



## **1.6 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL**

### **1.6.1 Unidad de estudio o muestreo.**

Los ensayos que se realizara a las muestras.

### **1.6.2 Población.**

Es el conjunto de elementos o individuos que reúnen las características que se pretenden estudiar.

La población es el conjunto de ensayos que serán realizados a las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas en el agregado grueso.

### **1.6.3 Muestra.**

Es el grupo de individuos que realmente se estudiarán, es un subconjunto de la población.

La muestra son las propiedades de las mezclas asfálticas de los ensayos realizados con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas.

Las propiedades a tomar en cuenta en el proyecto son Estabilidad, Fluencia, Porcentaje de vacíos y la densidad.

### **1.6.4 Selección de las técnicas de muestreo.**

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

El muestreo estratificado es una técnica de muestreo probabilístico en donde el investigador divide a toda la población en diferentes subgrupos o estratos.

Luego, selecciona aleatoriamente a los sujetos finales de los diferentes estratos en forma proporcional.

### **1.7 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.**

El tipo de investigación a realizar será una investigación EXPLICATIVA, puesto que se desea conocer las propiedades físico – mecánicas de la mezcla asfáltica en el diseño de mezclas asfálticas en caliente, con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas en el agregado grueso.

Es la investigación que responde a la interrogante ¿por qué?, es decir, con este estudio podemos conocer por que un hecho o fenómeno de la realidad tiene tales y cuales características, cualidades, propiedades, etc., en síntesis, por que la variable en estudio es como es.

En este nivel el investigador conoce y da a conocer las causas o factores que han dado origen o han condicionado la existencia y naturaleza del hecho fenómeno en estudio.

### **1.8 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.**

La investigación se centra en la evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente continuas haciendo variar los porcentajes de partículas planas y alargadas en el agregado grueso.

Los ensayos para los agregados pétreos, cemento asfáltico y mezcla asfáltica se realizaran conforme a normas AASHTO y/o ASTM.

Los ensayos concernientes a la determinación de la calidad de los materiales; corresponderán nada más a aquellos que sean de utilidad para el diseño de la mezcla asfáltica en caliente.

El cemento asfáltico a emplear en la elaboración de las mezclas asfálticas será del tipo convencional normal de penetración 85 – 100 según AASHTO T-49 ya que éste es el tipo de asfalto que se adecua al clima del departamento de Tarija y que propone el MÉTODO MARSHALL para el diseño de mezclas asfálticas. En lo que concierne a la información técnica que se requiera de éste, como resultados de ensayos para su

clasificación, etc.; estos serán proporcionados por la entidad que proporcione el asfalto para esta investigación.

La granulometría a utilizar en el diseño que comprende éste trabajo de investigación; se basará en el tamaño máximo nominal  $\frac{3}{4}$ " utilizada en la carpeta de rodadura para un tráfico alto de acuerdo con la ASTM D 3515.

El diseño patrón obtenido de la mezcla asfáltica en caliente, se analizará para un tráfico alto ya que representa las condiciones más desfavorables a las cuáles se puede someter un pavimento en las carreteras en el país.

Para un análisis más profundo de los resultados, se realizará el diseño de una mezcla asfáltica con el MÉTODO MARSHALL; cuyos ensayos de laboratorio será necesario realizarlos en un laboratorio particular que cuenta con el equipo necesario.

## **1.9 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS.**

### **1.9.1 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.

Desintegración sulfato de sodio.

Porcentaje de caras fracturadas.

Porcentaje de partículas planas y alargadas.

#### **Caracterización del ligante (cemento asfáltico):**

Penetración a 25°C.

Peso específico.

### Ensayos Marshall:

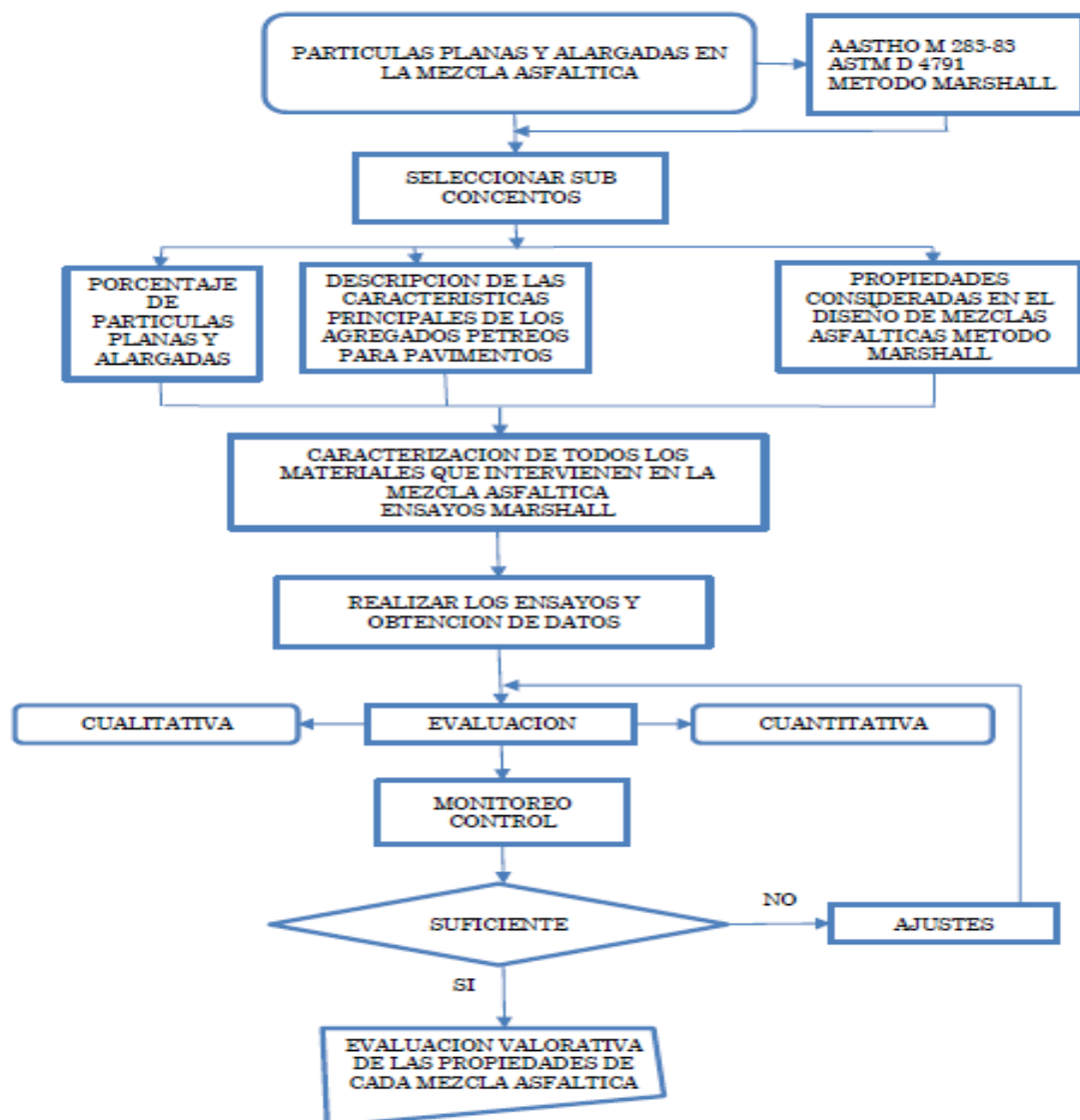
Estabilidad y fluencia.

Porcentaje de vacíos.

Densidad.

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

**Figura 1.** Esquema de actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva.



Fuente: Elaboración propia.

### **1.9.3 Productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva.**

Los productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva acerca de la evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas convencionales con diferentes porcentajes partículas de planas y alargadas 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.

La obtención de los resultados de la relación de vacíos que es necesario realizar un cálculo después de realizar los ensayos.

### **1.9.4 Resultados esperados.**

Los resultados esperados de la evaluación del comportamiento mecánico de mezclas asfálticas convencionales con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas son:

Evaluar el comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas con relación a las mezclas asfálticas convencionales, para así poder establecer las ventajas y desventajas que se pudieran observar.

### **1.9.5 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.

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

**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.

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

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

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.

Y1  $\Rightarrow$  Y2

Y1  $\Rightarrow$  Y3

Tabulación ordenada de los datos.

Graficar y relacionar con las variables independientes.

Describir y explicar las relaciones funcionales entre las variables.

**CAPÍTULO II**  
**ASPECTOS GENERALES SOBRE**  
**PAVIMENTOS FLEXIBLES**



## **2. ASPECTOS GENERALES SOBRE PAVIMENTOS FLEXIBLES.**

### **2.1 PAVIMENTO.**

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas. Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos. La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

#### **2.1.1 Tipos de pavimentos.**

Básicamente existen dos tipos de pavimentos:

Rígidos.

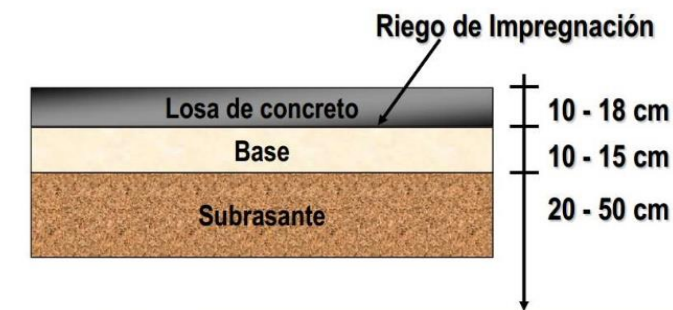
Flexibles.

### 2.1.1.1 Pavimento rígido.

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varia entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

**Figura 2.** Pavimento rígido.

#### Sección Transversal:



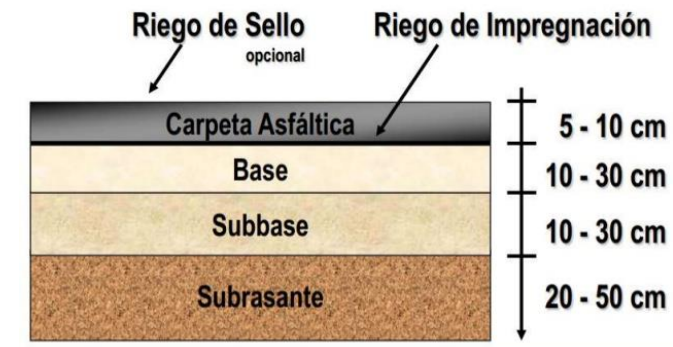
**Fuente:** Pavimentos flexibles y rígidos.

### 2.1.1.2 Pavimento flexible.

El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un periodo de vida de entre 10 y 15 años, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil. Este tipo de pavimento está compuesto principalmente de una carpeta asfáltica, de la base y de la sub-base.

**Figura 3.** Pavimento flexible.

#### Sección Transversal:

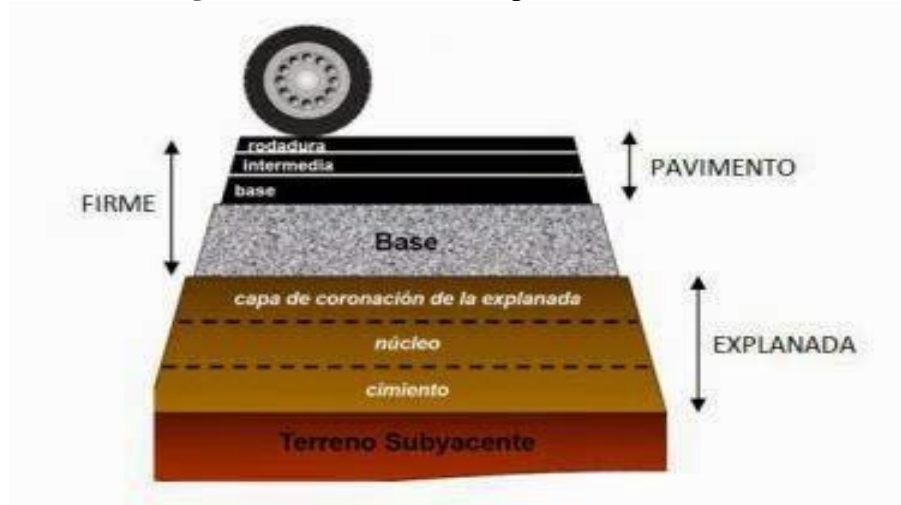


**Fuente:** Pavimentos flexibles y rígidos.

## 2.2 COMPONENTE ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.

Se refiere a las características relativas de cada una de las capas que constituyen la estructura de la vía tales como: espesor, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio. Estas características se pueden agrupar de la siguiente manera:

**Figura 4.** Estructura de un pavimento flexible.



**Fuente:** Patologías en los firmes de nuestras carreteras.

### 2.2.1 Terreno de fundación.

Aunque no constituye parte del pavimento, es muy importante tener un conocimiento lo mas completo posible de los suelos que constituyen el terreno de cimentación de la estructura de la vía, con el objeto de conocer las condiciones de estabilidad del mismo y así evitar problemas de deslizamiento, asentamientos, desplazamientos y otros.

### 2.2.3 Subrasante.

Los últimos 30 cms. De una terracería de corte o terraplén se conoce como Subrasante. Esta capa es muy importante para los pavimentos y constituyen su cimiento. Generalmente esta formada por el mismo suelo de la terracería. Es muy importante que el nivel de aguas freáticas este cuando menos a 1.50 m., debajo de ésta, esto se consigue drenando el subsuelo o elevando la Subrasante.

Para diseñar adecuadamente un pavimento principalmente los de tipo flexible, se deben hacer extensos estudios del suelo de la Subrasante, tanto en el campo como en el laboratorio. Comprende estudios de topografía, geología del ambiente y sobre todo de mecánica de suelos.

La función de la sub-rasante es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento. Entre mejor calidad se tenga en esta capa el espesor del pavimento será más reducido y habrá un ahorro en costos sin mermar la calidad. Las características con las que debe cumplir son:  $f$  máximo de 3", expansión máxima del 5%, grado de compactación mínimo del 95%; espesor mínimo de 30cm para caminos de bajo tránsito y de 50cm en caminos con un TPDA > de 2000 vehículos. Otra de las funciones de la sub-rasante es evitar que el terraplén contamine al pavimento y que sea absorbido por las terracerías.

#### **2.2.4 Subbase.**

Cumple una cuestión de economía ya que nos ahorra dinero al poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base (no siempre se emplea en el pavimento), impide que el agua de las terracerías ascienda por capilaridad y evitar que el pavimento sea absorbido por la sub-rasante. Deberá transmitir en forma adecuada los esfuerzos a las terracerías.

##### **2.2.4.1 Principales funciones de la subbase.**

Transmitir los esfuerzos a la capa subrasante en forma adecuada.

Constituir una transmisión entre los materiales de la base y de la subrasante de tal modo que se evite la contaminación y la interpenetración de dichos materiales.

Disminuir efectos perjudiciales en el pavimento, ocasionados por cambios volumétricos y rebote elástico del material de las terracerías o del terreno de cimentación.

Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa que por estar bajo la base, queda sujeta a menores esfuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas, las cuales pueden satisfacerse con materiales de un menor costo que el utilizado en la base.

### **2.2.5 Base.**

Es la capa que recibe la mayor parte de los esfuerzos producidos por los vehículos. La carpeta es colocada sobre de ella porque la capacidad de carga del material friccionante es baja en la superficie por falta de confinamiento. Regularmente esta capa además de la compactación necesita otro tipo de mejoramiento (estabilización) para poder resistir las cargas del tránsito sin deformarse y además de transmitir las en forma adecuada a las capas inferiores. El valor cementante en una base es indispensable para proporcionar una sustentación adecuada a las carpetas asfálticas delgadas. En caso contrario, cuando las bases se construyen con materiales inertes y se comienza a transitar por la carretera, los vehículos provocan deformaciones transversales. En el caso de la granulometría, no es estrictamente necesario que los granos tengan una forma semejante a la que marcan las fronteras de las zonas, siendo de mayor importancia que el material tenga un VRS (valor relativo de soporte) y una plasticidad mínima; además se recomienda no compactar materiales en las bases que tengan una humedad igual o mayor que su límite plástico.

#### **2.2.5.1 Tipos de Base.**

Actualmente puede considerarse dos tipos de bases:

**Base granular:** De grava triturada y mezcla natural de agregado y suelo.

**Base estabilizada:** Suelos con cemento pórtland, cal o materiales bituminosos.

En las base granulares la estabilidad del material depende de la fricción interna y de su cohesión. Una base granular de buena calidad requiere unos materiales fracturados con

granulometría continua, el conjunto de la capa debe estar correctamente compactado, drenado e impermeabilizado.

#### **2.2.5.2 Principales funciones de la base.**

Las principales funciones de la base son:

Soportar adecuadamente las cargas transmitidas por los vehículos a través de la carpeta y transmitir los esfuerzos a la subrasante, por medio de la subbase, de tal forma que no produzcan deformaciones perjudiciales en el pavimento.

Drenar el agua que se introduce por medio de grietas en la carpeta o por los hombros evitando también la ascensión capilar.

#### **2.2.6 Carpeta.**

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir, las principales características que debe cumplir el pétreo son las siguientes:

- a) un diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada.
- b) deberá tener cierta dureza para lo cual se le efectuarán los ensayos de desgaste los ángeles, intemperismo acelerado, densidad y durabilidad.
- c) la forma de la partícula deberá ser lo más cúbica posible, recomendamos no usar material en forma de laja o aguja pues se rompen con facilidad alterando la granulometría y pudiendo provocar fallas en la carpeta, se efectuarán pruebas de equivalente de arena ya que los materiales finos en determinados porcentajes no resultan adecuados.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar

muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie, para calcular este óptimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frío, la prueba Marshall para muestras en caliente y la prueba de Hveem. Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, pérdida de estabilidad o bien, cubrimiento por el método inglés; en caso de que las características del pétreo no sean aceptables, se pueden lavar o bien usar un estabilizante para cambiar la tensión superficial de los poros.

El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino, tomando en cuenta el siguiente criterio.

La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido óptimo; ya que en una mezcla este elemento forma una membrana alrededor de las partículas de un espesor tal que sea suficiente para resistir los efectos del tránsito y de la intemperie, pero no debe resultar muy gruesa ya que además de resultar antieconómica puede provocar una pérdida de la estabilidad en la carpeta, además este exceso de asfalto puede hacer resbalosa la superficie. El tipo y espesor de una carpeta asfáltica se elige de acuerdo con el tránsito que va a transitar por ese camino.

#### **2.2.6.1 Procedimiento constructivo de la carpeta.**

En el lugar donde se va a colocar la carpeta, unas dos horas antes de que llegue el concreto asfáltico, se efectúa un riego de emulsión asfáltica de rompimiento rápido que se conoce como riego de liga, esta capa de asfalto nos ayudará a que exista una adherencia adecuada entre el suelo de la base y la carpeta, este riego se efectúa en una proporción de 0.7lt/m<sup>2</sup>, se barren los charcos de asfalto excesivo y se elimina el total de la basura y materiales extraños, para evitar que este riego sea desprendido por las ruedas de los vehículos, se recomienda efectuar un riego de arena.

La mezcla asfáltica deberá llegar a una temperatura de 115 a 125° C, esto se verifica con un termómetro de varilla. La mezcla se vacía en la máquina finisher o extendedora que formará una capa de mezcla asfáltica, se recomienda tener una cuadrilla de rastrillos que aseguren una textura conveniente en la superficie y que borren las juntas longitudinalmente entre franjas. A una temperatura de entre 110 y 120° C se le aplica una compactación con un rodillo ligero de entre 8 y 10 toneladas de peso; los rodillos se moverán paralelamente al eje del camino y de la orilla hacia el centro, y del lado interior hacia el exterior en las curvas. En los aeropuertos además de lo anterior se pasa el equipo en la dirección perpendicular y oblicua con respecto al eje del camino. Después de hacer esto con el rodillo ligero, se compacta con un rodillo más pesado hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto (min. 95%.) la compactación deberá terminar cuando se llegue a esta posición y para comprobarlo se efectuarán calas, para esto se corta en frío usando un chaflán y procurando no dañar la base, para de esa manera realizar los ajustes necesarios. Durante el tendido y compactación de la mezcla pueden aparecer grietas y desplazamientos motivados por diferentes causas, tales como la aplicación de un riego de liga defectuoso, ya sea en exceso o escaso, falta de viscosidad del asfalto producida por el calentamiento excesivo, o bien, porque el material pétreo no perdió completamente la humedad.

Para conocer la permeabilidad de la carpeta, se realizará en ella una prueba de campo, la cual consiste en colocar un aro de lámina galvanizada de 250mm de diámetro y una altura de 50mm, se sella el aro y se coloca al centro un cono de bronce de 25mm de altura, se agrega agua hasta el ras del cono observando que no baje este nivel en un tiempo de 10 min. el índice de permeabilidad del material se calcula con la siguiente ecuación:

$$IP = V_t / V_f \times (1247 \text{cm}^3) \text{ donde}$$

$V_t$  = Volumen delimitado en el interior del aro y cuyo valor es de 1247cm<sup>3</sup>.

$V_f$  = Volumen final.

La carpeta deberá presentar un índice de permeabilidad menor del 10%. Por último en la carpeta se agrega un riego de sello, el cual consiste en una emulsión, la cual se cubre



con un material pétreo del tipo 3E, esto se compacta para que penetre en la carpeta y con ello evitar que se introduzca el agua en ella, además protege del desgaste y proporciona una superficie antiderrapante. En algunos casos se puede emplear un mortero asfáltico que consiste en la mezcla de una emulsión y un material pétreo (arena) que se emplea comúnmente cuando se va a utilizar un camino que ya ha tenido cierto uso, a este tratamiento se le conoce como "slurri seal". En la actualidad, en algunos casos cuando el lugar donde se coloca la carpeta es de precipitación pluvial muy alta, se recomienda colocar sobre de esta una mezcla de textura abierta la cual se conoce como "open grade", este tratamiento ayudará a que no se formen charcos en la superficie los cuales pueden provocar accidentes por el fenómeno conocido como acuaplaneo.

### **2.3 CLASIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFALTICAS.**

El concepto de pavimento flexible nace del hecho de que una superficie bituminosa es plástica y fluye bajo cargas repetidas y sostenidas (repetitivas y temporales) dentro de Los límites, la superficie bituminosa, se ajustan a la consolidación de las capas inferiores. La mezcla bituminosa es una combinación de agregados pétreos, de calidad y características especificadas y asfaltos líquidos o cementos asfálticos funcionando como aglutinante. Los pavimentos flexibles se pueden clasificar por el tipo de mezcla bituminosa que lo compone, estas mezclas pueden ser:

#### **2.3.1 Mezclas asfálticas en caliente.**

Son las elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos, en una planta mezcladora estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla.

Las mezclas asfálticas en caliente se clasifican a su vez en:

##### **2.3.1.1 Mezcla asfáltica de granulometría densa.**

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre treinta y siete coma cinco

(37,5) milímetros (1½ in) y nueve coma cinco (9,5) milímetros (¾ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D. de la Norma N·CMT·4·04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes.

#### **2.3.1.2 Mezcla asfáltica de granulometría abierta.**

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre doce coma cinco (12,5) milímetros (½ in) y seis coma tres (6,3) milímetros (¼ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula E. de la Norma N·CMT·4·04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura,

no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

Las mezclas asfálticas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de seiscientos (600) milímetros por año.

#### **2.3.1.3 Mezcla asfáltica de granulometría discontinua, tipo SMA.**

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría discontinua, con tamaño nominal entre diecinueve coma cero (19,0) milímetros (¾ in) y nueve coma cinco (9,5) milímetros (¾ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula F. de la Norma N·CMT·4·04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, aunque también pueden utilizarse en capas inferiores en carreteras de alto tránsito. Cuando son usadas como capas de rodadura su finalidad principal es mejorar las condiciones de circulación de los vehículos respecto a una carpeta asfáltica convencional.

Al tener una elevada macrotextura se evita que el agua de lluvia forme una película continua sobre la superficie del pavimento, con lo que se incrementa la fricción de las llantas; se minimiza el acuaplaneo; se reduce la cantidad de agua que se proyecta sobre los vehículos adyacentes; se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal y se reduce el ruido hacia el entorno por la fricción entre las llantas y la superficie de rodadura.

### **2.3.2 Mezclas asfálticas en frío.**

Son las elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos.

Las mezclas asfálticas en frío se clasifican a su vez en:

#### **2.3.2.1 Mezcla asfáltica de granulometría densa.**

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado y materiales pétreos, con tamaño nominal entre treinta y siete coma cinco (37,5) milímetros (1 ½ in) y nueve coma cinco (9,5) milímetros (¾ in), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la Cláusula D. de la Norma N·CMT·4·04, Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Normalmente se utiliza

en los casos en que la intensidad del tránsito es igual a un millón de ejes equivalentes o menor, en donde no se requiera de una alta resistencia estructural, para la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos y en carpetas para el refuerzo de pavimentos existentes, así como para la reparación de baches.

## **2.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE.**

### **2.4.1 Ventajas.**

Fácil financiamiento por su bajo costo inicial.

La construcción como las operaciones de mantenimiento se realizan en un tiempo mucho más corto.

La marcha de los vehículos automotores es más suave por no tener juntas de unión.

Pueden utilizarse nuevamente como base los pavimentos existentes cuando se coloque una nueva capa de rodaje.

### **2.4.2 Desventajas.**

Ocasionan mayores gastos en el mantenimiento.

En época de invierno los daños son considerables y más costosas las operaciones de mantenimiento.

