

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción

Las carreteras han sido durante décadas el principal medio de transporte terrestre y la vía fundamental para el desarrollo socio-económico de las regiones y países, y por esta razón se deben mantener las vías expeditas garantizando su durabilidad, seguridad y confort para los vehículos que circulan por estas carreteras.

En la capa asfáltica, 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.

En la presente investigación se hará el análisis de treinta briquetas que tendrán la misma dosificación empleando la misma granulometría y contenido de cemento asfáltico, De este modo se analizará las deformaciones causadas por 25- 50 y 75 ciclos de cargas cíclicas generadas y el desempeño que tienen los materiales granulares que componen la capa asfáltica mediante el análisis de Shakedown. En la literatura de referencia el término Shakedown ha sido usado para analizar las deformaciones de la capa asfáltica bajo cargas cíclicas que afectan estas cargas a los materiales granulares perdiendo resistencia.

Mediante este nuevo procedimiento del ensayo fénix se puede analizar el comportamiento de la capa asfáltica en presencia de cargas cíclicas, pues aunque el laboratorio no cuenta con el equipo necesario se puede realizar con el tornero los apoyos y generar cargas cíclicas con el equipo de CBR para el análisis del comportamiento de la mezcla asfáltica y de los materiales granulares que componen la mezcla asfáltica.

De esta manera lo podremos valorar como un indicador de la vida útil y el efecto en el rendimiento del pavimento a largo plazo de la capa asfáltica del pavimento, mejorando la calidad de los materiales para brindar principalmente seguridad y confort en las carreteras y garantizando un libre tránsito de movilizaciones y fácil acceso a las ciudades.

## **1.2. Justificación**

Analizar la deformación en las capas asfálticas que se presenta en pavimentos construidos con mezclas asfálticas y el material granular de la mezcla asfáltica está sometidas a la acción de las cargas cíclicas con el movimiento de tráfico.

El análisis de Shakedown indica que cuando se aplican cargas importantes sobre la capa asfáltica del pavimento los materiales granulares de la mezcla asfáltica comienzan al mismo tiempo a romperse e ir perdiendo resistencia en la capa asfáltica, generando deformación y caracterizándose por ofrecer, al retirarse la carga una deformación recilente, o caso contrario si las cargas de magnitud generan deformación permanente. Por lo tanto, la capa asfáltica debe ofrecer la suficiente capacidad para soportar los esfuerzos de tensión que se suceden tanto en la parte inferior como superior de la capa del pavimento.

El presente análisis trata de brindar un alternativa que permita analizar el comportamiento de la capa asfáltica de rodadura y de los materiales granulares que lo componen cuando están sujetas a cargas cíclicas en el pavimento.

## **1.3. Diseño teórico**

### **1.3.1. Planteamiento del problema**

#### **1.3.2. Situación problemática**

Los análisis de los pavimentos son vulnerables a problemas de fallas como la deformación, debido a varias causas y factores que no son tomados en cuenta al momento de diseñar una carretera.

Al ser carreteras de obras de ingeniería de mucho costo, requieren estar en buen estado para brindar seguridad a los vehículos que transitan por la vía.

El pavimento flexible de una carretera está sujeto a la acción continua del tráfico, por ello surgen nuevas técnicas de análisis como el de Shakedown para los materiales granulares de la capa asfáltica.

El analisis que originan las deformaciones que pueden tener las carreteras es cada vez de mayor importancia, pensando en el costo del mantenimiento y en la seguridad de los usuarios, por eso cualquier esfuerzo académico o ingenieril para abordar el tema es

importante y necesario en nuestro país, por ello debe considerarse la metodología de análisis ya estudiada en otro país y ponerla en consideración para las condiciones propias de nuestro país.

### **1.3.3. Problema**

¿A través del Shakedown es posible analizar la deformación generada por las cargas cíclicas y el efecto que generan en los materiales granulares que compone la mezcla asfáltica?