## **2.5 COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.**

### **2.5.1 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.

### 2.5.1.1 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.

### 2.5.1.2 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.

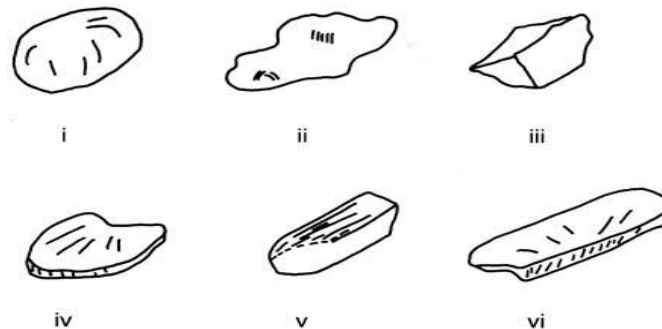
Forma de la partícula.

Textura de la superficie.

Capacidad de absorción.

Afinidad con el cemento asfáltico.

**Figura 5.** Forma de las partículas de agregado pétreo. i. redondeada, ii. irregular, iii. angular, iv. lajosa, v. alargada, vi. alargada - lajosa.



**Fuente:** Caracterización básica y evaluación de adherencia de diferentes fuentes de agregados aluviales. (2017).

### 2.5.1.3 Ensayos realizados a los agregados.

#### 2.5.1.3.1 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 1.** Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría.

Designación de tamices			
Para agregados gruesos		Para agregados finos	
Sistema métrico	Sistema habitual norteamericano	Sistema métrico	Sistema habitual norteamericano
63.000 mm	2 ½"	2.360 mm	Nº 8
50.000 mm	2"	1.180 mm	Nº 16
37.500 mm	1 ½"	0.600 mm	Nº 30
25.000 mm	1"	0.300 mm	Nº 50
19.000 mm	¾"	0.150 mm	Nº 100
12.500 mm	½"	0.075 mm	Nº 200
9.500 mm	3/8"		
4.750 mm	Nº 4		

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

#### 2.5.1.3.2 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.

#### 2.5.1.3.3 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).

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

Los agregados deben ser resistentes para poder soportar el rodillado durante el proceso constructivo y enseguida la acción del tráfico. Para ello se debe realizar el método de ensayo “Desgaste de los Ángeles”

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.

#### **2.5.1.3.5 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.

#### **2.5.1.3.6 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.

#### **2.5.1.3.7 Porcentaje de partículas planas y alargadas (ASTM D4791).**

Este método cubre la determinación de los porcentajes de partículas planas, alargadas o alargadas y planas de agregado grueso mayores de 9.5 mm (3/8”).

Las partículas de agregado planas o alargadas, para algunos usos en construcción, pueden interferir con la consolidación y provocar dificultad para colocar los materiales. Este método de prueba provee un medio para verificar el cumplimiento con las especificaciones que limitan tales partículas, o para determinar las características relativas a la forma del agregado grueso.

### 2.5.1.4 Especificaciones que deben cumplir los agregados.

#### 2.5.1.4.1 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.** Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso.

N°	Parámetro	Norma	Especificación
1	Abrasión de los Ángeles	AASHTO T 96	40 % máx
2	Durabilidad, sulfato de sodio	AASHTO T 104	12 % máx
3	Caras fracturadas	ASTM D 5821	75 % máx
4	Planas y alargadas	ASTM D 4791	10 % máx

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 2.5.1.4.2 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 3.** Especificaciones que debe cumplir el agregado fino.

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

**Fuente:** Elaboración propia.



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

**Tabla 4.** Graduación del agregado fino de acuerdo a AASHTO M 29.

Tamaño de tamiz		Graduación del agregado fino				
		Cantidad mas fina que cada tamiz de laboratorio (Aberturas cuadradas), Masa, %				
		Graduación N° 1	Graduación N° 2	Graduación N° 3	Graduación N° 4	Graduación N° 5
3/8"	9.500 mm	100	-	-	100	100
N° 4	4.750 mm	95 a 100	100	100	80 a 100	80 a 100
N° 8	2.360 mm	70 a 100	75 a 100	95 a 100	65 a 100	65 a 100
N° 16	1.180 mm	40 a 80	50 a 74	85 a 100	40 a 80	40 a 80
N° 30	0.600 mm	20 a 65	28 a 52	65 a 90	20 a 65	20 a 65
N° 50	0.300 mm	7 a 40	8 a 30	30 a 60	7 a 40	7 a 46
N° 100	0.150 mm	2 a 20	0 a 12	5 a 25	2 a 20	2 a 30
N° 200	0.075 mm	0 a 10	0 a 5	0 a 5	0 a 10	-

**Fuente:** Tabla 1 norma AASHTO M 29

### 2.5.2 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.

### **2.5.2.1 Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades.**

#### **2.5.2.1.1 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.

#### **2.5.2.1.2 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.

#### **2.5.2.1.3 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.

#### 2.5.2.1.4 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.

#### 2.5.2.1.5 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.

#### 2.5.2.2 Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración.

**Tabla 5.** 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.5seg	40.0	50.0	60.0	70.0	85.0	100.0	120.0	150.0	200.0	300.0
Punto de inflamación °C(°F)	232.0	-	232.0	-	232.0	-	218.0	-	177.0	-
	450.0	-	450.0	-	450.0	-	425.0	-	350.0	-
Ductilidad a 25°C( 77°F), 5cm/min,cm	100.0	-	100.0	-	100.0	-	100.0	-	-	-
Solubilidad en tricloroetileno,porcentaje	99.0	-	99.0	-	99.0	-	99.0	-	99.0	-
Prueba en horno de película delgada (TFO), 3.2mm(1/8in), 163°C (325°F), 5 horas perdida por calentamiento, porcentaje	-	0.8	-	0.8	-	1.0	-	1.3	-	1.5
Penetración del residuo, porcentaje del original	58.0	-	54.0	-	50.0	-	46.0	-	40.0	-
Ductilidad del residuo a 25°C( 77°F), 5cm/min,cm	-	-	50.0	-	75.0	-	100.0	-	100.0	-
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.

## **2.6 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 (Cepeda, 2002). Para una aplicación específica e independientemente del procedimiento de diseño empleado, las propiedades relevantes en una mezcla asfáltica en caliente son:

Estabilidad.

Durabilidad.

Impermeabilidad.

Flexibilidad.

Resistencia a la fatiga.

Resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas.

Resistencia al daño por humedad.

Resistencia al deslizamiento.

Trabajabilidad.

### **2.6.1 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. La estabilidad depende sobre todo, de la fricción interna y la cohesión.

La fricción interna depende de la textura superficial, forma de la partícula, y granulometría del agregado; así como de la densidad de la mezcla, y la cantidad y tipo

de asfalto; mientras que la cohesión depende del contenido de asfalto. La cohesión se incrementa con el incremento del contenido de asfalto, hasta un punto óptimo, después del cual el aumento en el contenido de asfalto forma una película demasiado gruesa en las partículas de asfalto, lo que produce una pérdida de fricción entre las partículas de agregado.

**Tabla 6.** Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.

Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla.	Ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla.	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un cierto tiempo; dificultad para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas.	Ahuellamiento y canalización.

**Fuente:** Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica e caliente del Asphalt Institute MS-22.

### 2.6.2 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.

**Tabla 7.** Causas y efectos de una poca durabilidad.

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfaltos.	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación.	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrofílicos).	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

**Fuente:** Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica e caliente del Asphalt Institute MS-22.

### 2.6.3 Impermeabilidad.

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento. Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

**Tabla 8.** Causas y efectos de una poca durabilidad.

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto.	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño.	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

**Fuente:** Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica e caliente del Asphalt Institute MS-22.

### 2.6.4 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.

### 2.6.5 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.

Aunque también debe señalarse que la resistencia a la fatiga depende en gran medida de la relación entre el espesor estructural de la capa y la carga.

**Tabla 9.** Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto.	Agrietamiento por fatiga.
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

**Fuente:** Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente del Asphalt Institute MS-22.

### 2.6.6 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.

### 2.6.7 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.

### 2.6.8 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.

**Tabla 10.** Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento.

Causas	Efectos
Exceso de asfalto.	Exudación, poca resistencia al deslizamiento.
Agregado mal graduado o con mala textura.	Pavimento liso, posibilidad de hidropilado.
Agregado pulido en la mezcla.	Poca resistencia al deslizamiento.

**Fuente:** Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica e caliente del Asphalt Institute MS-22.

### 2.6.9 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 (Cepeda, 2002).

**Tabla 11.** Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.

Causas	Efectos
Tamaño máximo de partícula: grande.	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso.	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla.	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio.	La mezcla se desliza bajo la compactación y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral.	Mezcla tierna, altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral.	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

**Fuente:** Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica e caliente del Asphalt Institute MS-22.



## **2.7 COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.**

Como se mencionó, la mezcla asfáltica está compuesta por agregados pétreos y asfalto; por tanto, el comportamiento de la mezcla asfáltica se ve afectado tanto por las propiedades individuales del agregado mineral y del asfalto, como por la interrelación de ambos componentes dentro del sistema.

En los siguientes párrafos se explica brevemente el comportamiento de cada uno de los componentes de la mezcla, así como su comportamiento en conjunto.

### **2.7.1 Comportamiento del cemento asfáltico.**

Con respecto al comportamiento de la mezcla asfáltica, las características más importantes del cemento asfáltico son: la susceptibilidad a la temperatura, la viscoelasticidad, y el envejecimiento.

De las tres anteriores, la que sobresale es la susceptibilidad a la temperatura, ya que sus propiedades mensurables dependen de ésta. Asimismo, el tiempo de aplicación de la carga también es importante, puesto que para una misma carga y un mismo asfalto, los diferentes tiempos de aplicación de la carga implicarán diferentes propiedades.

Por ello, los ensayos sobre los cementos asfálticos y mezclas asfálticas deben especificar la temperatura y la velocidad de carga. Sin una temperatura de ensayo y velocidad de carga especificada, el resultado del ensayo no puede ser interpretado como es debido.

Conforme a la Figura 6, la cantidad de asfalto que fluye podría ser la misma para una hora a 60 °C o 10 horas a 25 °C. En otras palabras, los efectos del tiempo y la temperatura están relacionados; el comportamiento a temperaturas altas en periodos de corto tiempo, es equivalente al que ocurre a temperaturas bajas y duraciones largas.

A altas temperaturas (>100 °C), o bajo carga sostenida (Por ejemplo, movimientos lentos, o estacionamiento de camiones), el cemento asfáltico actúa como un líquido viscoso, es decir, tiene un comportamiento plástico.

**Figura 6.** Comportamiento del flujo del cemento asfáltico.



**Fuente:** Caracterización geométrica de mezclas asfálticas, publicación técnica N° 267, Sanfandila, Qro, (2005).

La viscosidad es la característica física del material usada para describir la resistencia de un líquido a fluir, y también se emplea para expresar la diferencia entre las fuerzas resistentes y la velocidad relativa con que fluye una capa con respecto a otra en el cemento asfáltico caliente.

A bajas temperaturas ( $<0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) o bajo cargas aplicadas rápidamente (Por ejemplo, movimiento rápido de camiones), el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico; cuando es cargado se deforma y cuando es descargado regresa a su forma original.

Aunque el cemento asfáltico es un sólido elástico a bajas temperaturas, éste puede llegar a ser muy frágil y agrietarse cuando es cargado excesivamente. Por esta razón, el agrietamiento a bajas temperaturas, algunas veces ocurre durante el invierno.

En el pavimento en servicio, la temperatura que se presenta normalmente es intermedia respecto a los extremos mencionados previamente. En este rango de temperaturas, el asfalto presenta ambas características, las de un fluido viscoso y las de un sólido elástico. Debido a esta amplitud de comportamiento, el asfalto es un excelente material adhesivo en la pavimentación.

Después de que se enfría, el asfalto actúa como un pegamento que mantiene al agregado junto en una matriz sólida. En esta etapa, el comportamiento se conoce como viscoelástico; tiene ambas características, dependiendo de la temperatura y la velocidad

de la carga. Otra forma de endurecimiento es la volatilización y el endurecimiento físico. La volatilización ocurre durante el mezclado y la construcción, cuando los componentes volátiles del asfalto tienden a evaporarse. El endurecimiento físico se presenta cuando el cemento asfáltico se expone a bajas temperaturas por periodos largos. Cuando la temperatura se estabiliza a un valor bajo constante, el cemento asfáltico continúa contrayéndose y endureciéndose. El endurecimiento físico es más notable a temperaturas menores a 0 °C (Asphalt Institute SP-1, 1996).

**Tabla 12.** Uso de cementos asfálticos graduados por penetración en función al clima.

<b>Uso de cementos asfálticos graduados por penetración en función al clima</b>					
<b>Pavimentación</b>	<b>Clima</b>				
	<b>Muy cálido</b>	<b>Cálido</b>	<b>Moderado</b>	<b>Frío</b>	<b>Frigido</b>
<b>Aeropuertos</b>					
Pistas de despegue	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Camino auxiliares	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Aparcamientos	60-70	60-70	60-70	85-100	85-100
<b>Carreteras</b>					
Tráfico pesado y muy pesado	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Tráfico medio ligero	40-50	60-70	60-70	85-100	120-150
<b>Calles</b>					
Tráfico pesado y muy pesado	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Tráfico medio ligero	40-50	60-70	85-100	85-100	120-150
<b>Camino particulares</b>					
Industriales	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Comerciales Estac.Serv.	40-50	60-70	60-70	85-100	85-100
Residenciales	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
<b>Aparcamientos</b>					
Industriales	40-50	40-50	60-70	85-100	120-150
Comerciales Estac.Serv.	40-50	60-70	60-70	85-100	85-100
<b>Zona de recreo</b>					
Pista de tenis	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
Terrenos de juego	60-70	60-70	85-100	85-100	85-100
<b>Bordillos</b>	40-50	40-50	60-70	85-100	85-100

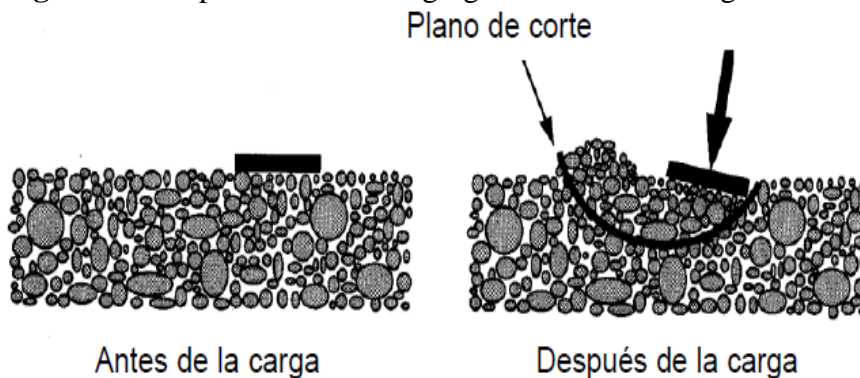
**Fuente:** Manual del asfalto USA y experiencia de aplicación en países de Europa y Sudamérica.

### 2.7.2 Comportamiento del agregado mineral.

Los agregados minerales para elaborar la mezcla asfáltica pueden ser naturales, triturados o sintéticos. Los naturales se extraen de depósitos fluviales o glaciares, y utilizados sin ningún procesamiento para elaborar la mezcla asfáltica.

Los agregados triturados se explotan en canteras, y reducidos a los tamaños deseados mediante trituración mecánica; mientras que el agregado sintético es un subproducto industrial, como la escoria de altos hornos. Independientemente de la fuente; en los métodos de procesamiento o mineralogía, se espera que el agregado provea un fuerte esqueleto pétreo para resistir aplicaciones de carga repetidas. Los agregados de textura rugosa, equidimensionales, producen mayor resistencia que los redondeados y de textura lisa. Aunque una pieza de agregado redondeado podría poseer la misma resistencia interna que una pieza angular, las partículas angulares tienden a cerrarse más apretadamente, resultando una masa más compacta de material. Las partículas redondeadas, en vez de trabarse tienden a deslizarse unas sobre otras. Cuando una masa de agregados es cargada, puede generarse dentro de la masa un plano por el que las partículas se deslicen o cizallen unas respecto de las otras Figura 7. Lo cual resulta en una deformación permanente de la masa. Es en este plano donde las tensiones de corte exceden a la resistencia al corte de la masa de agregados. La resistencia al corte del agregado es de especial importancia en la mezcla asfáltica.

**Figura 7.** Comportamiento del agregado sometido a carga de corte.



**Fuente:** Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica e caliente del Asphalt Institute MS-22.

La resistencia al corte de los distintos agregados puede explicarse mediante la teoría de Mohr-Coulomb, la cual establece que la resistencia al corte de una mezcla de agregados depende de qué tan unidas estén las partículas del agregado (Cohesión); la tensión normal a que están sometidos los agregados; y la fricción interna. La ecuación de Mohr-Coulomb para expresar la resistencia al corte de un material es:

$$t = c + s \operatorname{tg} f$$

Donde:

t = Resistencia al corte de la mezcla de agregados.

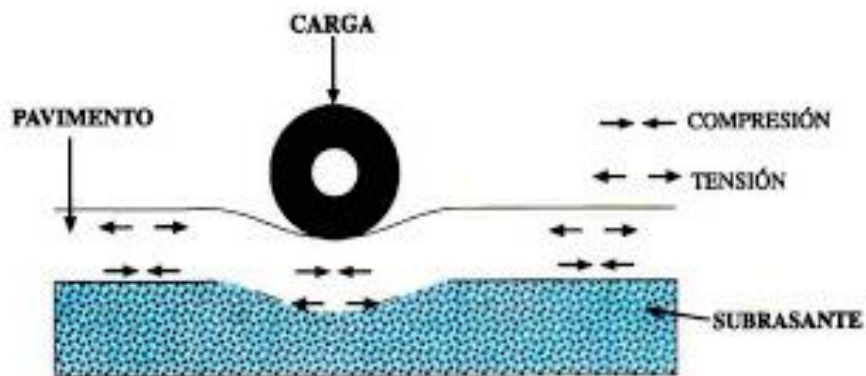
c = Cohesión del agregado.

s = Tensión normal a la cual está sujeta el agregado.

f = Ángulo de fricción interna.

Por otro lado, al someter una masa de agregado a tensiones de corte, las partículas deben fracturarse o arrastrarse unas sobre otras si se produce un desplazamiento. Este fenómeno se llama dilatancia, pues resulta en una expansión o incremento de volumen de la masa de agregados. Los materiales resistentes, con una mayor densificación y alto ángulo de fricción interna, tienden a dilatarse más que los materiales más débiles (Asphalt Institute SP-2, 1996).

**Figura 8.** Esfuerzos en tensión frecuentes en las capas de superficie, causan agrietamiento.



**Fuente:** Apuntes de ingeniería civil.blogspot.com

### **2.7.3 Evaluación de mezclas asfálticas.**

#### **2.7.3.1 Metodología.**

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas asfálticas fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas.

#### **2.7.3.2 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 pulg) o menor. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente.

#### **2.7.3.3 Descripción general.**

El método Marshall usa muestras de ensayo (probetas) de 64 mm (2.5 pulg) de espesor por 102 mm (4 pulg) 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.

#### **2.7.3.4 Granulometría.**

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de

material que pasa cierta malla, y en la abcisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica. 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 13. presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515.

**Tabla 13.** Requisitos de graduación para la mezcla.

Designación de tamices	Gradación de los agregados			
	A	B	C	D
2"	100	.....	.....	.....
1 ½"	97-100	100	.....	.....
1"	.....	97-100	100	.....
¾"	66-80 (5)	.....	97-100	100
½"	.....	.....	76-88 (5)	97-100
⅜"	48-60 (6)	53-70 (6)	.....	.....
Nº 4	33-45 (5)	40-52 (6)	49-59 (7)	57-69 (6)
Nº 8	25-33 (4)	25-39 (4)	36-45 (5)	41-49 (6)
Nº 40	9-17 (3)	10-19 (3)	14-22 (3)	14-22 (3)
Nº 200	3-8 (2)	3-8 (2)	3-7 (2)	3-8 (2)
Bitumen soluble en CS2(+)%	4.0-7.0	4.5-7.5	4.5-9.0	4.5-9.0

**Fuente:** Especificaciones técnicas generales. Mantenimiento periódico de carreteras.

### 2.7.3.5 Especificaciones de la metodología.

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios que se discutirán en este capítulo. 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 14. 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.

**Tabla 14.** Criterio de diseño de mezclas Marshall.  
Graduaciones propuestas para mezclas.

Criterios para mezcla del método Marshall	Tránsito liviano carpeta y base		Tránsito mediano carpeta y base		Tránsito pesado carpeta y base	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	35	35	50	50	75	75
Estabilidad N(Lb)	336 (750)	-	5358 (1200)	-	8006 (1800)	-
Flujo, 0.25mm (0.01")	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5
% V.M.A.	Ver tabla 15.					
% R.B.V.	70	80	65	78	65	75

**Fuente:** ASTM D3515 Standard specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving. Mixtures.

**Tabla 15.** Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA).  
Criterios del instituto del asfalto para el diseño Marshall.

Tamaño máximo en mm porcentaje		V.M.A. mínimo, por ciento		
		Vacíos de diseño, por ciento		
mm	pulg	3.0	4.0	5.0
1.18	N° 16	21.5	22.5	23.5
2.36	N° 8	19.0	20.0	21.0
4.75	N° 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8"	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2"	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4"	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50.0	2.0	9.5	10.5	11.5
63.0	2.5	9.0	10.0	11.0

**Fuente:** Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, MS 22, Asphalt Institute.



### **2.7.3.6 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.

#### **2.7.3.6.1 Determinación del peso específico total.**

El peso específico total de cada probeta es determinado tan pronto las briquetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de la densidad-vacíos. El peso específico total se determina usando el procedimiento en la norma AASHTO T 166.

#### **2.7.3.6.2 Ensayo de estabilidad y fluencia.**

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la consistencia a la deformación de la mezcla.

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60° (140°F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.

La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un aparato que aplica carga constante sobre la briqueta, y de unos medidores de carga y deformación (Fluencia)

La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta puede resistir.

La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

#### **2.7.3.6.3 Valor de estabilidad Marshall.**

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una briqueta cede o falla totalmente. El Marshall muestra una mordaza en la que están acoplados

dos medidores, uno del desplazamiento o fluencia, y otro de la carga aplicada sobre la briqueta (Estabilidad).

Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, el cabezal superior se acerca al cabezal inferior lentamente, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador. Luego se suspende la aplicación de la carga una vez que la briqueta falla después de haber registrado la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de la Estabilidad Marshall.

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

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

#### **2.7.3.6.4 Valor de fluencia Marshall.**

La fluencia Marshall medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores altos de estabilidad Marshall son considerados demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas del tránsito.

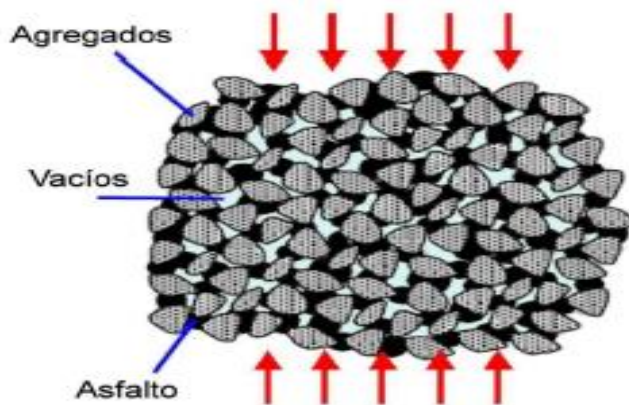
#### **2.7.3.6.5 Análisis de densidad y vacíos.**

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

### 2.7.3.6.6 Análisis de vacíos.

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

**Figura 9.** Vacíos de aire en la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Diseño de mezclas asfálticas en caliente, comisión permanente del asfalto.

### 2.7.3.6.7 Análisis de peso unitario.

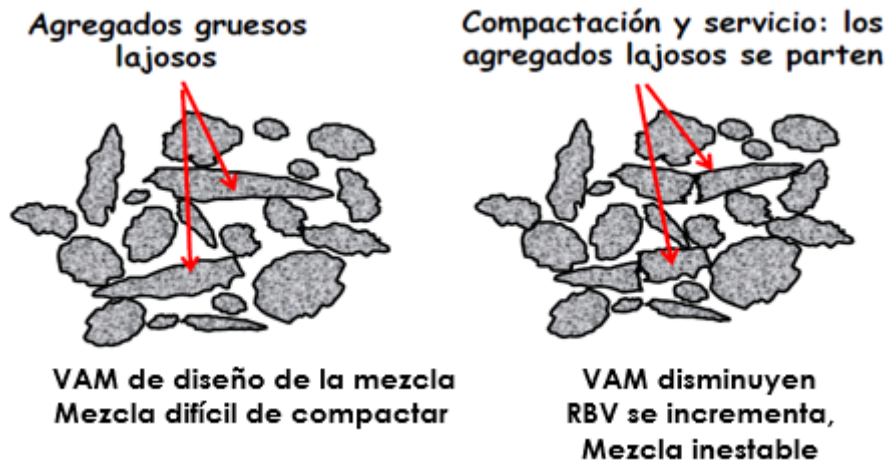
El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por  $1000 \text{ kg/m}^3$  ( $64 \text{ lb/pe}^3$ ).

### 2.7.3.6.8 Análisis de V.A.M.

Los vacíos en el agregado mineral (V.A.M.) están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada. Incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El V.A.M.

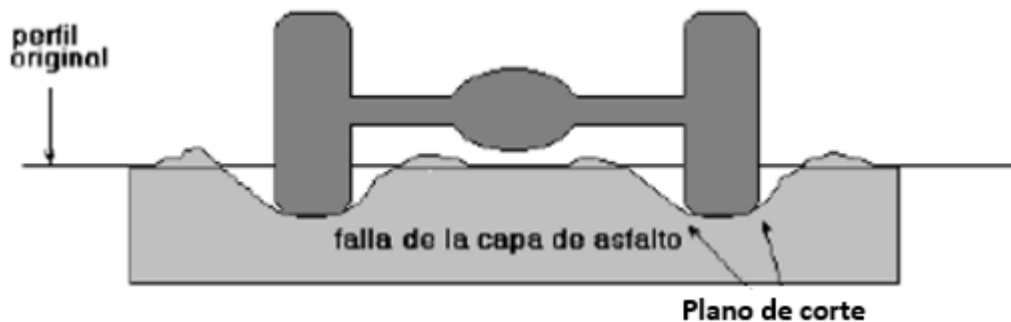
es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada.

**Figura 10.** Efecto de los agregados lajosos y el V.A.M.



**Fuente:** Diseño de mezclas asfálticas en caliente, comisión permanente del asfalto.

**Figura 11.** Ahuellamiento por falla en la mezcla asfáltica.



**Fuente:** Fallas en pavimento flexible.blogspot.com.

#### 2.7.3.6.9 Análisis de V.LL.A.

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

**CAPÍTULO III**  
**CARACTERIZACIÓN DE LOS**  
**MATERIALES**

### 3. 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 chancadora de la Constructora SEINPA S.R.L., la misma se encuentra ubicada en el Km. 20 carretera al Valle, en la comunidad San Isidro de la provincia Avilés.

**Figura 12.** Zona de muestreo.



**Fuente:** Google Earth.

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

**Figura 13.** Agregado pétreo constructora SEINPA S.R.L.



**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 16.** 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	96.350	37.290	11.750	1.790	0.800	0.800	0.800	0.800	0.200
2	100.000	96.400	38.030	11.880	1.750	0.800	0.800	0.800	0.800	0.200
3	100.000	96.450	37.180	11.770	1.860	0.800	0.800	0.800	0.800	0.200
Prom.	100.000	96.400	37.500	11.800	1.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.200

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 17.** 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	100.000	96.890	9.180	2.160	1.100	0.800	0.700	0.800
2	100.000	100.000	100.000	96.860	9.280	2.250	1.000	0.700	0.600	0.600
3	100.000	100.000	100.000	96.950	9.140	2.190	1.200	0.900	0.800	0.700
Prom.	100.000	100.000	100.000	96.900	9.200	2.200	1.100	0.800	0.700	0.700

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 18.** 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	100.000	81.290	61.200	39.270	18.530	9.490
2	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	81.260	61.600	39.380	18.480	9.450
3	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	81.350	62.600	39.250	18.490	9.560
Prom.	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	81.300	61.800	39.300	18.500	9.500

**Fuente:** Elaboración propia.

Con respecto a la **tabla18**. La granulometría de la arena triturada que comprende el fino de la mezcla asfáltica, se obtuvo realizando una mezcla de arenas con un 60 % de fino procedente de la chancadora de la Constructora SEINPA S.R.L. ubicada en la zona San Isidro, provincia Avilés y 40 % de fino procedente de la chancadora de la Constructora ERIKA S.R.L. ubicada en la zona del Rancho, provincia Méndez.

Es importante indicar que se realizó la mezcla de arenas para mejorar las propiedades del fino en la mezcla asfáltica, esto debido a que cuando solo se utilizó el fino procedente de la chancadora de la Constructora SEINPA S.R.L. para realizar las mezclas asfálticas, este presentaba disgregación y grietas en la briqueta y aun mas importante presentaba valores muy bajos de estabilidad y valores altos de flujo al punto de que la briqueta se disgregaba en el baño María antes de la rotura en el Marshall., esto debido a que el fino extraído de la zona de San Isidro presenta mucho material orgánico.



### **Mezcla de los agregados.**

En esta investigación se realizara una mezcla o combinación de agregados provenientes de la chancadora de la constructora SEINPA S.R.L. 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.

El método de los tanteos consiste en determinar en forma rápida y por tanteo, los porcentajes (%) de cada uno de los agregados, estudiando los diferentes tamices y considerando cuál de los agregados controlara la cantidad del material que pasa en un determinado tamiz.

Al hacer la combinación de los agregados es deseable, siempre que sea factible, producir una granulometría que se aproxime lo más posible a la media de los límites de las especificaciones así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D 3515.

El método de los tanteos nos permite observar que para un tamiz determinado el % con que contribuye un tipo de agregado a la mezcla deseada se obtiene multiplicando el % total que pasa por el tamiz (expresado en decimal), por el % de agregado de ese tipo contenido en la mezcla.

El % del material combinado que pasa por un tamiz determinado se obtiene sumando las cantidades de material de cada tipo que pasa por dicho tamiz.

$$P = Aa + Bb + Cc + \dots + Nn$$

$$a + b + c + \dots + n = 1$$

Donde:

**P**= % pasante o retenido correspondiente a un tamiz cualquiera. Este % es la media aritmética de las especificaciones.

**A,B,C.....N**= % de material que pasa por un tamiz dado para cada uno de los agregados empleados en la combinación.

**A,b,c.....n**= proporciones expresadas en forma decimal resultantes de la combinación para cada uno de los materiales empleados y cuyo valor es igual a 1.

Si tenemos dos agregados a y b

$$P=Aa+Bb \quad (1)$$

$$a+b= 1 \text{ luego } b=1-a \quad (2)$$

Sustituyendo (2) en (1) tenemos:

$$a = \frac{P-B}{A-B} \quad b = \frac{P-A}{B-A} \quad (3)$$

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

**Tabla 19.** Dosificación de los agregados para el diseño normal.

Agregado		Grava-SEINPA		Gravilla-SEINPA		Arena Triturada - SEINPA		% Que pasa	Faja "C"		Tolerancia (+ -)	Faja de trabajo		
% Usado		30%		20%		50%			Especificación gradación media	Inf.		Sup.	Inf.	Sup.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.							
Plg.	mm.													
1"	25.40	100.00	30.00	100.00	20.00	100.00	50.00	100.00	100	100		100	100	
3/4"	19.10	96.40	28.92	100.00	20.00	100.00	50.00	98.92	97	100		97	100	
1/2"	12.50	37.50	11.25	100.00	20.00	100.00	50.00	81.25	76	88	5	76	86	
3/8"	9.50	11.80	3.54	96.90	19.38	100.00	50.00	72.92						
#4	4.75	1.80	0.54	9.20	1.84	100.00	50.00	52.38	49	59	7	45	59	
#8	2.36	0.80	0.24	2.70	0.54	81.30	40.65	41.43	36	45	5	36	46	
#40	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	39.30	19.65	19.65	14	22	3	17	23	
#200	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	9.50	4.75	4.75	3	8	2	3	7	

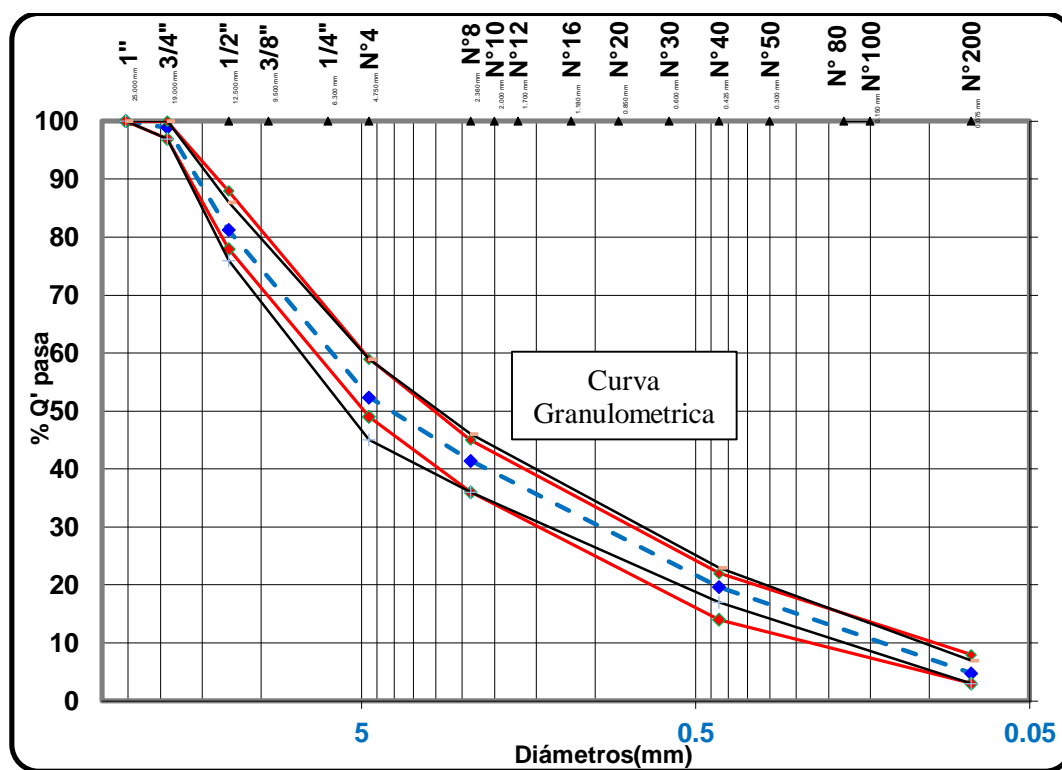
**Fuente:** Elaboración propia.

Con respecto a la **tabla19**. La dosificación que se muestra en la misma se utilizara para todas las mezclas que se realizará en la presente investigación, el cual no tendrá ninguna modificación en su granulometría, solo se hará variar los porcentajes de partículas planas y alargadas reemplazando las mismas por otras irregulares

manteniendo su porcentaje que pasa en el tamiz, sin alterar la curva granulométrica de los agregados **figura14**.

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica, 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 **tabla13**. presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515.

**Figura 14.** Curva granulométrica de los agregados.



**Fuente:** Elaboración propia.

Con respecto a la anterior imagen **figura14**. , la línea punteada es la que corresponde a la granulometría del material usado para la presente investigación, las líneas paralelas a esta de color rojo corresponden a la franja granulométrica de la faja C según especificación de gradación media **tabla13**., las otras dos líneas paralelas de color negro corresponden a la faja de trabajo, como se puede observar la granulometría del material usado se encuentra entre los límites de la franja, cumpliendo con la gradación requerida.

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

#### Agregado grueso (AASHTO T-85).

**Tabla 20.** Peso específico y absorción del agregado grueso.

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Temperatura (°C)	25	25	25	
Muestra saturada con superficie seca (s.s.s.) (a) (gr)	4959.000	4962.000	4957.000	Promedio
Muestra secada al horno (Ps) (gr)	4906.000	4908.000	4905.000	
(Cesto + muestra s.s.s.)sumergida en agua (b)	-	-	-	
Cesto sumergido en agua (c)	-	-	-	
Muestra s.s.s. sumergida en agua d=(b-c) (gr)	3060.000	3056.000	3063.000	
Volumen partículas incluyendo poros = Vs+Vp=(a-d)	1899.000	1906.000	1894.000	
Peso específico bruto base muestra base muestra s.s.s. (Gbs) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.611	2.614	2.612	2.611
Peso específico bruto base muestra base muestra secada al horno (Gb) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.583	2.585	2.582	2.583
Peso específico aparente (G) (gr/cm <sup>3</sup> )	2.639	2.640	2.637	2.639
Por ciento de absorción % abs. = 100(a-Ps)/Ps	1.08	1.10	1.06	1.08
$G_{bs} = \frac{a}{V_s + V_p} \quad G_b = \frac{P_s}{V_s + V_p} \quad G = \frac{G_{bs} * 100}{100 - \%abs(G_{bs} - 1)}$				

Fuente: Elaboración propia.

#### Agregado fino (AASHTO T-84).

**Tabla 21.** Peso específico y absorción del agregado fino.

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Picnometro	1	2	3	
Temperatura (°C)	25	25	25	
Peso picnometro+agua ( a ) (gr)	668.400	668.300	668.400	Promedio
Peso muestra saturada con superficie seca (b) (gr)	500.000	500.000	500.000	
d=(a+b) (gr)	1168.400	1168.300	1168.400	
Peso picnometro+muestra+agua ( c ) (gr)	979.100	978.110	980.020	
Volumen Vsp. = (a+b-c)	189.300	190.190	188.380	
Peso muestra secada al horno Ps. (gr)	495.800	495.790	495.750	
Peso específico bulk s.s.s. Gbs=b/Vsp. (gr/cm <sup>3</sup> )	2.641	2.629	2.654	2.641
Peso específico muestra seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.619	2.618	2.621	2.619
(%)Absorción = (b-Ps.*100/Ps)	0.85	0.85	0.86	0.85

Fuente: Elaboración propia.

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

#### Equivalente de arena.

**Tabla 22.** Equivalente de arena.

<b>Equivalente de arena</b>	
<b>Material pasante tamiz N 4</b>	
<b>Detreminaciones</b>	<b>Muestra N° 1</b>
Lectura nivel superior suspension	A= 83
Lectura nivel superior sedimento	B= 47
Equivalente de arena	$\frac{B}{A} * 100 = 56.600\%$
<b>Determinaciones</b>	
<b>Muestra N° 2</b>	
Lectura nivel superior suspension	A= 82
Lectura nivel superior sedimento	B= 46
Equivalente de arena	$\frac{B}{A} * 100 = 56.100\%$
<b>Determinaciones</b>	
<b>Muestra N° 3</b>	
Lectura nivel superior suspension	A= 80
Lectura nivel superior sedimento	B= 45
Equivalente de arena	$\frac{B}{A} * 100 = 56.300\%$
<b>RESUMEN</b>	
Muestra N° 1	56.600%
Muestra N° 2	56.100%
Muestra N° 3	56.300%
<b>Equivalente de arena promedio</b>	<b>56.333%</b>
<b>Equivalente de arena asumido</b>	<b>57.000%</b>

Fuente: Elaboración propia.

**3.2.4 Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E-131–AASHTO T96).  
Agregado de 3/4”.**

**Tabla 23.** Desgaste mediante la máquina los Ángeles del agregado de 3/4”.

Desgaste los Ángeles (Grava)		
Gradacion 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	2500
1/2	3/8	2500
Cantidad total de material tomado		5000
Retenido tamiz de corte N°12 (1.7 mm)		3.595
Diferencia		1405
Calculo		
$Desgaste = \frac{Diferencia}{5000} * 100$		28.1%

**Fuente:** Elaboración propia.

**Agregado de 3/8”.**

**Tabla 24.** Desgaste mediante la maquina los Ángeles del agregado de 3/8”.

Desgaste los Ángeles (Gravilla)		
Gradacion 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	2500
1/4	N°4	2500
Cantidad total de material tomado		5000
Retenido tamiz de corte N°12 (1.7 mm)		3425
Diferencia		1575
Calculo		
$Desgaste = \frac{Diferencia}{5000} * 100$		31.5%

**Fuente:** Elaboración propia.

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

**Tabla 25.** Desintegración sulfato de sodio del agregado pétreo.

Desintegración sulfato de sodio del agregado pétreo									
Agregado grueso									
Granulometria				Peso Materiales		Perdida por diferencia (gr)	% Pasa al tamiz mas fino	% Perdida respecto al tamiz	% Perdida respecto a la muestra
Tamiz N°	Tamiz pasa N°	Tamiz Ret. N°	Material (gr)	Antes del ensayo (gr)	Despues del ensayo (gr)				
1"	1"	3/4	98.900	1000.000	965.300	34.700	1.100	3.470	0.040
3/4	3/4	1/2	81.300	700.000	678.200	21.800	17.600	3.110	0.550
1/2	1/2	3/8	72.900	500.000	460.900	39.100	8.400	7.820	0.660
3/8	3/8	N°4	52.400	300.000	280.600	19.400	20.500	6.470	1.330
						% Total de perdida de peso			2.580
						Maximo			12.000
Agregado fino									
Granulometria				Peso Materiales		Perdida por diferencia (gr)	% Pasa al tamiz mas fino	% Perdida respecto al tamiz	% Perdida respecto a la muestra
Tamiz N°	Tamiz pasa N°	Tamiz Ret. N°	Material (gr)	Antes del ensayo (gr)	Despues del ensayo (gr)				
N°4	N°4	N°8	41.300	100.000	92.700	7.300	10.900	7.300	0.800
N°8	N°8	N°40	19.700	100.000	91.500	8.500	31.300	8.500	1.810
N°40	N°40	N°200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
						% Total de perdida de peso			2.610
						Maximo			12.000
						% Perdida total			5.190

**Fuente:** Elaboración propia.

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

**Tabla 26.** Caras fracturadas del agregado pétreo.

Caras fracturadas del agregado pétreo	
Determinaciones	Muestra
Muestra total (ret. Tamiz N°4)	a= 1147.000 gr.
Material triturado	b= 1071.800 gr.
Material natural	c= 75.200 gr.
Material natural %	d= 6.60%
Material caras fracturadas %	d= 93.40%
Especificaciones	> 75 %

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.2.7 Porcentaje de planas y alargadas en el agregado grueso (ASTM D-4791).

**Tabla 27.** Porcentaje de planas y alargadas en el agregado grueso.

Porcentaje de planas y alargadas en el agregado grueso					
Muestra inicial = 5650 g					
Tamiz N°	% Retenido parcial según granulometría	Cantidad de partículas a ensayarse (g)	Masa partículas planas y alargadas en la fracción (g)	% Partículas planas y alargadas en la muestra	% de partículas planas y alargadas en el agregado
1"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4	3.60	203.40	18.60	9.14	0.33
1/2	58.90	3327.85	246.80	7.42	4.37
3/8	25.70	1452.05	141.40	9.74	2.50
Porcentaje de planas y alargadas					7.20

**Fuente:** Elaboración propia.



### 3.2.8 Resultados de la caracterización.

**Tabla 28.** Resultados finales de la caracterización de los agregados para la mezcla asfáltica normal.

Especificaciones de los agregados para mezcla asfáltica normal				
N°	Parámetro	Norma	Valor	Resultado
1	Densidad del agregado grueso (g/cm <sup>3</sup> )	AASHTO T-85		2.639
2	Densidad del agregado fino (g/cm <sup>3</sup> )	AASHTO T-84		2.619
3	Equivalente de arena (%)	AASHTO T-176	45 % min	57.00%
4	Abrasion de los angeles (%)	AASHTO T-96	40 % max	28.10%
5	Durabilidad, sulfato de sodio (%)	AASHTO T-104	12 % max	5.19%
6	Caras fracturadas (%)	ASTM D-5821	75 % min	93.40%
7	Planas y alargadas (%)	ASTM D-4791	10 % max	7.20%

**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.

#### 3.3.1 Peso específico del cemento asfáltico (AASHTO T-229-97).

**Tabla 29.** Peso específico del cemento asfáltico.

Peso específico del cemento asfáltico (AASHTO T-229-97)				
Picnómetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Temperatura (°C)	25	25	25	
(a) (W-1)Peso picnómetro vacío (gr)	34.800	34.800	34.800	
(b) (W-4)Peso picnómetro+H <sub>2</sub> O (gr)	67.780	67.750	67.780	
(c) (W-2) Peso picnómetro+C. asfáltico (gr)	52.400	52.450	52.420	
(d) (W-3)Peso picnómetro+H <sub>2</sub> O+C.Asf. (gr)	67.860	67.840	67.850	
$\frac{c - a}{(b - a) * (d - c)}$				
Peso específico cemento asfáltico (gr/cm <sup>3</sup> )	1.005	1.005	1.004	1.005

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.2 Penetración del cemento asfáltico (AASHTO T-49).

**Tabla 30.** Penetración del cemento asfáltico.

<b>Penetración del cemento asfáltico (AASHTO T-49)</b>				
Temperatura de ensayo 25 °C				
<b>Prueba</b>	<b>Lectura 1</b>	<b>Lectura 2</b>	<b>Lectura 3</b>	<b>Prom.</b>
Muestra 1	93	92	90	91.67
Muestra 2	88	93	90	90.33
Promedio total				91.00
Tipo de cemento de acuerdo a ensayo	85 - 100			
	25 °C	5 seg	100 grs	

**Fuente:** Elaboración propia.

**CAPÍTULO IV**  
**DISEÑO DE MEZCLAS**  
**ASFÁLTICAS Y ANÁLISIS DE**  
**RESULTADOS**

## **4. 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 evaluación del comportamiento mecánico de las propiedades de las mezclas asfálticas, se realizara 10 variaciones de los porcentajes de planas y alargadas en el agregado grueso, haciendo 5 briquetas por variación, haciendo un total de 50 briquetas.

Para determinar el contenido óptimo de cemento asfaltico empleando el método de diseño Marshall, se consideró realizar un total de 15 especímenes (Briquetas) para el diseño patrón normal, donde se hará variar en un 0.5 % en peso del cemento asfaltico. De acuerdo con lo establecido anteriormente, el número total de briquetas realizado en la presente investigación será de 65.

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

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

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

#### 4.1.2.2 Procedimiento para calcular la dosificación de agregado y asfalto para el primer diseño.

A continuación se ejemplifica el cálculo de los diferentes pesos de agregados para cada una de las seis fracciones, y el peso del asfalto para la elaboración de una briqueta.

##### Cálculo para una briqueta.

En la **tabla 31**. se presentan los valores de los porcentajes de las seis fracciones de agregado que se utilizarán para obtener la dosificación de cada fracción de agregado. Para la obtención de las fracciones se procede a restar los porcentajes acumulados que pasan entre las mallas en las que se encuentra dicha fracción, por ejemplo:

Pasa malla  $\frac{3}{4}$ " – pasa malla  $\frac{1}{2}$ " =  $98.92 - 81.25 = 17.67$  % y así sucesivamente.

**Tabla 31.** Porcentajes calculados para cada fracción de agregado.

Pasa el tamiz	Se retiene el tamiz	Operación	% de la fracción
1"	$\frac{3}{4}$ "	$100 - 98.92$	1.08
$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	$98.92 - 81.25$	17.67
$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	$81.25 - 72.92$	8.33
$\frac{3}{8}$ "	N°4	$72.92 - 52.38$	20.54
N°4	N°8	$52.38 - 41.43$	10.95
Pasa la malla N°8			41.43

**Fuente:** Elaboración propia.

Para ejemplificar el cálculo se utilizará el porcentaje de 4.5 % de C.A. (Cemento Asfáltico).

W briqueta  $\approx 1,200.0$  g

$$1,200.0 \text{ g} \rightarrow 1,200.0 \times 4.5\% = 54.0 \text{ g de C.A}$$

$$1,200.0 \times 95.5\% = 1146.0 \text{ g de Agregado}$$

$$100.0\% \quad 1,200.0 \text{ g por peso total en la mezcla.}$$

La dosificación completa para una briqueta de 1200 gramos con 4.5 % C.A.

**Tabla 32.** Dosificación para una Briqueta de 4.5% de Asfalto.

Wbriqueta=1200.0 g			95.5 % Agregado= 1146 g	
Fraccion de agregado		% Fraccion	Operación	Peso de agregado (g)
Pasa	Se retiene			
1"	3/4"	1.080	1146x0.0108	12.377
3/4"	1/2"	17.670	1146x0.1767	202.498
1/2"	3/8"	8.330	1146x0.0833	95.462
3/8"	N°4	20.540	1146x0.2054	235.388
N°4	N°8	10.950	1146x0.1095	125.487
Pasa N°8		41.430	1146x0.4143	474.788
				∑ 1146.000
Asfalto		4.50%	1200x0.045	54.0 g de CA
Peso de la briqueta				∑ 1200

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 33.** Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica normal con 7.2% de planas y alargadas

Fraccion de agregado			4.5%		5.0%		5.5%		6.0%		6.5%	
Pasa	Retien	Fraccion %	P.Parcial	P.Acum	P.Parcial	P.Acum	P.Parcial	P.Acum	P.Parcial	P.Acum	P.Parcial	P.Acum
1"	3/4"	1.080	12.377	12.377	12.312	12.312	12.247	12.247	12.182	12.182	12.118	12.118
3/4"	1/2"	17.670	202.50	214.88	201.44	213.75	200.38	212.63	199.32	211.50	198.26	210.38
1/2"	3/8"	8.330	95.46	310.34	94.96	308.71	94.46	307.09	93.96	305.46	93.46	303.84
3/8"	N°4	20.540	235.39	545.73	234.16	542.87	232.92	540.01	231.69	537.15	230.46	534.30
N°4	N°8	10.950	125.49	671.21	124.83	667.70	124.17	664.18	123.52	660.67	122.86	657.16
Pasa N°8		41.430	474.79	1146.0	472.30	1140.0	469.82	1134.0	467.33	1128.0	464.84	1122.0
Peso total (gr)			1146.0		1140.0		1134.0		1128.0		1122.0	

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 tabla mostrada 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.

#### 4.1.2.3 Cálculos y resultados de las muestras para el primer diseño.

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 7.2 % de planas y alargadas.

#### Identificación.

Las briquetas 1, 2 y 3 para 4.5% de C.A. serán las que analizaremos para la demostración.

#### Altura de la briketa.

Identificación	Altura (cm)
1	6.52
2	6.54
3	6.53

#### Porcentaje de 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 briqueta al aire.**

Identificación	Peso (gr)
1	1183.1
2	1175.6
3	1179.4

**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	1184.9
2	1177.6
3	1181.5

**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	671.4
2	666.5
3	668.9

**Volumen de la briqueta.**

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

$$\text{Vol. briqueta} = 1184.9 - 671.4$$

$$\text{Vol. briqueta} = 513.5 \text{ cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta identificada como "1".



Densidad de la briqueta.

Densidad real.

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

$$Densidad\ real = \frac{1183.1}{513.5}$$

$$Densidad\ real = 2.304\text{kg/cm}^3$$

Densidad máxima teórica de la briqueta.