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Realizar el análisis Shakedown en los materiales granulares que compone la capa asfáltica para predecir el comportamiento que tienen estos dentro del pavimento flexible

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Recopilar bibliografías de los pavimentos y mezclas asfálticas.
- Realizar los ensayos de la caracterización del material granular y caracterización del cemento asfáltico mediante la norma ASTM Y AASHTO.
- Realizar la dosificación y elaboración de las mezclas asfálticas por el método Marshall.
- Determinar la dosificación óptima del cemento asfáltico.
- Realizar el análisis Shakedown en los materiales granulares de la capa asfáltica.
- Analizar el comportamiento de los materiales granulares que compone la mezcla asfáltica.

## **1.5. Hipótesis**

Si se podrá analizar la deformación generada en la capa asfáltica es posible verificar el efecto que causa en los materiales granulares.

## **1.6. Definición de variables independientes y dependientes**

### **Variable independiente:**

- Comportamiento del material granular en la capa asfáltica. (Y)

## **Variable dependiente:**

- Análisis del Shakedown (X)

$$Y = F(X)$$

## **1.7. Métodos, técnicas, medios y procedimientos**

### **1.7.1. Métodos**

El método que se utiliza en el presente estudio es inductivo y deductivo es decir en base a los documentos ya existentes sobre los procedimientos que se siguen para determinar las causas que originan las fallas de deformación en los pavimentos debido a condiciones insuficientes y carga excesiva.

El método inductivo, es aquel método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares, se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales: la observación de los hechos para su registro, la clasificación y estudio de los hechos y permite llegar a una generalización y la contrastación.

Método de dosificación de Marshall, utilizando el equipo determinaremos las características físicas de las mezclas y analizaremos los parámetros que definen el contenido de asfalto.

### **1.7.2. Técnicas**

La investigación experimental está integrada por un conjunto de actividades metódicas y técnicas que se realizan para recabar la información y datos necesarios sobre el tema a investigar y el problema a resolver. La investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular, su diferencia con los otros tipos de investigación es que el objetivo de estudio y su tratamiento dependen completamente del investigador, de las decisiones que tome para manejar el experimento. El experimento es una situación provocada por el investigador para introducir determinadas variables de estudio manipuladas por él para controlar el aumento o la disminución de las variables y el efecto en las conductas observadas.

### **1.7.3. Medios**

Para la realización de este estudio se utilizan la información de internet y de libros que contengan información sobre el tema.

Se consultan a ingenieros que tengan conocimiento de nuestro estudio para que nos puedan guiar en el desarrollo del mismo.