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

$$DmaxT = \frac{100}{\left(\frac{4.5}{1.005}\right) + \left(\frac{100 - 4.5}{2.629}\right)}$$

$$DmaxT = 2.451\text{kg/cm}^3$$

Porcentaje de vacíos.

Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv).

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

$$Vv = \left(\frac{2.451 - 2.302}{2.451}\right) * 100$$

$$Vv = 6.079\%$$

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM).

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

$$VAM = \left(\frac{4.5 * 2.302}{1.005}\right) + 6.079\%$$

$$VAM = 16.386\%$$

Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV).

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

$$RBV = \left( \frac{16.386 - 6.079}{16.386} \right) * 100$$

$$RBV = 62.90\%$$

Estabilidad y fluencia.

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad	Fluencia
1	90.000	10.000
2	95.000	12.000
3	93.000	11.000

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

**Estabilidad.**

$$Estabilidad Real = (Lectura dial * 11.19) * 2.2046$$

$$Estabilidad Real = (90 * 11.19) * 2.2046$$

$$Estabilidad Real = 2220.253 \text{ Lb}$$

Identificación	Lectura dial	
	Estabilidad	Estabilidad real (Lb)
1	90	2220.253
2	95	2343.600
3	93	2294.261
Promedio		2286.038

**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	0.958
2	0.954
3	0.956
Promedio	0.956

$$\textit{Estabilidad corregida} = \textit{Estabilida real prom} * \textit{Factor de correccion}$$

$$\textit{Estabilidad corregida} = 2286.038 * 0.956$$

$$\textit{Estabilidad corregida} = 2185.452\textit{Lb}$$

**Fluencia.**

Identificación	Fluencia 1/100''
1	10
2	12
3	11
Promedio	11

Nota: de igual manera se realiza los cálculos para los demás datos, a continuación se presenta las correspondientes planillas de resultados general de todos los diseños que se realizaron en la presente investigación.

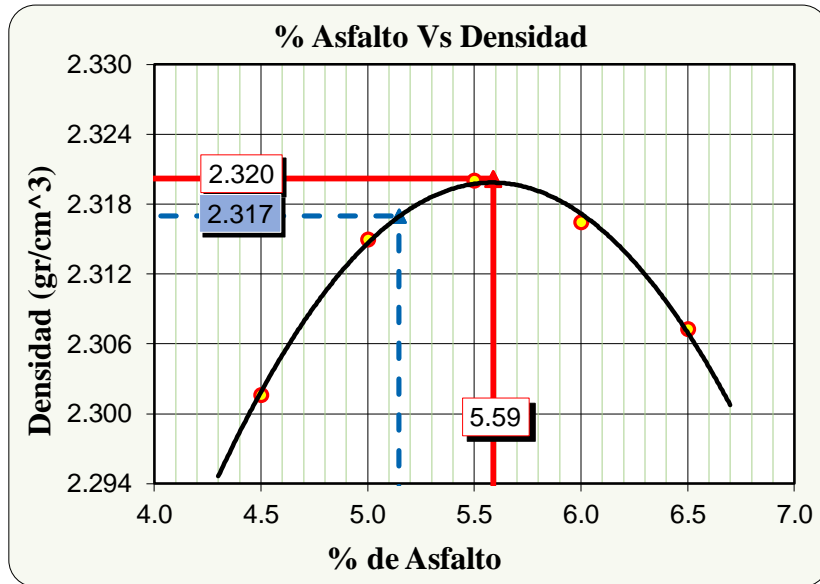
**Tabla 34.** Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica normal con 7.2% de planas y alargadas.

Diseño de mezcla asfáltica en caliente método Marshall																						
Pesos esp. (AASHTO T-100, T-85)		% de Agregados		Cemento asfáltico AASHTO M-20		Dosificación		Grava	Gravilla	Arena triturada	Planas y alargadas											
Mat. retenido tamiz N° 4	2.639	gr/cm <sup>3</sup>	50.000	Asfalto	85-100			3/4"	3/8"	N°4	grueso											
Mat. pasa tamiz N° 4	2.619	gr/cm <sup>3</sup>	50.000	Peso específico del asfalto	1.005	% de agregados		30%	20%	50%	7.2%											
Peso esp. agregado total		2.639	gr/cm <sup>3</sup>	100.000			Origen del agregado		Material de acopio chancadora Constructora SEDPA S.R.L.													
N° Golpes :		75	Temperatura de compactación 130 °C																			
Identificación	Altura de la briqueta	% de asfalto		Peso de briqueta en el aire (gr)	Peso de briqueta S.S.S. (gr)	Peso de briqueta sumergida (gr)	Volumen de la briqueta (cm <sup>3</sup> )	Densidad de la briqueta			% Vacíos			Estabilidad (Lb)					Lect. dial	Flujo 1/100"	Media	
		Base del agregado	Base de la mezcla					Real (Dr.)	Promedio (Drm.)	Máxima teórica	Mezcla	Agregados	Llenos de asfalto	Lec. dial	Real	Media	Factor de corrección mm	Media f.c.				Corregida
		a	b	c	r	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p				
1	6.520	4.712	4.500	1183.100	1184.900	671.400	513.500	2.304					90.000	2220.253		0.958			10.000	10.000		
2	6.540	4.712	4.500	1175.600	1177.600	666.500	511.100	2.300					95.000	2343.600		0.954			12.000	12.000		
3	6.530	4.712	4.500	1179.400	1181.500	668.900	512.600	2.301	2.302	2.451	6.084	16.390	62.879	93.000	2294.261	2286.038	0.956	0.956	2185.452	11.000	11.000	11.000
4	6.530	5.263	5.000	1178.700	1180.600	671.400	509.200	2.315					105.000	2590.295		0.956			12.000	12.000		
5	6.510	5.263	5.000	1183.300	1185.000	673.200	511.800	2.312					104.000	2565.625		0.960			12.500	12.500		
6	6.500	5.263	5.000	1181.800	1183.600	673.800	509.800	2.318	2.315	2.432	4.828	16.345	70.464	106.000	2614.964	2590.295	0.963	0.960	2486.683	11.500	11.500	12.000
7	6.500	5.820	5.500	1187.200	1189.600	678.300	511.300	2.322					111.000	2738.312		0.963			13.000	13.000		
8	6.510	5.820	5.500	1187.300	1189.400	677.200	512.200	2.318					110.000	2713.642		0.960			12.800	12.800		
9	6.500	5.820	5.500	1183.700	1185.600	675.400	510.200	2.320	2.320	2.414	3.909	16.605	76.460	112.000	2762.981	2738.312	0.963	0.962	2634.256	12.600	12.600	12.800
10	6.500	6.383	6.000	1191.900	1193.700	679.300	514.400	2.317					108.000	2664.303		0.963			11.800	13.800		
11	6.510	6.383	6.000	1187.200	1189.200	676.200	513.000	2.314					109.000	2688.973		0.960			13.400	13.400		
12	6.480	6.383	6.000	1187.800	1189.600	677.200	512.400	2.318	2.316	2.397	3.344	17.173	80.530	107.000	2639.634	2664.303	0.968	0.963	2565.724	13.200	13.200	13.467
13	6.430	6.952	6.500	1196.700	1193.500	676.900	516.600	2.316					102.000	2516.286		0.980			15.000	15.000		
14	6.500	6.952	6.500	1194.700	1196.700	678.100	518.600	2.304					99.000	2442.278		0.963			14.000	14.000		
15	6.460	6.952	6.500	1193.200	1195.100	676.700	518.400	2.302	2.307	2.379	3.017	17.940	83.181	101.000	2491.617	2483.394	0.973	0.972	2413.859	13.000	13.000	14.000

Fuente: Elaboración propia.

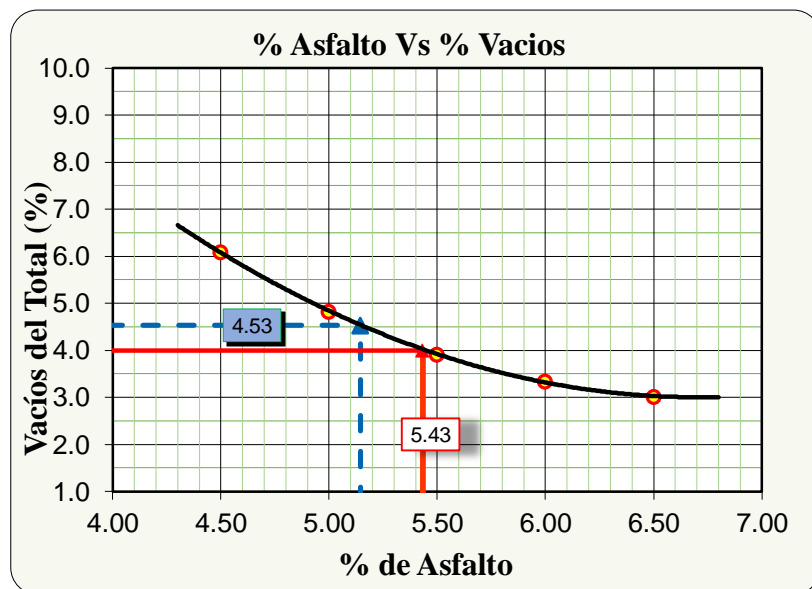
#### 4.1.2.4 Gráficos de las curvas de diseño de la mezcla asfáltica normal con 7.2% de planas y alargadas.

**Figura 15.** % de asfalto vs densidad del diseño de la mezcla asfáltica normal.



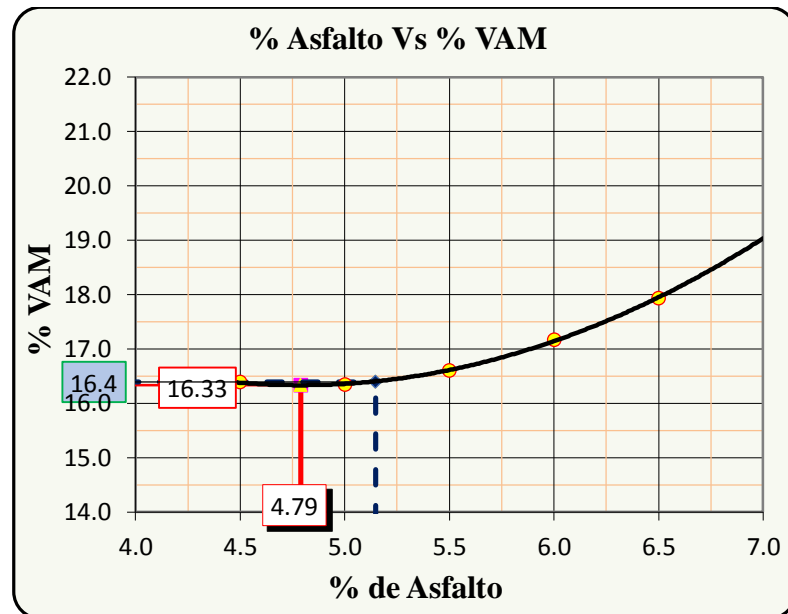
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 16.** % de asfalto vs % de vacíos del diseño de la mezcla asfáltica normal.



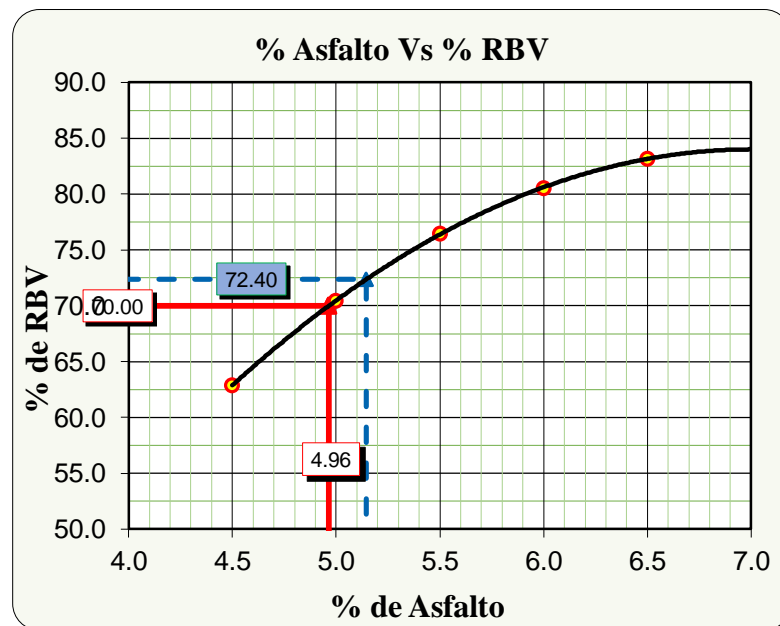
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 17.** % de asfalto vs % VAM del diseño de la mezcla asfáltica normal.



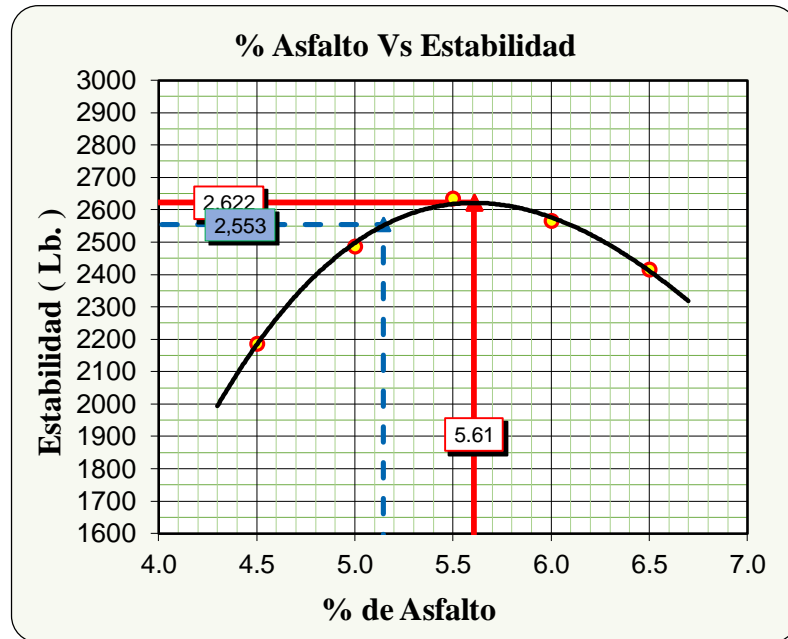
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 18.** % de asfalto vs % RBV del diseño de la mezcla asfáltica normal.



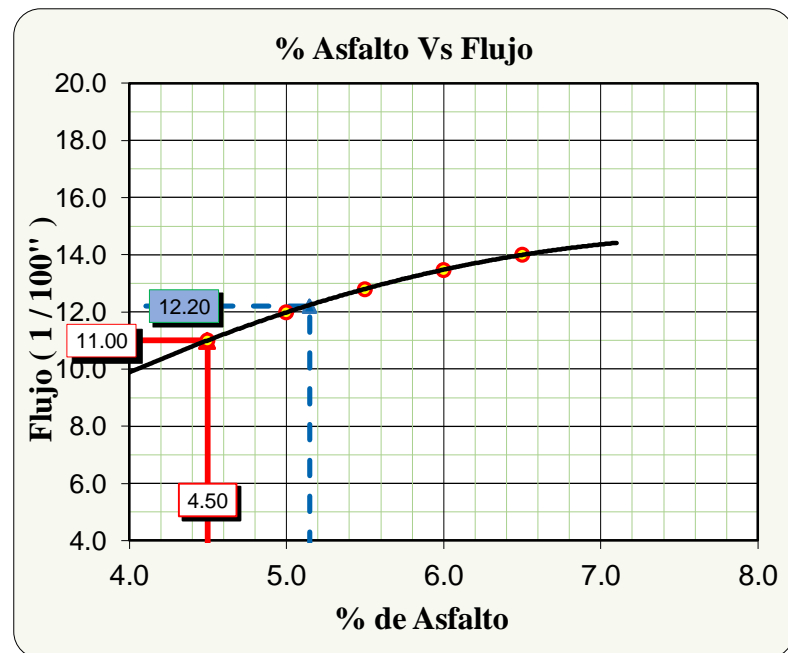
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 19.** % de asfalto vs estabilidad del diseño de la mezcla asfáltica normal.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 20.** % de asfalto vs flujo del diseño de la mezcla asfáltica normal.



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.5 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 35.** Contenido óptimo de cemento asfáltico con 7.2 % de planas y alargadas.

Valores				
Características	% Parcial de asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.59	2.320	-----	-----
% Vacíos	5.43	4.00	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	4.96	70.00	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	4.79	16.30		
Estabilidad (Lb)	5.61	2621.80	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	4.50	11.00	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>Promedio ( % )</b>	<b>5.15</b>	Determinación del contenido óptimo de asfalto promedio de las gráficas		

**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 36.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 7.2 % de planas y alargadas.

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.317	-----	-----
% Vacíos	5.15	4.53	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	72.40	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	16.40		
Estabilidad (Lb)	5.15	2553.00	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	12.20	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.



#### 4.1.3 Evaluación de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas.

De igual forma que para el diseño de la mezcla asfáltica normal, se procederá a realizar la dosificación para la mezcla asfáltica con diferentes porcentajes de planas y alargadas.

##### 4.1.3.1 Dosificación de los especímenes (Briquetas).

Para hacer una evaluación del comportamiento mecánico de las propiedades de las mezclas asfálticas, se realizara 10 variaciones de los porcentajes de planas y alargadas en el agregado grueso  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ ", haciendo 5 briquetas por variación, haciendo un total de 50 briquetas.

Las cantidades de las partículas planas y alargadas añadidas a las mezclas asfálticas serán de 0%, 3%, 5%, 10%, 12%, 15%, 18%, 21%, 24%, 27.1%, el cual se lo realizara en ese orden en un intervalo de separación de 3 % aproximadamente para realizar una mejor evaluación del comportamiento mecánico de las propiedades, hasta llegar a un total del agregado grueso de 27.1 %, que es la suma de las fracciones retenidas de los tamices de  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{8}$ " que comprenden el material grueso de la mezcla asfáltica.

**Tabla 37.** Dosificación para la mezcla asfáltica con 0% de planas y alargadas.

0 % de planas y alargadas retenido 1/2"				
Wbriqueta=1200.0 g			94.85 % Agregado= 1138.2 g	
Fraccion de agregado		%	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)
Pasa	Se retiene	Fraccion		
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413
Irregulares		17.670	201.120	
Planas y alargadas		0.000	0.000	
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200
				∑ 1138.200
Asfalto		5.15%	61.800	61.800
Peso de la briqueta				∑ 1200.000

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 38.** Dosificación para la mezcla asfáltica con 3% de planas y alargadas.

<b>3 % de planas y alargadas retenido 1/2"</b>					
<b>Wbriqueta=1200.0 g</b>			<b>94.85 % Agregado= 1138.2 g</b>		
<b>Fraccion de agregado</b>		<b>% Fraccion</b>	<b>Peso parcial (g)</b>	<b>Peso acumulado (g)</b>	
<b>Pasa</b>	<b>Se retiene</b>				
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293	
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413	
Irregulares		14.670	166.974		
Planas y alargadas		3.000	34.146		
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225	
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011	
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644	
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200	
				∑	1138.200
Asfalto		5.15%	61.800	61.800	
Peso de la briqueta				∑	1200.000

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 39.** Dosificación para la mezcla asfáltica con 5% de planas y alargadas.

<b>5 % de planas y alargadas retenido 1/2"</b>					
<b>Wbriqueta=1200.0 g</b>			<b>94.85 % Agregado= 1138.2 g</b>		
<b>Fraccion de agregado</b>		<b>% Fraccion</b>	<b>Peso parcial (g)</b>	<b>Peso acumulado (g)</b>	
<b>Pasa</b>	<b>Se retiene</b>				
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293	
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413	
Irregulares		12.670	144.210		
Planas y alargadas		5.000	56.910		
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225	
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011	
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644	
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200	
				∑	1138.200
Asfalto		5.15%	61.800	61.800	
Peso de la briqueta				∑	1200.000

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 40.** Dosificación para la mezcla asfáltica con 10% de planas y alargadas.

10 % de planas y alargadas retenido 1/2"				
Wbriqueta=1200.0 g			94.85 % Agregado= 1138.2 g	
Fraccion de agregado		%	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)
Pasa	Se retiene	Fraccion		
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413
Irregulares		7.670	87.300	
Planas y alargadas		10.000	113.820	
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200
				∑ 1138.200
Asfalto		5.15%	61.800	61.800
Peso de la briqueta				∑ 1200.000

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 41.** Dosificación para la mezcla asfáltica con 12% de planas y alargadas.

12 % de planas y alargadas retenido 1/2"				
Wbriqueta=1200.0 g			94.85 % Agregado= 1138.2 g	
Fraccion de agregado		%	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)
Pasa	Se retiene	Fraccion		
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413
Irregulares		5.670	64.536	
Planas y alargadas		12.000	136.584	
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200
				∑ 1138.200
Asfalto		5.15%	61.800	61.800
Peso de la briqueta				∑ 1200.000

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 42.** Dosificación para la mezcla asfáltica con 15% de planas y alargadas.

15 % de planas y alargadas retenido 1/2"					
Wbriqueta=1200.0 g			94.85 % Agregado= 1138.2 g		
Fraccion de agregado		%	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)	
Pasa	Se retiene	Fraccion			
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293	
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413	
Irregulares		2.670	30.390		
Planas y alargadas		15.000	170.730		
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225	
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011	
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644	
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200	
				∑	1138.200
Asfalto		5.15%	61.800	61.800	
Peso de la briqueta				∑	1200.000

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 43.** Dosificación para la mezcla asfáltica con 18% de planas y alargadas.

18 % de planas y alargadas retenido 1/2", 3/8"					
Wbriqueta=1200.0 g			94.85 % Agregado= 1138.2 g		
Fraccion de agregado		%	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)	
Pasa	Se retiene	Fraccion			
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293	
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413	
Irregulares		0.000	0.000		
Planas y alargadas		17.670	201.120		
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225	
Irregulares		8.000	91.056		
Planas y alargadas		0.330	3.756		
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011	
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644	
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200	
				∑	1138.200
Asfalto		5.15%	61.800	61.800	
Peso de la briqueta				∑	1200.000

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 44.** Dosificación para la mezcla asfáltica con 21% de planas y alargadas.

21 % de planas y alargadas retenido 1/2", 3/8"				
Wbriqueta=1200.0 g			94.85 % Agregado= 1138.2 g	
Fraccion de agregado		%	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)
Pasa	Se retiene	Fraccion		
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413
Irregulares		0.000	0.000	
Planas y alargadas		17.670	201.120	
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225
Irregulares		5.000	56.910	
Planas y alargadas		3.330	37.902	
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200
				∑ 1138.200
Asfalto		5.15%	61.800	61.800
Peso de la briqueta				∑ 1200.000

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 45.** Dosificación para la mezcla asfáltica con 24% de planas y alargadas.

24 % de planas y alargadas retenido 1/2", 3/8"				
Wbriqueta=1200.0 g			94.85 % Agregado= 1138.2 g	
Fraccion de agregado		%	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)
Pasa	Se retiene	Fraccion		
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413
Irregulares		0.000	0.000	
Planas y alargadas		17.670	201.120	
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225
Irregulares		2.000	22.764	
Planas y alargadas		6.330	72.048	
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200
				∑ 1138.200
Asfalto		5.15%	61.800	61.800
Peso de la briqueta				∑ 1200.000

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 46.** Dosificación para la mezcla asfáltica con 27.10% de planas y alargadas.

27.10 % de planas y alargadas retenido 3/4", 1/2", 3/8"				
Wbriqueta=1200.0 g			94.85 % Agregado= 1138.2 g	
Fraccion de agregado		%	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)
Pasa	Se retiene	Fraccion		
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293
Irregulares		0.000	0.000	
Planas y alargadas		1.080	12.293	
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413
Irregulares		0.000	0.000	
Planas y alargadas		17.670	201.120	
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225
Irregulares		0.000	0.000	
Planas y alargadas		8.330	94.812	
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200
				Σ
Asfalto			5.15%	61.800
Peso de la briqueta				Σ
				1200.000

**Fuente:** Elaboración propia.

Las tablas mostradas anteriormente nos muestran las cantidades de agregados, los porcentajes de partículas planas y alargadas y la cantidad del cemento asfáltico con las que se realizará las diferentes mezclas asfálticas y así poder evaluar el comportamiento de las mezclas.

El porcentaje de cemento asfáltico que se utilizara para las diferentes dosificaciones, es el porcentaje óptimo de cemento asfáltico hallado anteriormente del diseño normal que es 5.15%.

#### 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 las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas.

**Tabla 47.** Resultados de la dosificación para la evaluación de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas.

EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL CON DIFERENTES PORCENTAJES DE PLANAS Y ALARGADAS																										
Para esp. (AASHTO T-100 T-95)		% de Agregado		Cemento asfáltico AASHTO M-20			Densificación		Grava		Gravilla		Arena triturada		Planas y alargadas											
Mat. retenida tamiz N°4	2.629	gr/cm <sup>3</sup>	50.000	Asfalto	35-100			3/4"		3/8"		N°4														
Mat. para tamiz N°4	2.619	gr/cm <sup>3</sup>	50.000	Para esp. específica del asfalto	1.005			30%		20%		50%														
Para esp. agregada total	2.629	gr/cm <sup>3</sup>	100.000																							
N° Galpón:	75			Temperatura de compactación 130 °C			Origen del agregado		Material de cepa chancadora Constructora SEINPA S.R.L.																	
Manifiesto	Altura de la briqueta	% de asfalto		Para de briqueta en el aire (ar)	Para de briqueta S.S.S.	Para de briqueta sumergida	Volumen de la briqueta (cm <sup>3</sup> )	Densidad de la briqueta			% Vacío			Estabilidad (Lb)					Lección	Flujo 1/100"	Medio					
		Base del agregado	Base de la mezcla					Real (Dr)	Pramedi (Dr <sub>m</sub> )	Máxima (Dr <sub>m</sub> )	Mezcla (V <sub>v</sub> )	Agregado (V <sub>AM</sub> )	Llenar de asfalto (R <sub>EV</sub> )	Lección	Real	Medio	Factor de corrección mm	Medio f.c.				Carroquido				
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v	w	x	y	z	
MEZCLA ASFÁLTICA CON 0% DE PLANAS Y ALARGADAS																										
1	6.490	5.430	5.15	1183.200	1185.800	671.200	514.600	2.299						109.000	2688.973		0.965						8.000	8.000		
2	6.420	5.430	5.15	1184.500	1188.200	670.500	517.700	2.288						112.000	2762.981		0.983						7.000	7.000		
3	6.560	5.430	5.15	1187.300	1190.500	672.100	518.400	2.290						109.000	2688.973		0.951						9.000	9.000		
4	6.380	5.430	5.15	1182.500	1184.600	674.500	510.100	2.318						110.000	2713.642		0.993						7.000	7.000		
5	6.480	5.430	5.15	1182.100	1185.900	666.000	519.900	2.274	2.294	2.427	5.484	17.239	68.187	107.000	2639.634	2698.840	0.968	0.972	2623.27	9.000	9.000	8.000	8.000			
MEZCLA ASFÁLTICA CON 3% DE PLANAS Y ALARGADAS																										
1	6.470	5.430	5.15	1187.200	1189.600	679.600	510.000	2.328						108.000	2664.303		0.970						9.000	9.000		
2	6.450	5.430	5.15	1186.400	1188.300	672.400	515.900	2.300						109.000	2688.973		0.975						8.000	8.000		
3	6.460	5.430	5.15	1186.200	1189.500	663.100	526.400	2.253						106.000	2614.964		0.973						12.000	12.000		
4	6.470	5.430	5.15	1186.200	1187.600	670.900	516.700	2.296						108.000	2664.303		0.970						8.500	8.500		
5	6.450	5.430	5.15	1188.100	1189.800	675.400	514.400	2.310	2.297	2.427	5.345	17.117	68.773	107.000	2639.634	2654.435	0.975	0.973	2582.77	10.000	10.000	9.500	9.500			
MEZCLA ASFÁLTICA CON 5% DE PLANAS Y ALARGADAS																										
1	6.420	5.430	5.15	1182.500	1185.100	673.800	511.300	2.313						105.000	2590.295		0.983						13.000	13.000		
2	6.490	5.430	5.15	1178.100	1181.200	668.200	513.000	2.296						108.000	2664.303		0.965						12.500	12.500		
3	6.460	5.430	5.15	1187.200	1189.800	676.600	513.200	2.313						111.000	2738.312		0.973						10.000	10.000		
4	6.450	5.430	5.15	1179.600	1182.600	672.600	510.000	2.313						110.000	2713.642		0.975						9.500	9.500		
5	6.470	5.430	5.15	1183.400	1185.700	670.200	515.500	2.296	2.306	2.427	4.976	16.794	70.370	102.000	2516.286	2644.568	0.970	0.973	2573.164	14.000	14.000	14.000	14.000			
MEZCLA ASFÁLTICA CON 10% DE PLANAS Y ALARGADAS																										
1	6.490	5.430	5.15	1181.600	1185.200	676.300	508.900	2.322						106.000	2614.964		0.965						11.800	11.800		
2	6.450	5.430	5.15	1186.100	1188.500	672.800	515.700	2.300						98.000	2417.608		0.975						14.000	14.000		
3	6.430	5.430	5.15	1182.500	1184.600	675.300	509.300	2.322						108.000	2664.303		0.980						10.000	10.000		
4	6.420	5.430	5.15	1188.100	1189.800	680.500	509.300	2.333						102.000	2516.286		0.983						13.500	13.500		
5	6.500	5.430	5.15	1184.500	1188.100	678.200	509.900	2.323	2.320	2.427	4.413	16.301	72.929	104.000	2565.625	2555.758	0.963	0.973	2486.75	12.500	12.500	12.500	12.500			

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 48.** Resultados de la dosificación para la evaluación de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas.

EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL CON DIFERENTES PORCENTAJES DE PLANAS Y ALARGADAS																						
Para esp. (AASHTO T-100, T-85)		% de Agregado		Cemento asfáltico AASHTO M-20		Densificación		Grava	Gravilla	Arena triturada	Planas y alargadas											
Mat. retenida tamiz N°4	2.629	gr/cm <sup>3</sup>	50.000	Asfalto	85-100			3/4"	3/8"	N°4	gruesa											
Mat. para tamiz N°4	2.619	gr/cm <sup>3</sup>	50.000	Para esp. específica del asfalto	1.005			30%	20%	50%												
Para esp. agregada total	2.629	gr/cm <sup>3</sup>	100.000																			
N° Galpón:		75		Temperatura de compactación 130 °C		Origen del agregado		Material de acopia chancadora Constructora SEINPA S.R.L.														
Mantificación	Altura de la briketa	% de asfalto		Peso de briketa en el aire	Peso de briketa S.S.S.	Peso de briketa sumergida	Volumen de la briketa	Densidad de la briketa			% Vacío			Estabilidad (Lb)					Lect. dial	Flujo 1/100"	Media	
		Base del agregado	Base de la mezcla					Real (Dr.)	Promedio (Dm.)	Máxima (Dm.)	Mezcla (Vv)	Agregado (VAM)	Llenar de (RBV)	Loc. dial	Real	Media	Factor de corrección mm	Media f.c.				Carregada
MEZCLA ASFÁLTICA CON 12% DE PLANAS Y ALARGADAS																						
1	6.420	5.430	5.150	1182.300	1185.300	676.300	509.000	2.323						96.000	2368.27		0.983			13.000	13.000	
2	6.450	5.430	5.150	1179.100	1183.500	676.600	506.900	2.326						102.000	2516.286		0.975			11.700	11.700	
3	6.420	5.430	5.150	1181.500	1185.000	675.500	509.500	2.319						98.000	2417.608		0.983			12.500	12.500	
4	6.440	5.430	5.150	1182.500	1187.200	678.200	509.000	2.323						104.000	2565.63		0.978			11.500	11.500	
5	6.450	5.430	5.150	1178.200	1181.000	674.200	506.800	2.325	2.323	2.427	4.278	16.183	73.563	94.000	2318.931	2437.34	0.975	0.979	2386.16	13.500	13.500	12.440
MEZCLA ASFÁLTICA CON 15% DE PLANAS Y ALARGADAS																						
1	6.450	5.430	5.150	1184.500	1187.600	680.200	507.400	2.334						89.000	2195.583		0.975			14.000	14.000	
2	6.420	5.430	5.150	1183.800	1186.400	679.300	507.100	2.334						90.000	2220.25		0.983			11.500	11.500	
3	6.470	5.430	5.150	1183.400	1186.200	678.100	508.100	2.329						85.000	2096.91		0.970			15.000	15.000	
4	6.420	5.430	5.150	1185.200	1188.600	679.500	509.100	2.328						91.000	2244.92		0.983			10.000	10.000	
5	6.440	5.430	5.150	1195.800	1198.500	678.100	520.400	2.298	2.325	2.427	4.212	16.125	73.879	87.000	2146.244	2180.782	0.978	0.978	2132.80	14.500	14.500	13.000
MEZCLA ASFÁLTICA CON 18% DE PLANAS Y ALARGADAS																						
1	6.470	5.430	5.150	1181.100	1185.100	672.500	512.600	2.304						85.000	2096.91		0.970			15.000	15.000	
2	6.420	5.430	5.150	1184.300	1187.500	681.200	506.300	2.339						89.000	2195.583		0.983			12.000	12.000	
3	6.430	5.430	5.150	1186.700	1191.200	683.300	507.900	2.336						86.000	2121.575		0.980			13.000	13.000	
4	6.470	5.430	5.150	1183.200	1186.100	675.800	510.300	2.319						91.000	2244.92		0.970			11.000	11.000	
5	6.450	5.430	5.150	1178.300	1181.600	682.300	499.300	2.360	2.332	2.427	3.928	15.876	75.258	84.000	2072.24	2146.244	0.975	0.976	2094.73	15.000	15.000	13.200

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 49.** Resultados de la dosificación para la evaluación de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas.

EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MÉTODO MARSHALL CON DIFERENTES PORCENTAJES DE PLANAS Y ALARGADAS																						
Para esp. (AASHTO T-100, T-85)		% de Agregado		Cemento asfáltico AASHTO M-20		Densificación	Grava	Gravilla	Arena triturada	Planas y alargadas												
Mat. retenida tamiz N°4	2.639	qr/cm <sup>3</sup>	50.000	Asfalto	85-100		3/4"	3/8"	N°4	gruesa												
Mat. para tamiz N°4	2.619	qr/cm <sup>3</sup>	50.000	Para esp. específica del asfalto	1.005	% de agregado	30%	20%	50%													
Para esp. agregada total	2.629	qr/cm <sup>3</sup>	100.000			Origen del agregado	Material de acopia chancadora Constructora SEINPA S.R.L.															
N° Galpor:		75		Temperatura de compactación 130 °C																		
Modificación	Altura de la briqueta	% de asfalto		Para de briqueta en el aire	Para de briqueta S.S.S.	Para de briqueta zumeraj da	Volumen de la briqueta	Densidad de la briqueta			% Vacío			Estabilidad (Lb)					Lect. dial	Flujo 1/100*	Media	
		Base del agregado	Base de la mezcla					Real (Dr.)	Promedi a (Drm.)	Máxim a	Mezcl a	Agregado	Llenar de	Loc. dial	Real	Media	Factor de corrección mm	Media f.c.				Corregida
		a	b	c	r	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	
MEZCLA ASFÁLTICA CON 21% DE PLANAS Y ALARGADAS																						
1	6.430	5.430	5.150	1185.600	1188.200	680.600	507.600	2.336						82.000	2022.90		0.988			16.500	16.500	
2	6.480	5.430	5.150	1188.200	1191.800	681.400	510.400	2.328						87.000	2146.244		0.968			12.500	12.500	
3	6.420	5.430	5.150	1183.800	1187.500	679.200	508.300	2.329						91.000	2244.92		0.983			11.000	11.000	
4	6.470	5.430	5.150	1185.100	1188.600	682.600	506.000	2.342						84.000	2072.24		0.970			15.000	15.000	
5	6.490	5.430	5.150	1187.200	1189.800	680.300	509.500	2.330	2.333	2.427	3.874	15.829	75.525	85.000	2096.91	2116.641	0.965	0.973	2059.49	14.000	14.000	13.800
MEZCLA ASFÁLTICA CON 24% DE PLANAS Y ALARGADAS																						
1	6.520	5.430	5.150	1188.600	1191.600	680.400	511.200	2.325						84.000	2072.24		0.958			15.500	15.500	
2	6.490	5.430	5.150	1190.500	1192.200	683.600	508.600	2.341						83.000	2047.57		0.965			16.300	16.300	
3	6.470	5.430	5.150	1185.900	1188.600	682.500	506.100	2.343						86.000	2121.575		0.970			11.500	11.500	
4	6.520	5.430	5.150	1187.000	1188.500	681.200	507.300	2.340						82.000	2022.90		0.958			17.500	17.500	
5	6.530	5.430	5.150	1195.800	1198.600	684.300	514.300	2.325	2.335	2.427	3.799	15.763	75.902	84.000	2072.24	2067.30	0.956	0.962	1988.74	14.500	14.500	15.160
MEZCLA ASFÁLTICA CON 27.10% DE PLANAS Y ALARGADAS																						
1	6.480	5.430	5.150	1185.200	1188.300	682.800	505.500	2.345						82.000	2022.90		0.968			14.500	14.500	
2	6.430	5.430	5.150	1183.600	1187.700	683.400	504.300	2.347						79.000	1948.888		0.980			16.000	16.000	
3	6.460	5.430	5.150	1185.800	1189.200	682.300	506.900	2.339						75.000	1850.211		0.973			18.000	18.000	
4	6.500	5.430	5.150	1185.200	1188.900	684.600	504.300	2.350						81.000	1998.227		0.963			15.500	15.500	
5	6.420	5.430	5.150	1182.300	1186.000	682.600	503.400	2.349	2.346	2.427	3.339	15.361	78.262	78.000	1924.219	1948.888	0.983	0.973	1896.27	16.600	16.600	16.120

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3.3 Resultados de las características de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas.

**Tabla 50.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 0% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Valores obtenidos Marshall con 0% de planas y alargadas				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.294	-----	-----
% Vacíos	5.15	5.48	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	68.19	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	17.24		
Estabilidad (Lb)	5.15	2623.27	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	8.00	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 51.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 3% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Valores obtenidos Marshall con 3% de planas y alargadas				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.297	-----	-----
% Vacíos	5.15	5.35	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	68.77	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	17.12		
Estabilidad (Lb)	5.15	2582.77	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	9.50	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 52.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 5% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Valores obtenidos Marshall con 5% de planas y alargadas				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.306	-----	-----
% Vacíos	5.15	4.98	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	70.37	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	16.79		
Estabilidad (Lb)	5.15	2573.16	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	11.80	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 53.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 10% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Valores obtenidos Marshall con 10% de planas y alargadas				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.320	-----	-----
% Vacíos	5.15	4.41	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	72.93	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	16.30		
Estabilidad (Lb)	5.15	2486.75	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	12.36	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 54.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 12% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Valores obtenidos Marshall con 12% de planas y alargadas				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.323	-----	-----
% Vacíos	5.15	4.28	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	73.56	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	16.18		
Estabilidad (Lb)	5.15	2386.16	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	12.44	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 55.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 15% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Valores obtenidos Marshall con 15% de planas y alargadas				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.325	-----	-----
% Vacíos	5.15	4.21	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	73.88	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	16.12		
Estabilidad (Lb)	5.15	2132.80	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	13.00	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 56.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 18% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Valores obtenidos Marshall con 18% de planas y alargadas				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.332	-----	-----
% Vacíos	5.15	3.93	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	75.26	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	15.88		
Estabilidad (Lb)	5.15	2094.73	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	13.20	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 57.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 21% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Valores obtenidos Marshall con 21% de planas y alargadas				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.333	-----	-----
% Vacíos	5.15	3.87	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	75.53	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	15.83		
Estabilidad (Lb)	5.15	2059.49	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	13.80	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 58.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 24% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Valores obtenidos Marshall con 24% de planas y alargadas				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.335	-----	-----
% Vacíos	5.15	3.80	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	75.92	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	15.76		
Estabilidad (Lb)	5.15	1988.74	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	15.16	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 59.** Resultados de las características de la mezcla asfáltica con 27.10% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Valores obtenidos Marshall con 27.10% de planas y alargadas				
Características	% De asfalto	Valores con el % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5.15	2.346	-----	-----
% Vacíos	5.15	3.34	<b>3</b>	<b>5</b>
R.B.V.	5.15	78.26	<b>65</b>	<b>75</b>
V.A.M.	5.15	15.36		
Estabilidad (Lb)	5.15	1896.27	<b>&gt; 1800 Lb. (75 Golpes)</b>	
Fluencia 1/100"	5.15	16.12	<b>8</b>	<b>14</b>
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>			<b>5.15</b>	

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.3.4 Resultados del análisis granulométrico después de la compactación de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas.

Se realizara el análisis granulométrico a las mezclas con porcentajes de partículas planas y alargadas de 0%, 5%, 10%, 15%, 21%, 27.1%, haciendo 2 muestras por cada porcentaje para poder evaluar el estado de la granulometría de las mezclas después de la compactación y la rotura en la prensa Marshall.

**Tabla 60.** Resultados del análisis granulométrico después de la compactación de las mezclas asfálticas con 0% de partículas planas y alargadas.

0 % de planas y alargadas retenido 1/2"						
Granulometria de diseño antes de la compactación					Granulometria despues de la compactación	
Wbriqueta=1200.0 g					Muestra 1	Muestra 2
94.85 % Agregado= 1138.2 g						
Fraccion de agregado		% Fraccion	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)	Peso parcial (g)	Peso parcial (g)
Pasa	Se retiene					
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293	12.000	11.000
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413	198.000	201.000
Irregulares		17.670	201.120			
Planas y alargadas		0.000	0.000			
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225	79.000	68.000
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011	229.000	235.000
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644	152.000	149.000
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200	430.000	445.000
				Σ	1138.200	1109.000
Asfalto		5.15%	61.800	61.800	61.800	61.800
Peso de la briqueta				Σ	1200.000	1170.800
Valores obtenidos diseño Marshall						
Características	% De asfalto	Especificaciones técnicas		Valores con el % óptimo		
				Muestra 1	Muestra 2	
Densidad	5.15	-----	-----	2.291	2.290	
% Vacíos	5.15	3	5	5.60	5.65	
R.B.V.	5.15	65	75	67.70	67.48	
V.A.M.	5.15			17.34	17.39	
Estabilidad (Lb)	5.15	>1800 Lb.(75 Golpes)		2635.19	2669.85	
Fluencia 1/100"	5.15	8	14	8.50	7.00	
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>		<b>5.15</b>				

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 61.** Resultados del análisis granulométrico después de la compactación de las mezclas asfálticas con 5% de partículas planas y alargadas.

5 % de planas y alargadas retenido 1/2"						
Granulometria de diseño antes de la compactación				Granulometria despues de la compactación		
Wbriqueta=1200.0 g				Muestra 1	Muestra 2	
94.85 % Agregado= 1138.2 g						
Fraccion de agregado		% Fraccion	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)	Peso parcial (g)	Peso parcial (g)
Pasa	Se retiene					
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293	11.000	12.000
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413	171.000	182.000
Irregulares		12.670	144.210			
Planas y alargadas		5.000	56.910			
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225	84.000	76.000
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011	226.000	234.000
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644	165.000	158.000
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200	445.000	434.000
Σ				1138.200	1102.000	1096.000
Asfalto		5.15%	61.800	61.800	61.800	61.800
Peso de la briqueta				Σ 1200.000	1163.800	1157.800
Valores obtenidos diseño Marshall						
Características	% De asfalto	Especificaciones técnicas		Valores con el % óptimo		
				Muestra 1	Muestra 2	
Densidad	5.15	-----	-----	2.311	2.298	
% Vacíos	5.15	<b>3</b>	<b>5</b>	4.76	5.32	
R.B.V.	5.15	<b>65</b>	<b>75</b>	71.32	68.87	
V.A.M.	5.15			16.61	17.10	
Estabilidad (Lb)	5.15	>1800 Lb.(75 Golpes)		2608.30	2597.70	
Fluencia 1/100"	5.15	<b>8</b>	<b>14</b>	10.50	12.00	
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>		<b>5.15</b>				

Fuente: Elaboración propia.



**Tabla 62.** Resultados del análisis granulométrico después de la compactación de las mezclas asfálticas con 10% de partículas planas y alargadas.

10 % de planas y alargadas retenido 1/2"						
Granulometria de diseño antes de la compactación					Granulometria despues de la compactación	
Wbriqueta=1200.0 g					Muestra 1	Muestra 2
94.85 % Agregado= 1138.2 g						
Fraccion de agregado		% Fraccion	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)	Peso parcial (g)	Peso parcial (g)
Pasa	Se retiene					
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293	12.000	11.000
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413	107.000	116.000
Irregulares		7.670	87.300			
Planas y alargadas		10.000	113.820			
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225	135.000	125.000
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011	255.000	268.000
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644	160.000	154.000
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200	432.000	435.000
				∑	1138.200	1101.000
Asfalto		5.15%	61.800	61.800	61.800	61.800
Peso de la briqueta				∑	1200.000	1162.800
<b>Valores obtenidos diseño Marshall</b>						
Características	% De asfalto	Especificaciones técnicas		Valores con el % óptimo		
				Muestra 1	Muestra 2	
Densidad	5.15	-----	-----	2.329	2.323	
% Vacíos	5.15	<b>3</b>	<b>5</b>	4.04	4.27	
R.B.V.	5.15	<b>65</b>	<b>75</b>	74.69	73.61	
V.A.M.	5.15			15.98	16.17	
Estabilidad (Lb)	5.15	>1800 Lb.(75 Golpes)		2488.66	2562.66	
Fluencia 1/100"	5.15	<b>8</b>	<b>14</b>	14.00	13.50	
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>		<b>5.15</b>				

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 63.** Resultados del análisis granulométrico después de la compactación de las mezclas asfálticas con 15% de partículas planas y alargadas.

15 % de planas y alargadas retenido 1/2"						
Granulometria de diseño antes de la compactación				Granulometria despues de la compactación		
Wbriqueta=1200.0 g				Muestra 1	Muestra 2	
94.85 % Agregado= 1138.2 g						
Fraccion de agregado		% Fraccion	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)	Peso parcial (g)	Peso parcial (g)
Pasa	Se retiene					
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293	12.000	12.000
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413	112.000	102.000
Irregulares		2.670	30.390			
Planas y alargadas		15.000	170.730			
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225	142.000	134.000
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011	267.000	256.000
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644	159.000	164.000
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200	436.000	438.000
Σ				1138.200	1128.000	1106.000
Asfalto		5.15%	61.800	61.800	61.800	61.800
Peso de la briqueta				Σ 1200.000	1189.800	1167.800
Valores obtenidos diseño Marshall						
Características	% De asfalto	Especificaciones técnicas		Valores con el % óptimo		
				Muestra 1	Muestra 2	
Densidad	5.15	-----	-----	2.334	2.333	
% Vacíos	5.15	<b>3</b>	<b>5</b>	3.82	3.87	
R.B.V.	5.15	<b>65</b>	<b>75</b>	75.82	75.55	
V.A.M.	5.15			15.78	15.83	
Estabilidad (Lb)	5.15	>1800 Lb.(75 Golpes)		2159.20	2084.45	
Fluencia 1/100"	5.15	<b>8</b>	<b>14</b>	14.00	15.00	
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>		<b>5.15</b>				

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 64.** Resultados del análisis granulométrico después de la compactación de las mezclas asfálticas con 21% de partículas planas y alargadas.

21 % de planas y alargadas retenido 1/2", 3/8"						
Granulometria de diseño antes de la compactación				Granulometria despues de la compactación		
Wbriqueta=1200.0 g				Muestra 1	Muestra 2	
94.85 % Agregado= 1138.2 g						
Fraccion de agregado		% Fraccion	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)	Peso parcial (g)	Peso parcial (g)
Pasa	Se retiene					
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293	11.000	12.000
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413	97.000	89.000
Irregulares		0.000	0.000			
Planas y alargadas		17.670	201.120			
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225	111.000	119.000
Irregulares		5.000	56.910			
Planas y alargadas		3.330	37.902			
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011	283.000	289.000
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644	166.000	172.000
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200	438.000	433.000
				∑	1138.200	1106.000
Asfalto		5.15%	61.800	61.800	61.800	61.800
Peso de la briqueta				∑	1200.000	1167.800
Valores obtenidos diseño Marshall						
Características	% De asfalto	Especificaciones técnicas		Valores con el % óptimo		
				Muestra 1	Muestra 2	
Densidad	5.15	-----	-----	2.344	2.339	
% Vacíos	5.15	<b>3</b>	<b>5</b>	3.43	3.63	
R.B.V.	5.15	<b>65</b>	<b>75</b>	77.77	76.77	
V.A.M.	5.15			15.44	15.61	
Estabilidad (Lb)	5.15	>1800 Lb.(75 Golpes)		2028.76	2188.80	
Fluencia 1/100"	5.15	<b>8</b>	<b>14</b>	16.00	14.50	
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>		<b>5.15</b>				

Fuente: Elaboración propia.

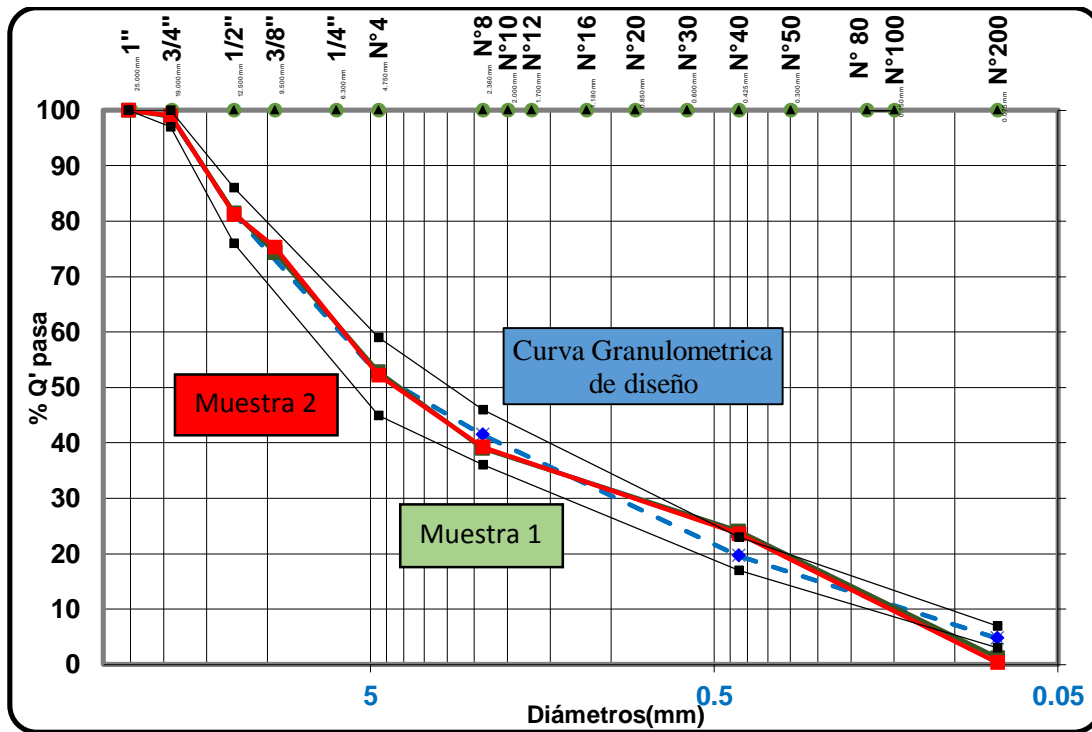
**Tabla 65.** Resultados del análisis granulométrico después de la compactación de las mezclas asfálticas con 27.1% de partículas planas y alargadas.