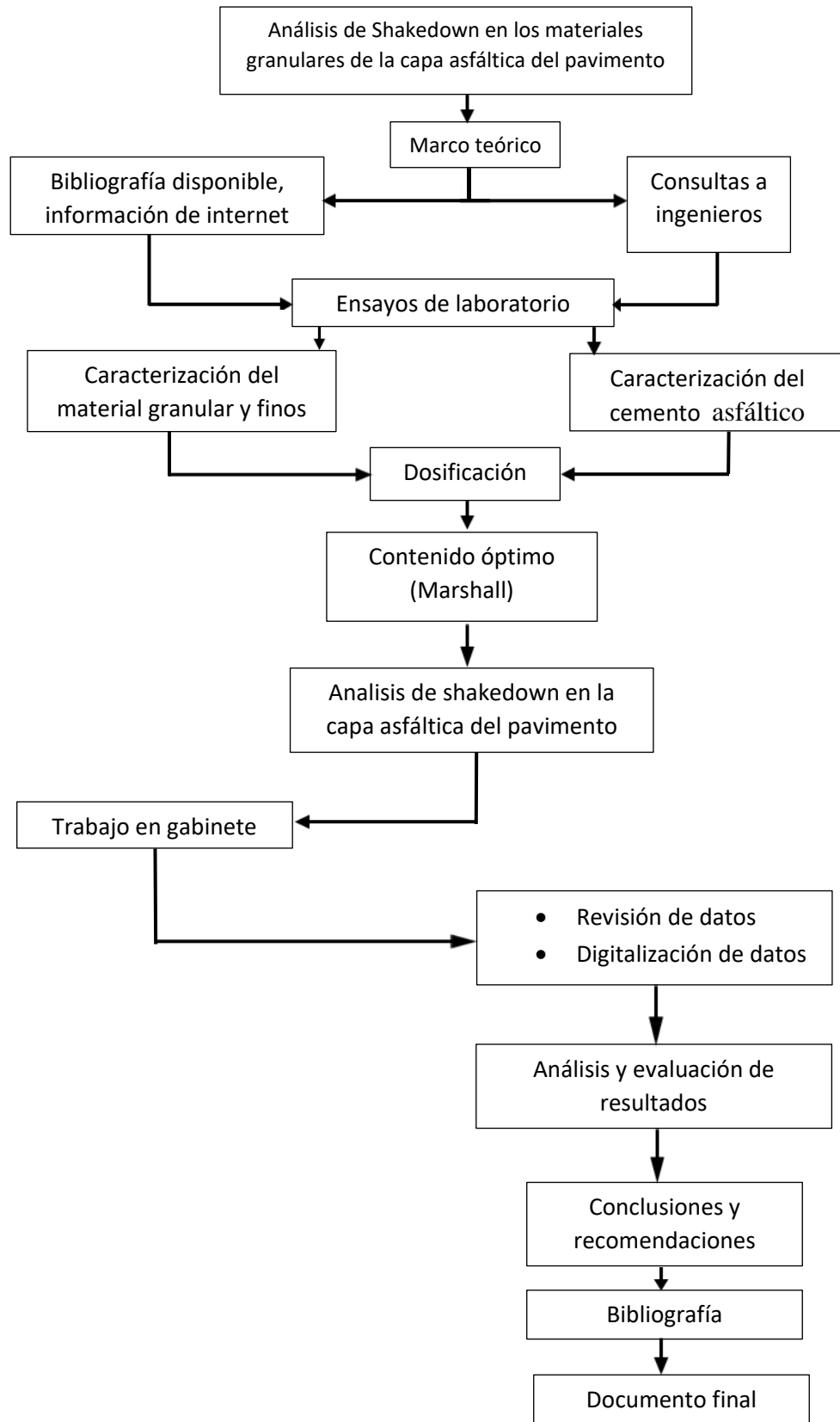
Se utilizara el laboratorio de asfaltos, suelos y hormigones para los ensayos correspondientes.

### **Procedimiento de aplicación**

La adquisición de la información es uno de los aspectos esenciales en este tipo de estudios, ya que permite ver de una manera clara y objetiva los problemas a solucionar. Para esto debe llevarse a cabo una planificación y programación de todo lo que se va hacer, teniendo en cuenta cuales datos se van a tomar, cuando, donde cómo se va analizar y para que se van a utilizar.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos de estudio se acude al empleo de técnicas de estudio e investigación como el instrumento para analizar, comparar y obtener resultados satisfactorios.

## 1.8. Diseño metodológico



Se realizará la caracterización del material granular y fino a utilizar, Los ensayos a realizar serán los siguientes: Granulometría, peso específico, desgaste de los Ángeles, equivalente de arena, partículas laminares, chatas y alargadas y caras fracturadas.

Caracterización del cemento asfáltico, con los siguientes ensayos: penetración, ductilidad, peso específico, punto de ablandamiento y punto de inflamación.

Dosificar la mezcla asfáltica del cual, se realizará un cálculo para obtener los porcentajes de cada elemento de la mezcla asfáltica, la cantidad de cemento asfáltico se obtendrá por el ensayo de contenido óptimo (Marshall).

Se estudia 30 muestras de mezcla asfáltica debidamente preparada y compactada, con las pruebas necesarias de laboratorio con el fin de analizar si cumple con los objetivos del trabajo

#### **1.8.1. Unidades de estudio**

La unidad de estudio en el presente trabajo es el pavimento flexible.

##### **1.8.1.2. Población**

La población en el presente trabajo deformaciones en los pavimentos flexibles, que se presenta cuando los pavimentos entran en contacto con la acción de las cargas cíclicas en movimiento.

##### **1.8.1.3. Muestra**

La muestra de estudio en el presente trabajo es la deformación de la capa asfáltica del pavimento flexible debido a la variabilidad de cargas en movimiento.

##### **1.8.1.4. Muestreo**

Se realiza el muestreo, tomando la muestra de los materiales usados en la construcción del pavimento flexible para realizar la prueba de Marshall y posteriormente realizar el análisis de Shakedown.