27.1 % de planas y alargadas retenido 3/4", 1/2", 3/8"						
Granulometria de diseño antes de la compactación					Granulometria despues de la compactación	
Wbriqueta=1200.0 g					Muestra 1	Muestra 2
94.85 % Agregado= 1138.2 g						
Fraccion de agregado		% Fraccion	Peso parcial (g)	Peso acumulado (g)	Peso parcial (g)	Peso parcial (g)
Pasa	Se retiene					
1"	3/4"	1.080	12.293	12.293	12.000	11.000
Irregulares		0.000	0.000			
Planas y alargadas		1.080	12.293			
3/4"	1/2"	17.670	201.120	213.413	51.000	62.000
Irregulares		0.000	0.000			
Planas y alargadas		17.670	201.120			
1/2"	3/8"	8.330	94.812	308.225	112.000	102.000
Irregulares		0.000	0.000			
Planas y alargadas		8.330	94.812			
3/8"	N°4	20.540	233.786	542.011	327.000	332.000
N°4	N°8	10.950	124.633	666.644	168.000	172.000
Pasa N°8		41.430	471.556	1138.200	437.000	432.000
Σ				1138.200	1107.000	1111.000
Asfalto		5.15%	61.800	61.800	61.800	61.800
Peso de la briqueta				Σ 1200.000	1168.800	1172.800
Valores obtenidos diseño Marshall						
Características	% De asfalto	Especificaciones técnicas		Valores con el % óptimo		
				Muestra 1	Muestra 2	
Densidad	5.15	-----	-----	2.350	2.347	
% Vacíos	5.15	<b>3</b>	<b>5</b>	3.16	3.30	
R.B.V.	5.15	<b>65</b>	<b>75</b>	79.24	78.45	
V.A.M.	5.15			15.20	15.33	
Estabilidad (Lb)	5.15	>1800 Lb.(75 Golpes)		1866.49	1972.32	
Fluencia 1/100"	5.15	<b>8</b>	<b>14</b>	18.00	16.50	
<b>% Óptimo de asfalto propuesto</b>		<b>5.15</b>				

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2.5 Gráficos de la granulometría después de la compactación de las mezclas con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas.

**Figura 21.** Granulometría después de la compactación de las mezclas con 0% de partículas planas y alargadas.

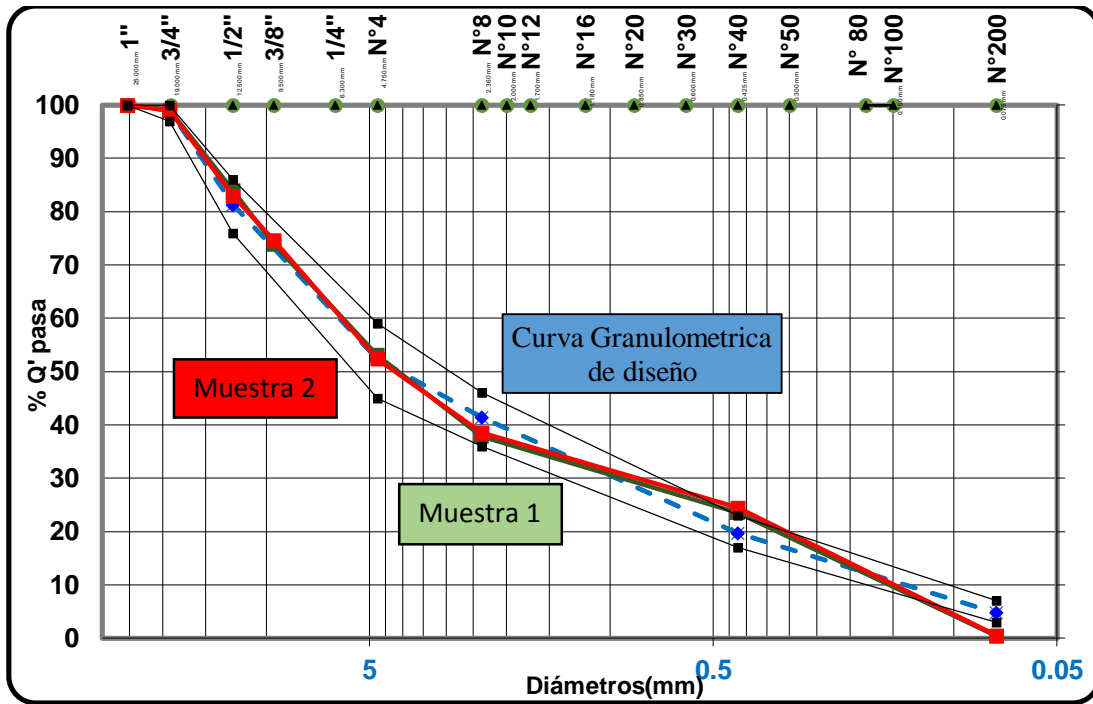


Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la anterior imagen **figura 21.**, la línea punteada de color azul es la que corresponde a la granulometría de diseño del material usado para la presente investigación, las líneas paralelas a esta de color negro corresponden a la franja granulométrica de la faja C según especificación de gradación media **tabla13.**, la otra línea de color rojo corresponde a la granulometría de la muestra dos y la línea de color verde corresponde a la granulometría de la muestra 1 estos después de la compactación y la rotura en el Marshall.

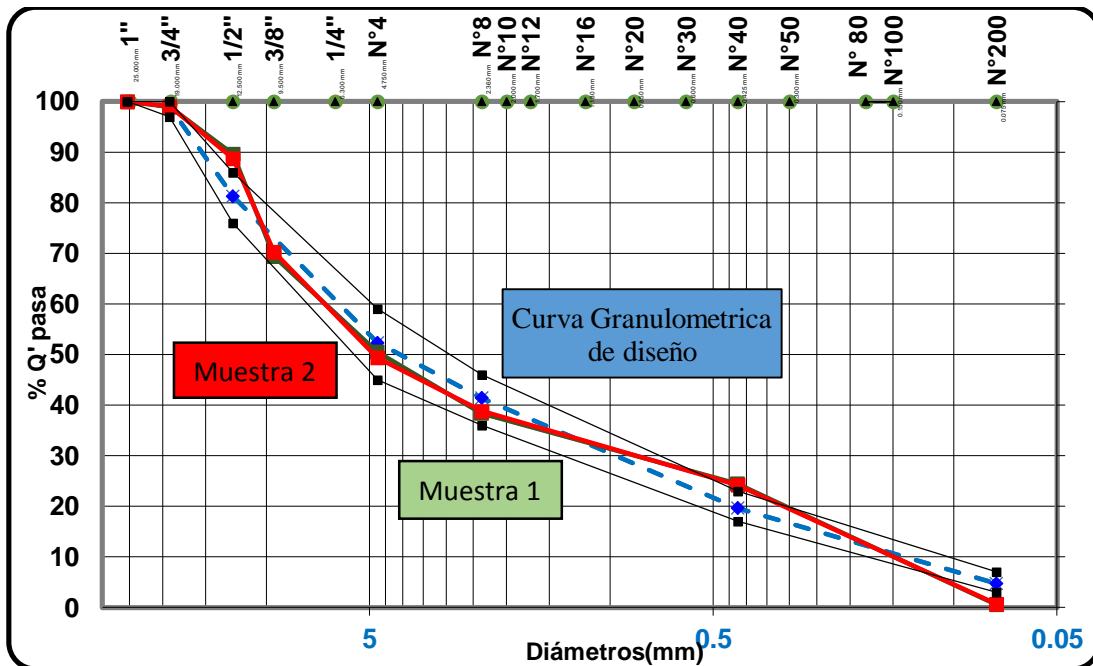
A continuación se presentan las diferentes granulometrías de las muestras después de la compactación y su rotura en el Marshall con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas en el agregado grueso.

Figura 22. Granulometría después de la compactación de las mezclas con 5% de partículas planas y alargadas.



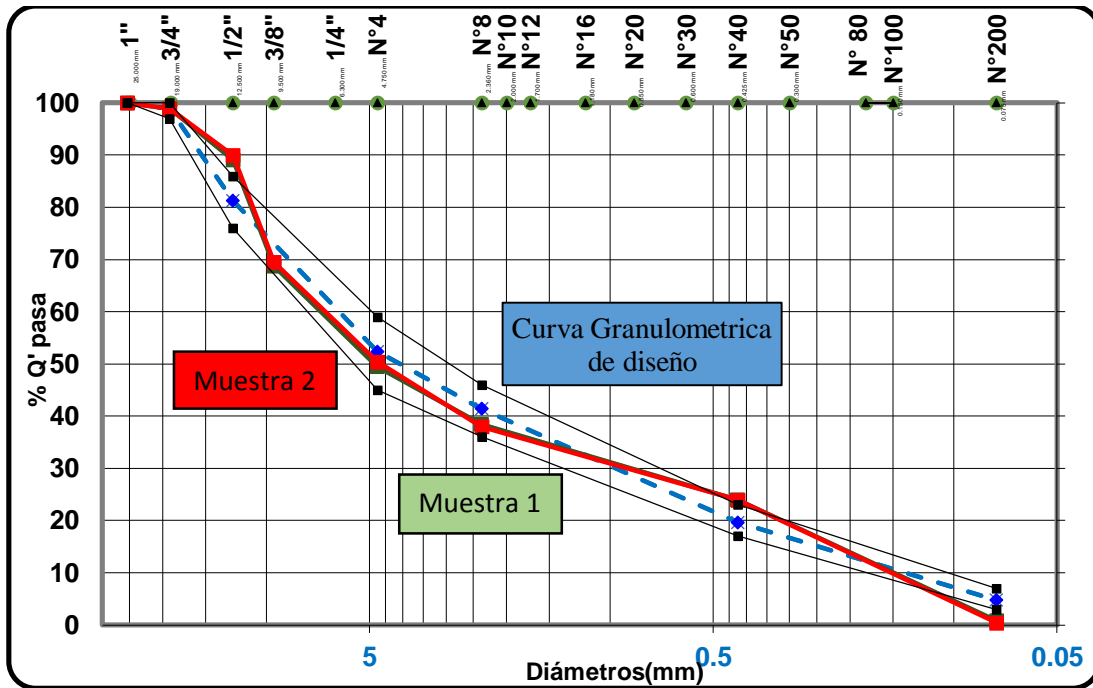
Fuente: Elaboración propia.

Figura 23. Granulometría después de la compactación de las mezclas con 10% de partículas planas y alargadas.



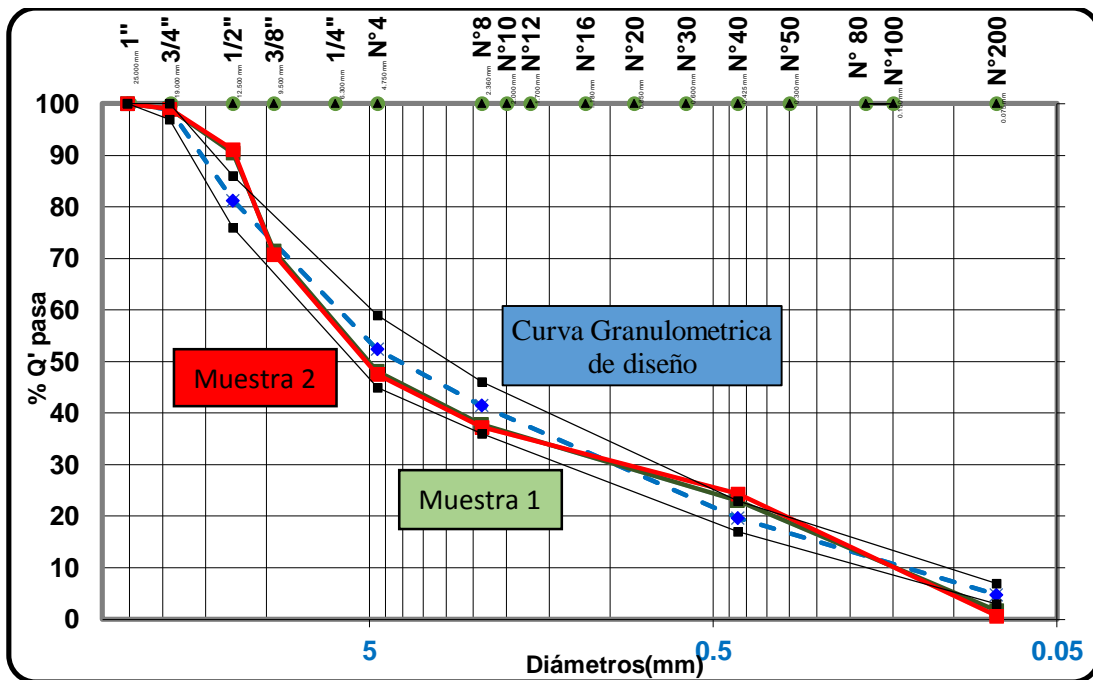
Fuente: Elaboración propia.

Figura 24. Granulometría después de la compactación de las mezclas con 15% de partículas planas y alargadas.



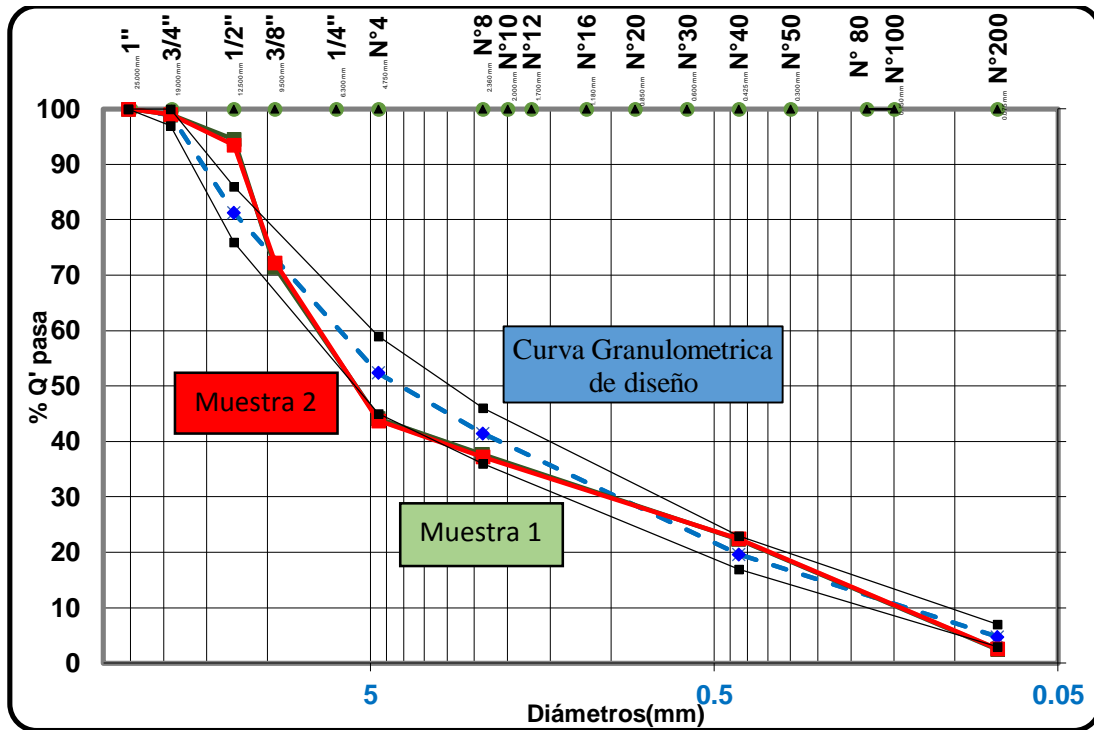
Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Granulometría después de la compactación de las mezclas con 21% de partículas planas y alargadas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Granulometría después de la compactación de las mezclas con 27.1% de partículas planas y alargadas.



Fuente: Elaboración propia.



## 4.2 ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

### 4.2.1 Resumen de resultados de las mezclas.

**Tabla 66.** Resumen de resultados de las características de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas en el agregado grueso.

Mezclas asfálticas							
% De planas y alargadas	Características						
	% Óptimo de C.A.	Densidad (Gr/cm <sup>3</sup> )	% Vacíos (%)	% R.B.V. (%)	% V.A.M. (%)	Estabilidad (Lb)	Fluencia 1/100''
0	5.15	2.294	5.484	68.187	17.239	2623.273	8.000
3	5.15	2.297	5.345	68.773	17.117	2582.766	9.500
5	5.15	2.306	4.976	70.370	16.794	2573.164	11.800
7.2	5.15	2.317	4.530	72.400	16.400	2553.000	12.200
10	5.15	2.320	4.413	72.929	16.301	2486.752	12.360
12	5.15	2.323	4.278	73.563	16.183	2386.160	12.440
15	5.15	2.325	4.212	73.879	16.125	2132.804	13.000
18	5.15	2.332	3.928	75.258	15.876	2094.734	13.200
21	5.15	2.333	3.874	75.525	15.829	2059.492	13.800
24	5.15	2.335	3.795	75.919	15.760	1988.744	15.160
27.1	5.15	2.346	3.339	78.262	15.361	1896.268	16.120

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.2.2 Análisis estadístico.

Una vez determinado las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas, se realizan 15 briquetas de cada mezcla con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para realizar un tratamiento estadístico y verificar la confiabilidad de los resultados.

#### 4.2.2.1. Estadística descriptiva

**Tabla 67.** Resultados de la mezcla asfáltica con 0% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

% Optimo de Asfalto	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	Densidad (Grs/cm3)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.15	2594.859	8.000	2.299	5.263	17.045	69.124
5.15	2714.629	7.000	2.288	5.727	17.451	67.184
5.15	2556.406	9.000	2.290	5.632	17.368	67.575
5.15	2693.290	7.000	2.318	4.484	16.363	72.598
5.15	2553.846	9.000	2.274	6.316	17.967	64.848
5.15	2571.053	8.500	2.297	5.373	17.142	68.654
5.15	2666.153	7.000	2.324	4.247	16.156	73.712
5.15	2626.766	7.000	2.299	5.266	17.048	69.110
5.15	2644.321	9.500	2.305	5.024	16.836	70.161
5.15	2601.581	9.000	2.290	5.626	17.363	67.598
5.15	2486.047	9.500	2.290	5.632	17.368	67.575
5.15	2666.153	8.000	2.301	5.177	16.970	69.492
5.15	2546.383	10.000	2.305	5.042	16.852	70.079
5.15	2553.846	9.000	2.287	5.772	17.491	66.999
5.15	2594.859	8.500	2.297	5.337	17.110	68.810

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 68.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 0% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Variable	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
Estabilidad (Lb)	2604.70	63.20	2486.00	2594.90	2714.60	2553.85 2594.86 2666.15	2.00
Fluencia (1/100)	8.40	1.02	7.00	8.50	10.00	7, 9	4.00
Densidad (gr/cm3)	2.30	0.01	2.27	2.30	2.32	2.29	2.00
% Vacios (%)	5.33	0.51	4.25	5.34	6.32	5.63	2.00
% V.A.M. (%)	17.10	0.45	16.16	17.11	17.97	17.37	2.00
% R.B.V. (%)	68.90	2.21	64.85	68.81	73.71	67.58	2.00

**Fuente:** Programa Minitab - Elaboración propia.

**Tabla 69.** Resultados de la mezcla asfáltica con 3% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

% Optimo de Asfalto	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	Densidad (Grs/cm3)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.15	2584.684	9.000	2.328	4.085	16.014	74.489
5.15	2621.748	8.000	2.300	5.246	17.030	69.196
5.15	2543.053	12.000	2.253	7.152	18.699	61.753
5.15	2584.374	8.500	2.296	5.409	17.173	68.504
5.15	2573.643	10.000	2.310	4.834	16.669	71.003
5.15	2560.445	10.000	2.327	4.123	16.047	74.307
5.15	2621.748	8.500	2.301	5.173	16.966	69.512
5.15	2591.035	9.000	2.255	7.081	18.637	62.005
5.15	2536.515	12.000	2.293	5.518	17.269	68.044
5.15	2621.748	8.000	2.309	4.871	16.702	70.838
5.15	2608.463	8.500	2.329	4.029	15.965	74.764
5.15	2549.590	12.000	2.297	5.356	17.127	68.727
5.15	2591.035	9.000	2.281	6.009	17.699	66.048
5.15	2608.303	8.000	2.293	5.518	17.269	68.044
5.15	2573.783	9.500	2.311	4.760	16.604	71.336

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 70.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 3% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Variable	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
<b>Estabilidad (Lb)</b>	2584.70	28.60	2536.50	2584.70	2621.70	2621.75	3.00
<b>Fluencia (1/100)</b>	9.47	1.46	8.00	9.00	12.00	8.00 8.50 9.00 12.00	3.00
<b>Densidad (gr/cm3)</b>	2.30	0.02	2.25	2.30	2.33	2.29	2.00
<b>% Vacios (%)</b>	5.28	0.94	4.03	5.25	7.15	5.52	2.00
<b>% V.A.M. (%)</b>	17.06	0.82	15.97	17.03	18.70	17.27	2.00
<b>% R.B.V. (%)</b>	69.24	3.93	61.75	69.20	74.76	68.04	2.00

**Fuente:** Programa Minitab - Elaboración propia.

**Tabla 71.** Resultados de la mezcla asfáltica con 5% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

% Optimo de Asfalto	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	Densidad (Grs/cm3)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.15	2544.965	13.000	2.313	4.708	16.559	71.569
5.15	2571.053	12.500	2.296	5.377	17.145	68.638
5.15	2663.008	10.000	2.313	4.683	16.538	71.681
5.15	2645.801	9.500	2.313	4.699	16.552	71.608
5.15	2440.798	14.000	2.296	5.412	17.176	68.489
5.15	2569.202	12.500	2.310	4.820	16.657	71.066
5.15	2594.859	10.500	2.292	5.561	17.306	67.866
5.15	2663.008	9.500	2.315	4.628	16.489	71.935
5.15	2501.485	13.500	2.308	4.886	16.715	70.770
5.15	2584.374	12.000	2.298	5.302	17.080	68.956
5.15	2520.727	13.500	2.313	4.708	16.559	71.569
5.15	2594.859	10.500	2.294	5.488	17.242	68.173
5.15	2639.017	9.500	2.311	4.776	16.619	71.261
5.15	2597.696	12.000	2.309	4.849	16.682	70.936
5.15	2536.515	12.500	2.299	5.284	17.063	69.035

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 72.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 5% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Variable	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
<b>Estabilidad (Lb)</b>	2577.80	62.50	2440.80	2584.40	2663.00	2594.86 2663.01	2.00
<b>Fluencia (1/100)</b>	11.67	1.60	9.50	12.00	14.00	9.50 12.50	3.00
<b>Densidad (gr/cm3)</b>	2.31	0.01	2.29	2.31	2.31	2.31	2.00
<b>% Vacios (%)</b>	5.01	0.34	4.63	4.85	5.56	4.71	2.00
<b>% V.A.M. (%)</b>	16.83	0.30	16.49	16.68	17.31	16.56	2.00
<b>% R.B.V. (%)</b>	70.24	1.50	67.87	70.94	71.94	71.57	2.00

**Fuente:** Programa Minitab - Elaboración propia.

**Tabla 73.** Resultados de la mezcla asfáltica con 7.2% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

% Optimo de Asfalto	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	Densidad (Grs/cm3)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.15	2657.642	11.614	2.358	3.842	15.918	78.949
5.15	2648.959	11.024	2.374	4.190	15.347	74.734
5.15	2770.629	10.236	2.370	3.351	15.488	73.771
5.15	2479.282	12.205	2.369	3.408	15.538	73.435
5.15	2275.695	12.205	2.370	3.337	15.476	73.854
5.15	2520.727	11.811	2.353	4.066	16.114	79.716
5.15	2411.749	11.220	2.357	3.905	15.973	70.598
5.15	2639.510	10.630	2.367	3.464	15.587	73.111
5.15	2709.448	11.811	2.379	3.994	15.176	75.931
5.15	2700.074	12.205	2.357	3.899	15.968	70.634
5.15	2681.868	11.417	2.362	3.700	15.794	71.747
5.15	2544.965	11.811	2.357	3.885	15.956	70.708
5.15	2731.466	12.598	2.366	3.519	15.635	72.787
5.15	2757.554	11.811	2.358	3.863	14.936	70.834
5.15	2639.634	11.220	2.354	4.811	16.766	70.014

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 74.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 7.2% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Variable	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
Estabilidad (Lb)	2611.30	139.20	2275.70	2649.00	2770.60	*	0.00
Fluencia (1/100)	11.59	0.64	10.24	11.81	12.60	11.81	4.00
Densidad (gr/cm3)	2.36	0.01	2.35	2.36	2.38	*	0.00
% Vacios (%)	3.82	0.39	3.34	3.86	4.81	*	0.00
% V.A.M. (%)	15.71	0.44	14.94	15.64	16.77	*	0.00
% R.B.V. (%)	73.39	2.97	70.01	73.11	79.72	*	0.00

**Fuente:** Programa Minitab - Elaboración propia.

**Tabla 75.** Resultados de la mezcla asfáltica con 10% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

<b>% Optimo de Asfalto</b>	<b>Estabilidad (Libras)</b>	<b>Flujo (1/100 plg)</b>	<b>Densidad (Grs/cm3)</b>	<b>% Vacios (%)</b>	<b>% V.A.M. (%)</b>	<b>% R.B.V. (%)</b>
5.15	2523.440	11.800	2.322	4.331	16.230	73.312
5.15	2357.168	14.000	2.300	5.233	17.019	69.251
5.15	2611.017	10.000	2.322	4.334	16.232	73.301
5.15	2472.381	13.500	2.333	3.881	15.835	75.493
5.15	2469.414	12.500	2.323	4.285	16.189	73.533
5.15	2571.053	10.000	2.321	4.350	16.246	73.223
5.15	2525.537	11.500	2.299	5.270	17.051	69.093
5.15	2369.256	14.000	2.324	4.240	16.149	73.747
5.15	2472.251	12.000	2.331	3.956	15.901	75.120
5.15	2516.903	10.500	2.326	4.153	16.073	74.162
5.15	2475.828	12.600	2.317	4.538	16.410	72.348
5.15	2453.379	13.000	2.308	4.901	16.729	70.701
5.15	2635.193	10.500	2.321	4.352	16.248	73.212
5.15	2375.300	14.000	2.332	3.900	15.851	75.400
5.15	2493.159	11.000	2.325	4.303	16.205	73.444

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 76.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 10% de planas y alargadas en el agregado grueso.

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Mediana</b>	<b>Máximo</b>	<b>Modo</b>	<b>N para moda</b>
<b>Estabilidad (Lb)</b>	2488.10	81.60	2357.20	2475.80	2635.20	*	0.00
<b>Fluencia (1/100)</b>	12.06	1.45	10.00	12.00	14.00	14.00	3.00
<b>Densidad (gr/cm3)</b>	2.32	0.01	2.30	2.32	2.33	*	0.00
<b>% Vacios (%)</b>	4.40	0.43	3.88	4.33	5.27	*	0.00
<b>% V.A.M. (%)</b>	16.29	0.38	15.84	16.23	17.05	*	0.00
<b>% R.B.V. (%)</b>	73.02	1.97	69.09	73.31	75.49	*	0.00

**Fuente:** Programa Minitab - Elaboración propia.

**Tabla 77.** Resultados de la mezcla asfáltica con 12% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

% Optimo de Asfalto	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	Densidad (Grs/cm3)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.15	2326.825	13.000	2.323	4.293	16.196	73.491
5.15	2453.379	11.700	2.326	4.157	16.077	74.142
5.15	2375.300	12.500	2.319	4.452	16.335	72.745
5.15	2507.899	11.500	2.323	4.277	16.182	73.568
5.15	2260.957	13.500	2.325	4.211	16.124	73.882
5.15	2496.489	11.000	2.319	4.444	16.328	72.785
5.15	2357.168	12.000	2.327	4.100	16.027	74.416
5.15	2472.251	11.600	2.317	4.527	16.401	72.397
5.15	2266.755	13.000	2.325	4.202	16.116	73.927
5.15	2309.063	12.500	2.324	4.230	16.141	73.792
5.15	2375.450	12.600	2.332	3.897	15.849	75.412
5.15	2501.485	10.000	2.318	4.477	16.357	72.627
5.15	2496.489	11.500	2.324	4.245	16.154	73.720
5.15	2314.983	13.600	2.310	4.838	16.673	70.982
5.15	2453.379	12.500	2.331	3.965	15.909	75.076

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 78.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 12% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Variable	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
Estabilidad (Lb)	2397.90	89.60	2261.00	2375.50	2507.90	2453.38 2496.49	2.00
Fluencia (1/100)	12.17	0.97	10.00	12.50	13.60	12.50	3.00
Densidad (gr/cm3)	2.32	0.01	2.31	2.32	2.33	*	0.00
% Vacios (%)	4.29	0.24	3.90	4.25	4.84	*	0.00
% V.A.M. (%)	16.19	0.21	15.85	16.15	16.67	*	0.00
% R.B.V. (%)	73.53	1.11	70.98	73.72	75.41	*	0.00

**Fuente:** Programa Minitab - Elaboración propia.

**Tabla 79.** Resultados de la mezcla asfáltica con 15% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

% Optimo de Asfalto	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	Densidad (Grs/cm3)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.15	2140.694	14.000	2.331	3.813	15.776	75.830
5.15	2181.398	11.500	2.334	3.813	15.776	75.830
5.15	2033.998	15.000	2.329	4.035	15.970	74.735
5.15	2205.786	10.000	2.328	4.078	16.007	74.527
5.15	2097.954	14.500	2.298	5.321	17.096	73.875
5.15	2164.746	13.000	2.336	3.737	15.709	76.210
5.15	2157.160	14.000	2.337	3.699	15.676	76.403
5.15	2177.574	12.500	2.330	3.978	15.920	75.012
5.15	2108.685	15.000	2.326	4.153	16.073	74.163
5.15	2194.411	11.600	2.323	4.273	16.178	73.590
5.15	2068.535	14.000	2.325	4.210	16.123	73.891
5.15	2108.685	13.600	2.339	3.699	15.676	76.403
5.15	2129.716	13.000	2.332	3.902	15.854	75.385
5.15	2205.636	12.000	2.338	3.680	15.659	76.498
5.15	2170.297	12.600	2.308	4.901	16.728	72.703

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 80.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 15% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Variable	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
Estabilidad (Lb)	2143.00	51.10	2034.00	2157.20	2205.80	2108.68	2.00
Fluencia (1/100)	13.09	1.42	10.00	13.00	15.00	14.00	3.00
Densidad (gr/cm3)	2.33	0.01	2.30	2.33	2.34	*	0.00
% Vacios (%)	4.09	0.47	3.68	3.98	5.32	3.70	2.00
% V.A.M. (%)	16.02	0.41	15.66	15.92	17.10	15.68	2.00
% R.B.V. (%)	75.00	1.19	72.70	75.01	76.50	76.40	2.00

**Fuente:** Programa Minitab - Elaboración propia.



**Tabla 81.** Resultados de la mezcla asfáltica con 18% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

% Optimo de Asfalto	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	Densidad (Grs/cm3)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.15	2033.998	15.000	2.304	5.062	16.869	69.992
5.15	2157.160	12.000	2.339	3.620	15.607	76.803
5.15	2079.143	13.000	2.336	3.729	15.702	76.250
5.15	2177.574	11.000	2.319	4.465	16.346	72.687
5.15	2020.430	15.000	2.357	2.900	14.977	78.634
5.15	2177.684	11.500	2.325	5.007	16.821	70.236
5.15	2181.398	12.600	2.341	3.544	15.540	77.194
5.15	2103.319	14.000	2.337	3.691	15.669	76.442
5.15	2057.928	15.000	2.332	3.900	15.852	75.399
5.15	2140.694	13.000	2.358	2.862	14.942	78.850
5.15	2153.645	12.000	2.324	5.081	16.886	69.911
5.15	2205.636	11.500	2.341	3.563	15.557	77.096
5.15	2054.967	15.000	2.339	3.634	15.619	76.731
5.15	2129.716	12.500	2.333	3.881	15.835	75.493
5.15	2092.588	14.600	2.355	2.978	15.044	78.205

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 82.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 18% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Variable	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
Estabilidad (Lb)	2066.00	78.30	1952.10	2052.60	2205.60	*	0.00
Fluencia (1/100)	13.18	1.46	11.00	13.00	15.00	15.00	4.00
Densidad (gr/cm3)	2.34	0.01	2.30	2.34	2.36	*	0.00
% Vacios (%)	3.86	0.74	2.86	3.69	5.08	*	0.00
% V.A.M. (%)	15.82	0.65	14.94	15.67	16.89	*	0.00
% R.B.V. (%)	75.33	3.11	69.91	76.44	78.85	*	0.00

**Fuente:** Programa Minitab - Elaboración propia.

**Tabla 83.** Resultados de la mezcla asfáltica con 21% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

% Optimo de Asfalto	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	Densidad (Grs/cm3)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.15	1982.439	16.500	2.336	3.762	15.731	76.087
5.15	2076.491	12.500	2.328	4.080	16.009	74.516
5.15	2205.636	11.000	2.329	4.040	15.974	74.709
5.15	2010.069	15.000	2.342	3.498	15.500	77.432
5.15	2023.514	14.000	2.330	3.991	15.932	74.948
5.15	2175.848	12.000	2.337	3.724	15.697	76.278
5.15	2052.624	14.500	2.329	4.042	15.976	74.699
5.15	2035.972	16.000	2.332	3.927	15.875	75.265
5.15	2177.574	11.000	2.340	3.574	15.567	77.039
5.15	2071.126	14.000	2.331	3.953	15.899	75.133
5.15	2006.615	14.600	2.333	3.856	15.814	75.614
5.15	2004.888	13.000	2.334	3.816	15.778	75.815
5.15	2157.160	11.500	2.336	3.737	15.709	76.211
5.15	2057.928	12.600	2.353	3.057	15.114	79.771
5.15	1952.095	16.000	2.340	3.575	15.567	77.036

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 84.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 21% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Variable	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
Estabilidad (Lb)	2066.00	78.30	1952.10	2052.60	2205.60	*	0.00
Fluencia (1/100)	13.61	1.83	11.00	14.00	16.50	11 14 16	2.00
Densidad (gr/cm3)	2.34	0.01	2.33	2.33	2.35	*	0.00
% Vacios (%)	3.78	0.27	3.06	3.82	4.08	*	0.00
% V.A.M. (%)	15.74	0.24	15.11	15.78	16.01	*	0.00
% R.B.V. (%)	76.04	1.38	74.52	75.82	79.77	*	0.00

**Fuente:** Programa Minitab - Elaboración propia.

**Tabla 85.** Resultados de la mezcla asfáltica con 24% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

% Optimo de Asfalto	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	Densidad (Grs/cm3)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.15	1985.409	15.500	2.325	3.198	16.112	73.948
5.15	1975.902	16.800	2.341	3.554	15.549	77.143
5.15	1986.139	14.600	2.343	3.452	15.460	77.671
5.15	1938.137	17.500	2.340	3.591	15.581	76.953
5.15	1981.679	14.500	2.325	3.198	16.113	73.945
5.15	1961.773	16.800	2.326	3.160	16.080	74.128
5.15	1975.902	15.600	2.342	3.516	15.516	77.339
5.15	1962.210	17.000	2.344	3.414	15.426	79.910
5.15	1985.409	14.500	2.346	3.553	15.548	77.148
5.15	1958.088	15.500	2.324	3.235	16.146	73.767
5.15	1938.137	17.000	2.321	3.347	16.243	73.237
5.15	1999.708	15.500	2.337	3.705	15.681	76.371
5.15	1962.210	16.000	2.345	3.604	15.593	76.885
5.15	2009.045	12.600	2.336	3.743	15.714	76.182
5.15	2005.271	14.000	2.320	3.273	16.178	73.590

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 86.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 24% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Variable	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
Estabilidad (Lb)	1975.00	21.70	1938.10	1975.90	2009.00	1938.14 1962.21 1975.90	2.00
Fluencia (1/100)	15.56	1.35	12.60	15.50	17.50	15.50	3.00
Densidad (gr/cm3)	2.33	0.01	2.32	2.34	2.35	*	0.00
% Vacios (%)	3.44	0.19	3.16	3.45	3.74	*	0.00
% V.A.M. (%)	15.80	0.31	15.43	15.68	16.24	*	0.00
% R.B.V. (%)	75.88	1.97	73.24	76.37	79.91	*	0.00

**Fuente:** Programa Minitab - Elaboración propia.

**Tabla 87.** Resultados de la mezcla asfáltica con 27.1% de planas y alargadas en el agregado grueso para realizar el análisis estadístico.

% Optimo de Asfalto	Estabilidad (Libras)	Flujo (1/100 plg)	Densidad (Grs/cm3)	% Vacios (%)	% V.A.M. (%)	% R.B.V. (%)
5.15	1957.153	14.500	2.345	3.394	15.409	77.971
5.15	1909.911	16.000	2.347	3.295	15.322	78.493
5.15	1799.330	18.000	2.339	3.613	15.600	76.843
5.15	1923.294	15.500	2.350	3.165	15.208	79.191
5.15	1890.545	16.600	2.349	3.229	15.264	78.847
5.15	1933.285	15.500	2.344	3.433	15.443	77.771
5.15	1934.087	16.000	2.348	3.257	15.289	78.697
5.15	1823.321	17.600	2.340	3.574	15.567	77.038
5.15	1947.038	15.000	2.350	3.165	15.208	79.191
5.15	1914.783	17.000	2.342	3.306	15.331	78.439
5.15	1813.946	18.000	2.338	3.623	15.609	76.788
5.15	1885.735	17.600	2.343	3.448	15.456	77.689
5.15	1919.285	15.000	2.336	3.764	15.733	76.073
5.15	1875.805	16.000	2.346	3.356	15.376	78.172
5.15	1987.496	14.600	2.356	2.920	14.994	79.524

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 88.** Estadística descriptiva para la mezcla asfáltica con 27.1% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Variable	Media	Desv. Est.	Mínimo	Mediana	Máximo	Modo	N para moda
<b>Estabilidad (Lb)</b>	1901.00	54.10	1799.30	1914.80	1987.50	*	0.00
<b>Fluencia (1/100)</b>	16.19	1.21	14.50	16.00	18.00	16.00	3.00
<b>Densidad (gr/cm3)</b>	2.34	0.01	2.34	2.34	2.36	2.35	2.00
<b>% Vacios (%)</b>	3.37	0.22	2.92	3.36	3.76	3.16	2.00
<b>% V.A.M. (%)</b>	15.39	0.19	14.99	15.38	15.73	15.21	2.00
<b>% R.B.V. (%)</b>	78.05	1.01	76.07	78.17	79.52	79.19	2.00

**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 0% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 0%	15	2604.70	63.20	16.30	2576.00

Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2623.27$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2623.27$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 0%	-1.14	0.86

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 %0 de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.1.2 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 3% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 3%	15	2584.68	28.58	7.38	2571.68

**Prueba:**

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2582.77$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2582.77$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 3%	0.26	0.40

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 planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.1.3 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 5% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 5%	15	2577.80	62.50	16.10	2549.40

**Prueba:**

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu = 2573.16$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu > 2573.16$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 5%	0.29	0.39

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 5% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.1.4 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 7.2% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 7.2%	15	2611.30	139.20	35.90	2548.00

**Prueba:**

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu = 2553.00$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu > 2553.00$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 7.2%	1.62	0.06

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 7.2% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.1.5 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 10% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 10%	15	2488.10	81.60	21.10	2451.00

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2486.75$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2486.75$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 10%	0.06	0.48

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 10% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.1.6 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 12% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 12%	15	2397.90	89.60	23.10	2357.10

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2386.16$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2386.16$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 12%	0.51	0.31



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 12% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.1.7 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 15% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 15%	15	2143.00	51.10	13.20	2119.80

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 2132.80$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 2132.80$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 15%	0.77	0.23

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 15% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.1.8 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 18% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 18%	15	2117.70	59.00	15.20	2090.90

**Prueba:**

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu = 2094.73$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu > 2094.73$

<b>Muestra</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>
<b>Planas y alargadas 18%</b>	1.51	0.08

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 18% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.1.9 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 21% de planas y alargadas en el agregado grueso.

<b>Muestra</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Error estándar de la media</b>	<b>Límite inferior de 95% para <math>\mu</math></b>
<b>Planas y alargadas 21%</b>	15	2066.00	78.30	20.20	2030.40

**Prueba:**

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu = 2059.49$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu > 2059.49$

<b>Muestra</b>	<b>Valor T</b>	<b>Valor p</b>
<b>Planas y alargadas 21%</b>	0.32	0.38

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 21% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.1.10 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 24% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 24%	15	1975.00	21.68	5.60	1965.14

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 1988.74$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 1988.74$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 24%	-2.45	0.99

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 24% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.1.11 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 27.1% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 27.1%	15	1901.00	54.10	14.00	1876.40

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 1896.27$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 1896.27$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 27.1%	0.34	0.37

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 27.1% de planas y alargadas en el agregado grueso, 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 0% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 0%	15	8.40	1.02	0.26	7.94

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 8.00$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 8.00$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 0%	1.52	0.08

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 0% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

##### 4.2.2.2.2.2 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 3% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 3%	15	9.47	1.46	0.38	8.80

**Prueba:**

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu = 9.50$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu > 9.50$

Muestra	Valor T	Valor p
<b>Planas y alargadas 3%</b>	-0.09	0.54

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 planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.3 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 5% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
<b>Planas y alargadas 5%</b>	15	11.67	1.60	0.41	10.94

**Prueba:**

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu = 11.80$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu > 11.80$

Muestra	Valor T	Valor p
<b>Planas y alargadas 5%</b>	-0.32	0.62

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 5% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.4 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 7.2% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 7.2%	15	11.59	0.64	0.17	11.30

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 12.20$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 12.20$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 7.2%	-3.71	0.99

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 7.2% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.5 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 10% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 10%	15	12.06	1.45	0.38	11.40

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 12.36$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 12.36$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 10%	-0.80	0.78

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 10% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.6 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 12% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 12%	15	12.17	0.97	0.25	11.72

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 12.44$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 12.44$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 12%	-1.09	0.85

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 12% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.7 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 15% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 15%	15	13.09	1.42	0.37	12.44

**Prueba:**

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu = 13.00$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu > 13.00$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 15%	0.24	0.41

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 15% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.8 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 18% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 18%	15	13.18	1.46	0.38	12.51

**Prueba:**

<b>Hipótesis nula</b>	$H_0: \mu = 13.20$
<b>Hipótesis alterna</b>	$H_1: \mu > 13.20$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 18%	-0.05	0.52

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 18% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.



#### 4.2.2.2.9 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 21% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 21%	15	13.61	1.83	0.47	12.78

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 13.80$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 13.80$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 21%	-0.39	0.65

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 21% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.10 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 24% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 24%	15	15.56	1.35	0.35	14.95

#### Prueba:

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 15.16$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 15.16$

Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 24%	1.15	0.14

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 24% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.2.2.2.11 Análisis estadístico para las mezclas asfálticas con 27.1% de planas y alargadas en el agregado grueso.

Muestra	N	Media	Desv. Est.	Error estándar de la media	Límite inferior de 95% para $\mu$
Planas y alargadas 27.1%	15	16.19	1.21	0.31	15.64

#### Prueba:

Hipotesis nula	$H_0: \mu = 16.12$
Hipotesis alterna	$H_1: \mu > 16.12$

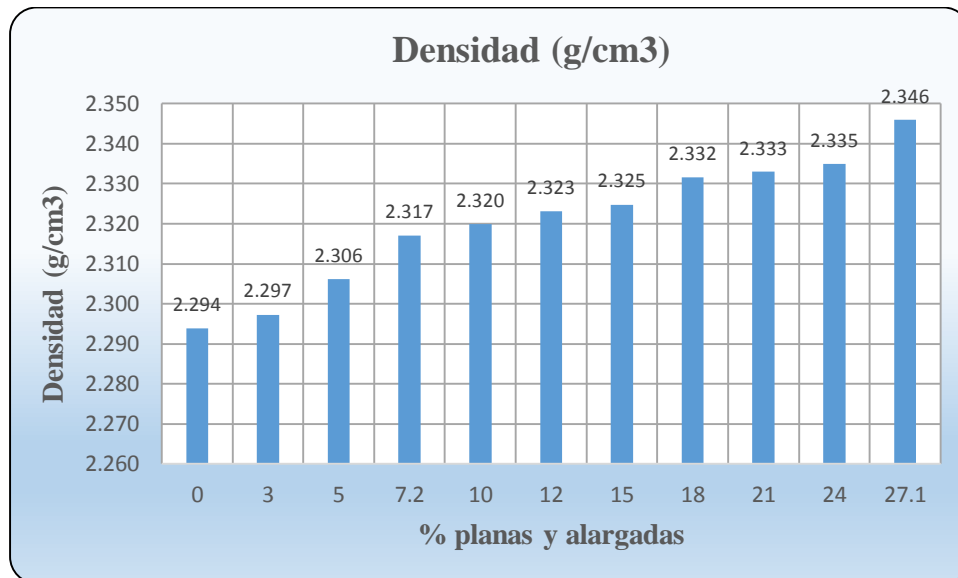
Muestra	Valor T	Valor p
Planas y alargadas 27.1%	0.23	0.41

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 27.1% de planas y alargadas en el agregado grueso, con un nivel de confianza del 95%.

### 4.3 EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

#### 4.3.1 Evaluación de la densidad de las mezclas asfálticas.

**Figura 27.** Evaluación de la densidad de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas en el agregado grueso.



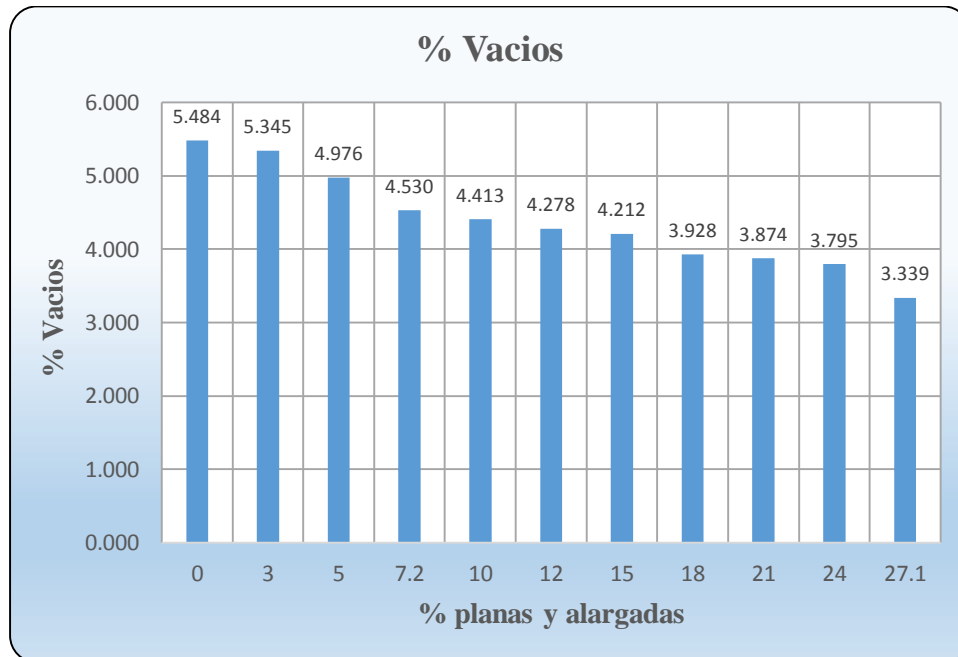
**Fuente:** Elaboración propia.

En la **figura 27**. Se puede observar que a medida que va aumentando el porcentaje de partículas planas y alargadas en la mezcla asfáltica se puede ver que va aumentando la densidad, esto se debe a que las partículas planas y alargadas se fracturan al momento de la compactación, haciendo que haiga menos porcentajes de vacíos y una mezcla mas densa.

Se puede notar también que la densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: preferiblemente menos del 8 por ciento.

### 4.3.2 Evaluación del % de vacíos de las mezclas asfálticas.

**Figura 28.** Evaluación del % de vacíos en las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas en el agregado grueso.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la **figura 28.** se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de partículas planas y alargadas en la mezcla asfáltica el porcentaje de vacíos va disminuyendo, esto se debe a que las partículas planas y alargadas se rompen o fracturan al momento de la compactación cambiando la granulometría, esto hace que la mezcla se vuelva más densa.

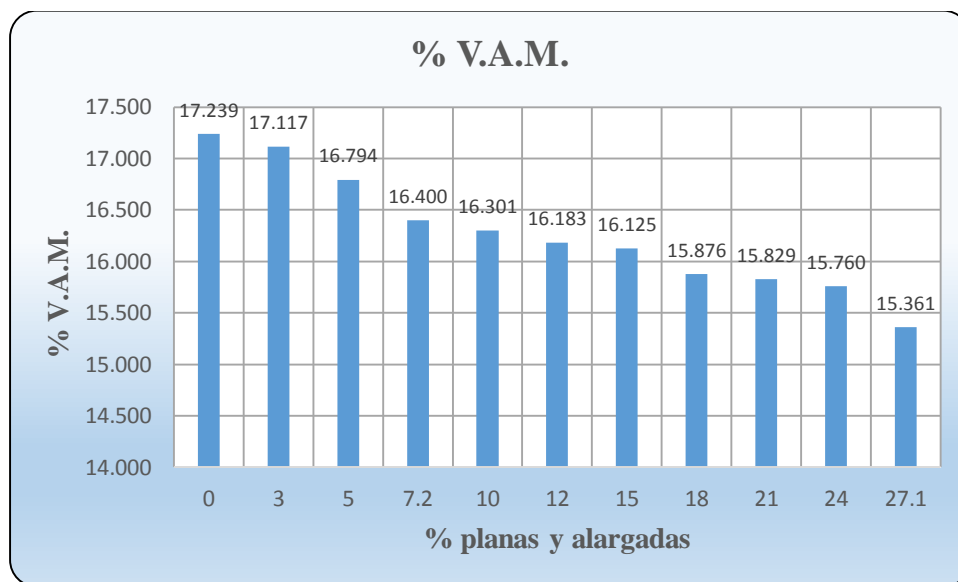
Es necesario que todas las mezclas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro como

endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie causando desintegración en el pavimento asfáltico.