#### **1.9. Alcance de la investigación**

El alcance del estudio “**ANÁLISIS DEL SHAKEDOWN EN LOS MATERIALES GRANULARES DE LA CAPA ASFÁLTICA DEL PAVIMENTO**” abarca lo siguiente:

Inicialmente el trabajo contiene un análisis a lo referente con lo que se pondrá en estudio y el problema principal que lleva a la elaboración de éste, por qué se está realizando y el porqué de su importancia, planteando los objetivos que se cumplirán a lo largo de la realización de este análisis.

Se desarrolla cada ensayo para la caracterización de los agregados y del cemento asfáltico.

Las briquetas serán elaboradas con cemento asfáltico 85-100, para materiales granulares gruesos de 3/4", 3/8" y agregado fino que cumplan las especificaciones de la norma de la A.B.C.

La granulometría formada por los agregados será la que se ajuste y adecue más a los agregados que se tiene, ya sea a la norma ASTM o a la norma del instituto de asfaltos.

Con la obtención de datos de los diferentes ensayos de laboratorio a realizar, se tabulan los datos y resultados realizando los cálculos correspondientes.

Conociendo todos los parámetros existentes, tendremos una perspectiva apropiada para la realización del análisis de shakedown.

Así mismo se aplicará de forma práctica todo el análisis y la metodología desarrollada anteriormente, y obteniendo así todos los datos que nos permita cumplir y alcanzar los objetivos trazados en el presente proyecto.

Finalmente se realizará un análisis del resultado obtenido del análisis de Shakedown, con lo que se sacan conclusiones del análisis realizado, además algunas sugerencias para proyectos de vías camineras, y a la vez se realizarán las recomendaciones necesarias sobre el tema en estudio.



## **CAPÍTULO II**

### **ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES**

#### 2.1. Introducción

Los pavimentos tienen importancia destacada en el desarrollo de una ciudad y sus poblaciones cercanas, siendo la pista por la que se desarrolla el transporte con una demanda importante, teniendo que trasladar productos y materiales para servicios.

El pavimento pocas veces es utilizado de manera adecuada por que las capas que lo conforman deben cumplir exigencias mínimas, de esta forma se puede aproximar el cumplimiento de la vida útil además de brindar la comodidad mínima.

La ingeniería enfrenta permanentemente el reto de mantener y desarrollar estructuras de pavimento con recursos económicos limitados. Las especificaciones tradicionales de diseño y construcción establecen la necesidad de grandes cantidades de materiales de alta calidad para garantizar la durabilidad y desempeño de las estructuras, aunque no hay disponibilidad suficiente de tales materiales. Ante este panorama la ingeniería ha recurrido a alternativas de diseño que consideren; una dosis apropiada de riego de adherencia, buena calidad de materiales, una correcta fase constructiva de la carpeta nueva que asegure un mejor comportamiento en la adherencia de las carpetas asfálticas que es lo que en realidad se debería medir.

Todos hemos tenido la oportunidad de observar un pavimento, ya sea en largas caminatas en la vida o simplemente al conducir un automóvil, donde sólo vemos la inmensa capa asfáltica, pero un pavimento no sólo es esa capa externa y observable, es toda una estructura compleja, que necesita un diseño especial.

Se denomina pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa de las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Un pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones, debe reunir las siguientes exigencias:

Resistir a la acción de las cargas impuestas por el tránsito

Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.

Presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinalmente, que permitan comodidad y confort a los usuarios.

Presentar adecuadas condiciones respecto al drenaje.

Ser económico.