#### 4.3.3 Evaluación del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%V.A.M.).

**Figura 29.** Evaluación del porcentaje de vacíos en el agregado mineral (% V.A.M.) de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas en el agregado grueso.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la **figura 29.** se observa que a medida que se va aumentando el porcentaje de partículas planas y alargadas en la mezcla asfáltica, se puede ver que el V.A.M. va disminuyendo, esto se debe a que las partículas planas y alargadas se rompen al momento de la compactación, haciendo que la mezcla se vuelva más densa y a su vez con menos porcentajes de vacíos de agregado mineral, los cuales son espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

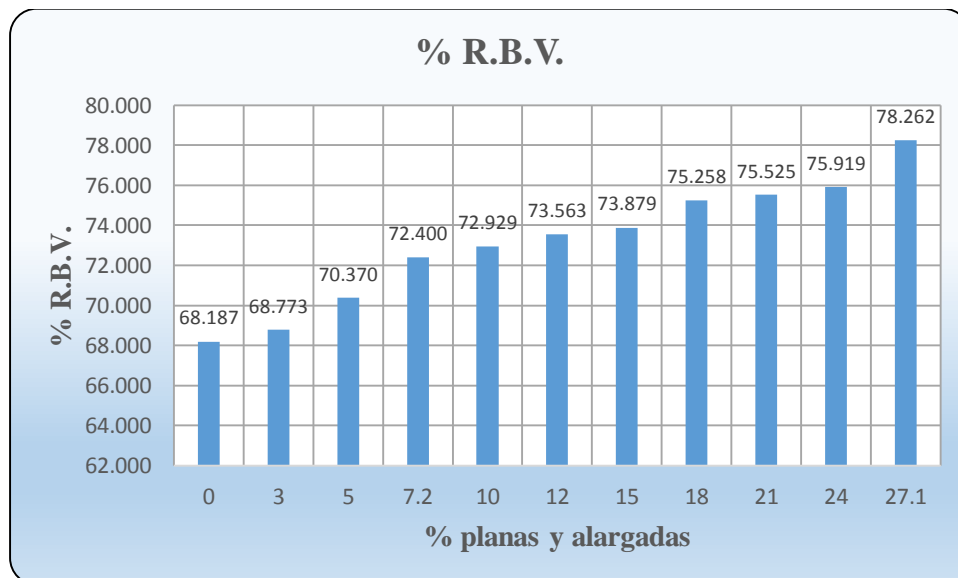
Sin embargo cuando mayor sea el V.A.M. más espacio habrá disponible para las películas de asfalto, entonces habrá aumento en la densidad de la graduación del

agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca.

Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto.

#### 4.3.4 Evaluación del porcentaje de vacíos llenos de asfalto (% R.B.V.).

**Figura 30.** Evaluación del porcentaje de vacíos llenos de asfalto (% R.B.V.) de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas en el agregado grueso.



**Fuente:** Elaboración propia.

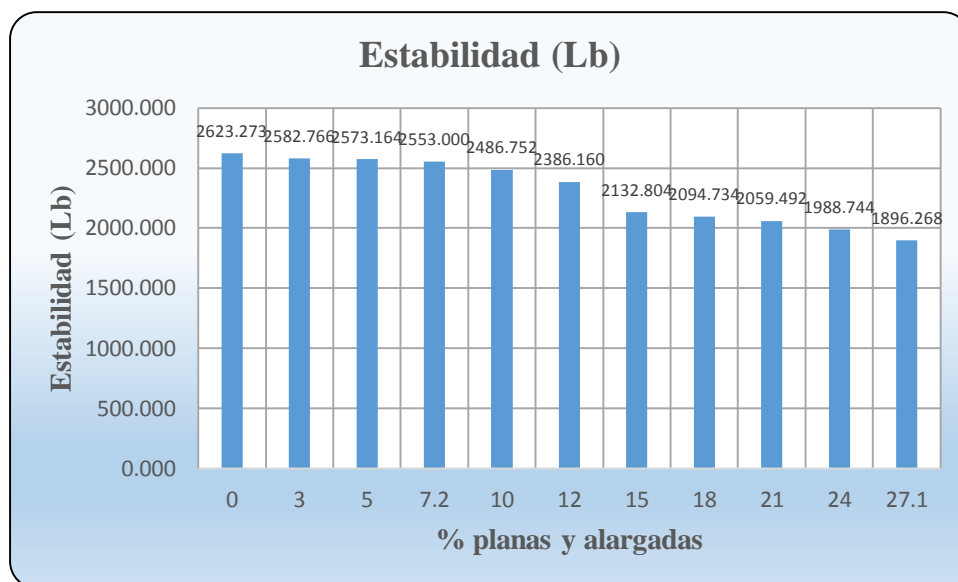
En la **figura 30.** se observa que a medida que se va aumentando el porcentaje de partículas planas y alargadas en la mezcla asfáltica, se puede ver que el R.B.V. va aumentando, esto se debe a que las partículas planas y alargadas se rompen al momento de la compactación, haciendo que la mezcla se vuelva más densa y a su vez con menos porcentajes de vacíos de agregado mineral.

Se puede notar también que el porcentaje de V.A.M. y el porcentaje de R.B.V. están directamente relacionados. Entre más bajo el V.A.M. mayor es el porcentaje de R.B.V. en la mezcla, y viceversa. Se puede ver que a menor porcentaje de vacíos de agregado

mineral hay un mayor porcentaje de vacíos llenos de asfalto es decir hay un exceso de asfalto en la mezcla que puede producir exudación, poca resistencia al deslizamiento del pavimento asfaltico.

#### 4.3.5 Evaluación de la estabilidad de las mezclas asfálticas.

**Figura 31.** Evaluación de la estabilidad de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas en el agregado grueso.



**Fuente:** Elaboración propia.

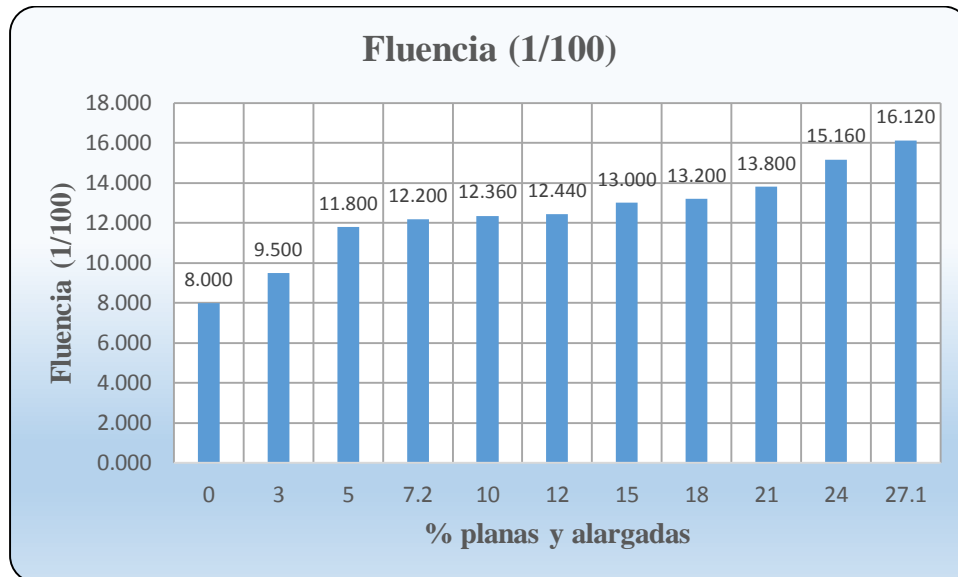
En la **figura 31.** se observa que a medida que se va aumentando el porcentaje de partículas planas y alargadas en la mezcla asfáltica, se puede ver que la estabilidad va disminuyendo, esto se debe a que las partículas planas y alargadas se rompen al momento de la compactación, haciendo que la mezcla se vuelva más inestable esto debido a que la mezcla se vuelve más compacta haciendo que haiga menos porcentajes de vacíos y por consecuencia exceso de asfalto provocando ondulaciones, ahuellamientos y afloramiento o exudación en el pavimento asfaltico.

Sin embargo a medida que se va disminuyendo los porcentajes de partículas planas y alargadas en la mezcla, la estabilidad va aumentando dando valores muy altos de estabilidad que pueden producir un pavimento demasiado rígido y por lo tanto, menos

durable que lo deseado, como endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración en el pavimento asfáltico.

#### 4.3.6 Evaluación de la fluencia de las mezclas asfálticas.

**Figura 32.** Evaluación de la fluencia de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de planas y alargadas en el agregado grueso.



**Fuente:** Elaboración propia.

En la **figura 32.** se observa que a medida que se va aumentando el porcentaje de partículas planas y alargadas en la mezcla asfáltica, se puede ver que la fluencia va aumentando, esto se debe a que las partículas planas y alargadas se rompen al momento de la compactación, haciendo que la mezcla se vuelva más inestable y se deforme con facilidad.

Se puede notar también que la fluencia y la estabilidad están directamente relacionados, entre más alta la fluencia menor la estabilidad en la mezcla, y viceversa.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tiene tendencia a deformarse bajo las cargas del tránsito.



#### 4.4 ANÁLISIS DE PRECIOS DE PRODUCCIÓN PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA.

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 analizara el precio de producción para la mezcla asfáltica patrón.

**Tabla 89.** Dosificación para la mezcla asfáltica normal.

Dosificación de la mezcla asfáltica normal	
Materiales	Porcentaje
Grava de 3/4"	28.456 %
Gravilla de 3/8"	18.971 %
Arena triturada	47.427 %
Cemento asfáltico	5.15 %

**Fuente:** Elaboración propia.

El peso unitario estandarizado para el cálculo de dosificaciones = 2250 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 90.** Dosificación para 1 m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica normal.

Dosificación para un metro cúbico				
Materiales	Peso (kg)	Peso esp. (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Unidad
Grava de 3/4"	640.26	2639	0.243	m <sup>3</sup>
Gravilla de 3/8"	426.85	2639	0.162	m <sup>3</sup>
Arena triturada	1067.11	2619	0.407	m <sup>3</sup>
Cemento asfáltico	115.88	1005		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 91.** Precio de producción para 1 m<sup>3</sup> de la mezcla asfáltica normal.

Análisis de precios unitarios					
Proyecto:	“Evaluación de efectos de partículas planas y alargadas en mezcla asfáltica con cemento convencional”				
Actividad :	Carpeta de concreto asfáltico normal con 7.2% de planas y alargadas				
Cantidad :	1		Fecha:	09/11/2018	
Unidad :	m <sup>3</sup>		Moneda .	Bs	
Descripcion		Unidad	Cantidad o Rendimiento	Precio unitario	Costo total
<b>1 Materiales</b>					
1	Grava 3/4"	m <sup>3</sup>	0.243	100.00	24.26
2	Gravilla 3/8"	m <sup>3</sup>	0.162	115.00	18.60
3	Arena triturada	m <sup>3</sup>	0.407	125.00	50.93
4	Cemento asfáltico	kg	115.88	9.70	1123.99
5	Gas natural	mill	0.08	16	1.28
6	Diesel	lt	1.56	3.7	5.77
Total Materiales					1224.83
<b>2 Mano de Obra</b>					
1	Operador de planta asfáltica	hr	0.02	25.00	0.50
2	Operador de pala cargadora	hr	0.064	20.00	1.28
3	Laboratorista de asfalto	hr	0.82	20.00	16.40
Cargas Sociales 55% del sub total M. O.					10.00
Impuestos IVA M.O. = 14,94% (del Sub Total de M. O. + Cargas					12.72
Total Mano de Obra					40.89
<b>3 Equipo, Maquinaria y Herramientas</b>					
1	Planta asafáltica	hr	0.035	4500.00	157.50
2	Pala cargadora	hr	0.028	450.00	12.60
3	Laboratorio de asfalto	hr	0.028	350.00	9.80
Herramientas Menores 5 % de la mano de obra					2.04
Total Eq, Maq. y Herr.					181.94
<b>4 Gastos Generales y Administrativos</b>					
Gastos Generales 10% (1+2+3)					144.77
<b>5 Utilidad</b>					
Utilidad 10% (1+2+3+4)					159.24
<b>6 Impuestos</b>					
Impuestos I. T. 3,09% (1+2+3+4+5)					54.13
Total precio unitario (Bs)					1805.81

Fuente: Elaboración propia.

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

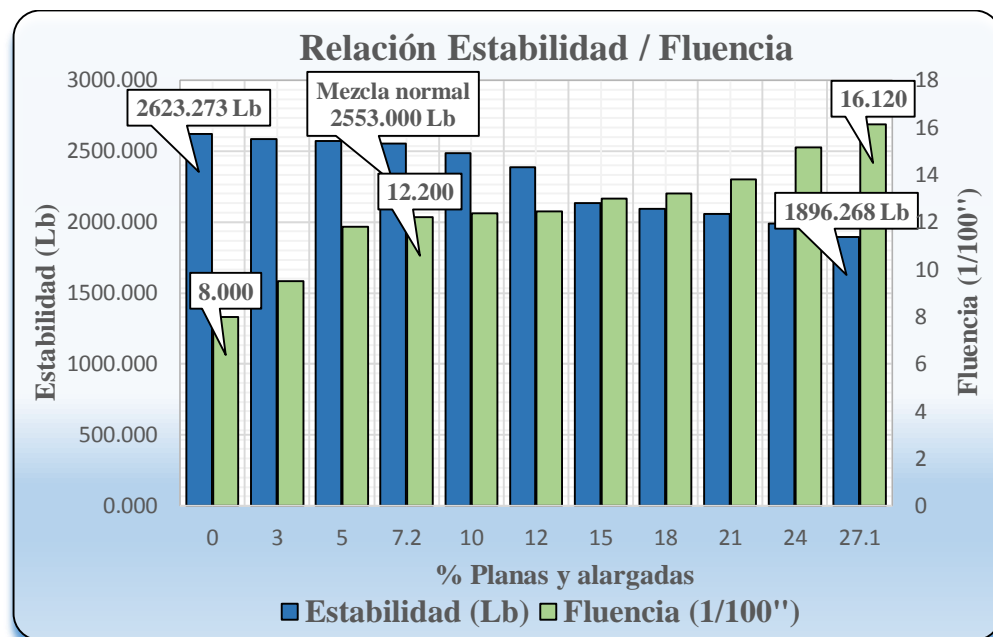
## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1 CONCLUSIONES.

De acuerdo con el trabajo de investigación correspondiente a la evaluación de efectos de partículas planas y alargadas en la mezcla asfáltica con cemento convencional y en base a los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones.

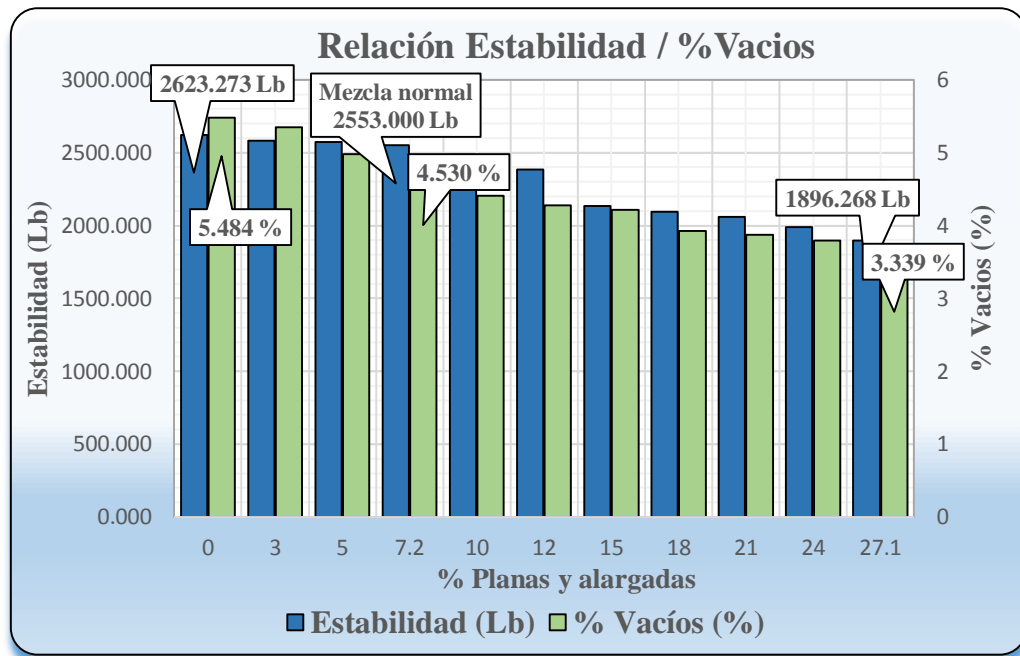
- Se realizó con normalidad los diferentes ensayos de caracterización de los agregados pétreos, donde se pudo verificar que los mismos cumplen con las especificaciones de las normas AASHTO y ASTM para el diseño patrón de mezcla asfáltica.
- La mayor estabilidad la presentó la muestra que tiene un 0 % de partículas planas y alargadas en el agregado grueso cuyo valor es 2623.27 Lb. con respecto a la estabilidad de la mezcla normal con valor de 2553.000 Lb. Sin embargo la muestra que presentó la menor estabilidad tiene un 27.1 % de partículas planas y alargadas que comprende el total del agregado grueso, cuyo valor de estabilidad es 1896.27 Lb. Como se puede ver las partículas planas y alargadas según sus proporciones en el agregado grueso afectan significativamente a las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, esto debido a que durante la compactación y la rotura en el Marshall las partículas planas y alargadas se rompen cambiando por completo la granulometría y dando una mezcla inestable.
- Al aumentar el porcentaje de partículas planas y alargadas en el agregado grueso se observan variaciones significativas en la estabilidad y flujo, como podemos observar en la siguiente figura, donde se ve que a mayor cantidad de partículas planas y alargadas la estabilidad disminuye con respecto a la mezcla normal con contenido de 7.2% de partículas planas y alargadas, sin embargo a medida que la estabilidad baja el flujo sube de manera paulatina llegando a un valor de 16.12 de fluencia cuyo contenido de partículas planas y alargadas es

27.1% que comprende el total del agregado grueso, el cual presenta una fluencia que esta fuera del rango permitido entre 8 y 14 de fluencia según el método Marshall establecido en ASTM D 1559, con lo que se concluye que si se aumentara el % de partículas planas y alargadas en el agregado grueso de la mezcla, la fluencia aumentaría volviendo a la mezcla más inestable provocando ondulaciones y ahuellamientos en el pavimento asfáltico.



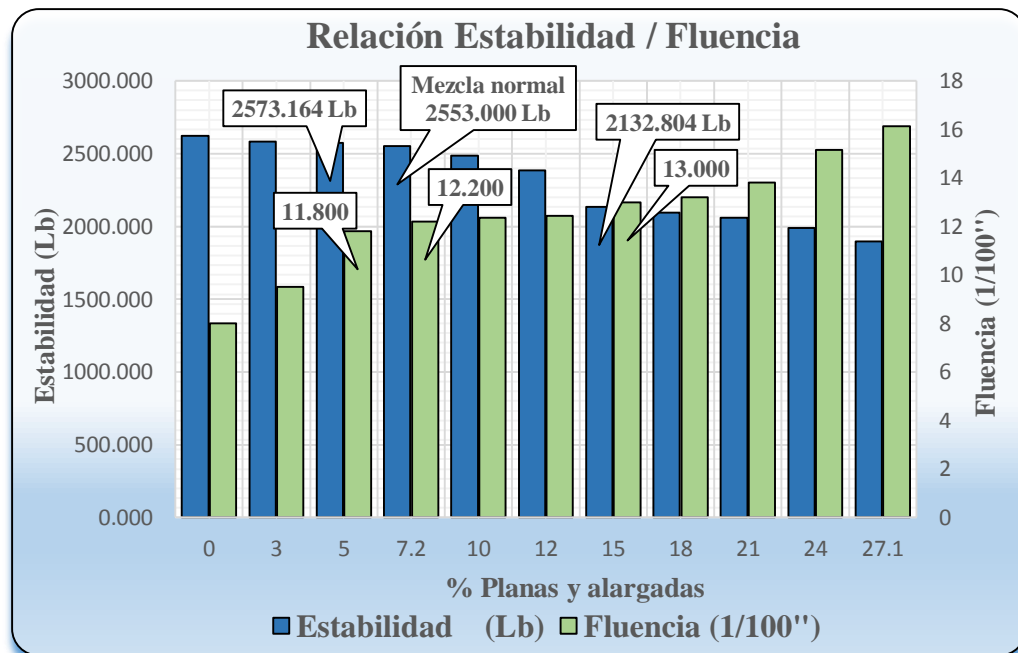
- Con base en los resultados obtenidos se concluye, que a medida que se va aumentando el porcentaje de partículas planas y alargadas en el agregado grueso se puede ver que el porcentaje de vacíos va disminuyendo significativamente hasta un valor de 3.34% con 27.1 % de planas y alargadas esto con respecto a la mezcla normal con 4.53 % de vacíos y 7.2 % de partículas planas y alargadas, sin embargo también se ve que disminuye la estabilidad hasta un valor de 1896.268 Lb, como se puede ver en la siguiente figura. Con respecto a lo anterior se afirma que a menor estabilidad es menor el porcentaje de vacíos, esto debido a que las partículas planas y alargadas se rompen durante la compactación de la mezcla y su rotura en el Marshall cambiando la

granulometría de diseño, ocasionando bajos contenidos de vacíos que pueden eventualmente resultar en inestabilidad debido a flujo plástico o después de que el pavimento ha sido expuesto al tránsito por un periodo de tiempo ante la reorientación de las partículas y compactación adicional.



- Una vez que se obtuvieron los ensayos, se llegó a la conclusión de que si bien se obtuvieron estabilidades altas de 2623.273 Lb y 2582.766 Lb, cuando las mezclas tienen porcentajes bajos de 0% y 3% respectivamente de partículas planas y alargadas, estas sin embargo no cumplen con los porcentajes de vacíos teniendo como valores de 5.484 % y 5.345 % los cuales se encuentran fuera del rango permitido entre 3% y 5% según el método Marshall establecido en ASTM D-3203 para un tráfico alto, con lo que concluimos que para mezclas con porcentajes bajos de planas y alargadas se tienen estabilidades altas y a su vez porcentajes altos de vacíos en la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro como endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.

- Después de haber realizado los ensayos se pudo verificar que las mezclas asfálticas modificadas con un contenido entre 5% a 15% de partículas planas y alargadas en el agregado grueso presentan valores de estabilidad y fluencia que se encuentran dentro del rango permitido según el método Marshall establecido en ASTM D 1559 para un tráfico alto, esto debido a que se pudo verificar que entre este rango de 5% a 15% de partículas planas y alargadas la fluencia se mantiene en un promedio de 12.40, con respecto a la fluencia de la mezcla normal de 12.20 como se muestra en la figura, con lo que se concluye que con las características de los agregados en la mezcla de diseño se puede admitir hasta un 15% de partículas planas y alargadas en el agregado grueso, a pesar de que la norma indica hasta un máximo de 10% de partículas planas y alargadas según ASTM D 4791.



- Después de haber realizado el análisis granulométrico con porcentajes de planas y alargadas de 0%, 5%, 10%, 15%, 21%, 27.1%, se pudo observar que la granulometría de las muestras con contenido de partículas planas y alargadas en el agregado grueso, cambio por completo después de la compactación, esto

debido a que a mayor cantidad de partículas planas y alargadas estas tienden más fácilmente a romperse durante la compactación y cuando se realiza la rotura de la briqueta en el Marshall, cambiando por completo la granulometría de diseño y por lo tanto dando valores muy bajos de estabilidad y fluencias altas.

## 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.
- Antes de elaborar el diseño de una mezcla asfáltica se debe caracterizar bien los agregados gruesos según AASTHO y ASTM para poder ver su dureza y procedencia, ya que de estos depende la cantidad de partículas planas y alargadas que se produzca al momento de su producción en la chancadora, ya que si los agregados gruesos son de mala procedencia y dureza se tendrá un porcentaje elevado de las mismas dando como resultado mezclas inestables.
- Se recomienda tratar de evitar las partículas planas y alargadas en el agregado grueso o que se tengan como un máximo de 10 % en el agregado grueso según indica ASTM D-4791, esto antes de realizar una mezcla asfáltica, debido a que estas tienden a romperse durante su elaboración y compactación durante su colocado, cambiando por completo su granulometría de diseño y por lo tanto haciendo que disminuyan las propiedades mecánicas de la mezcla en la carpeta asfáltica.
- Se debe controlar a cada instante la temperatura de los agregados al momento de realizar la mezcla asfáltica, verificando que la temperatura sea la adecuada para realizar el mezclado y compactado, debido a que la temperatura influye en los valores de las propiedades de la mezcla asfáltica.



- Una vez terminada la compactación Marshall se recomienda esperar un tiempo en el cual el molde con la mezcla pueda enfriarse antes de ser desmoldado para no comprometer la integridad de la briqueta.
- Se sugiere controlar el tiempo y la temperatura del baño María antes de la rotura de la briqueta en el Marshall, debido a que si las briquetas pasan más tiempo de lo debido en el agua a temperaturas altas las briquetas se vuelven inestables, dando valores bajos de las estabilidades y valores altos de las fluencias.
- Se recomienda que para investigaciones futuras, el análisis desarrollado en la presente investigación, se evalúe, y sea tomado como referencia para la aplicación de mezclas asfálticas para tránsito liviano, dado que el alcance del presente proyecto fue estructurado para la implementación de mezclas asfálticas para tránsito pesado.

El aporte de esta investigación estimula la necesidad de seguir investigando más a detalle el comportamiento de las propiedades de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de partículas planas y alargadas en el agregado grueso con el fin de encontrar mejoras en las propiedades para así poder prolongar la vida útil de los pavimentos.