## **2.2. Pavimentos flexibles**

### **2.2.1. Definición**

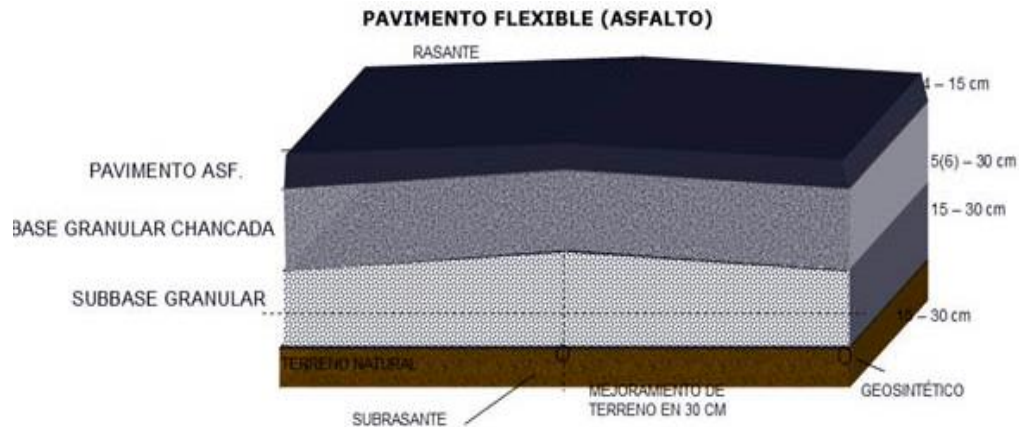
Una carpeta constituida por una mezcla asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin que su estructura se rompa.

Las capas que forman un pavimento flexible son: Carpeta asfáltica, base y sub-base. Las cuales se construyen sobre la capa sub-rasante<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Miranda Rebolledo, R., (2010). Deterioros en Pavimentos Flexibles y Rígidos. (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Figura 2.1. Capas de un pavimento flexible



Fuente: Teoría de pavimento-Fernando Pinedo

### 2.3. Características de pavimentos flexibles

Rico y del Castillo (1984) citan que sobre la capa sub-rasante se construye el pavimento flexible, que está compuesto por sub-base, base y carpeta asfáltica. El pavimento flexible debe proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir a las terracerías los esfuerzos por las cargas del tránsito. Entre las características principales que debe cumplir un pavimento flexible se encuentran las siguientes:

- Resistencia estructural
- Deformabilidad
- Durabilidad
- Costo
- Requerimiento de conservación
- Comodidad

#### 2.3.1. Resistencia estructural

Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura. En los pavimentos flexibles se consideran los esfuerzos cortantes como la principal causa de falla estructural. Además de los esfuerzos cortantes,

también se tienen los esfuerzos producidos por la aceleración, el frenado de los vehículos y esfuerzos de tensión superiores de la estructura.

### **2.3.2. Deformabilidad**

Una de las propiedades de un pavimento flexible, como su nombre lo indica es la capacidad de deformarse y restituirse a su forma original ante la repetición de las cargas actuantes.

### **2.3.3. Durabilidad**

La durabilidad está ligada a factores económicos y sociales. La durabilidad que se desea dar a un camino, depende de la importancia del mismo. Es más económico realizar mantenimiento, rehabilitaciones y reconstrucciones que un pavimento nuevo.

### **2.3.4. Costo**

Al ser este un tipo de pavimento que para la conformación de su estructura utiliza material pétreo de acceso local, que para su carpeta de rodadura pueden utilizarse mezclas fabricadas in situ; y que los espesores de la capa superficial son reducidos en relación a los de un pavimento rígido, resulta económico siempre y cuando se realicen las obras de conservación necesarias para garantizar y extender la vida útil del pavimento flexible.

### **2.3.5. Requerimientos de conservación**

Los factores climáticos tienen gran influencia en la vida de un pavimento, otro factor es la intensidad del tránsito, debe preverse el crecimiento futuro. Debe tomarse en cuenta el comportamiento futuro de las capas estructurales, la degradación de las mismas por la repetición de las cargas, deformaciones y derrumbes. La falta de conservación sistemática reduce la vida de un pavimento flexible.

### **2.3.6. Comodidad**

Tendrá una superficie final suave uniforme y regular, resistente al deslizamiento, resistente al rozamiento y que no produzca sonidos molestos en el interior del vehículo del usuario ni en el exterior del entorno.

## **2.4. Componentes de pavimentos flexibles**

### **2.4.1. Carpeta asfáltica**

La carpeta asfáltica es una de las capas que componen el paquete estructural, está situada sobre una o más capas estructurales preparadas, está elaborada con material pétreo y un producto asfáltico, el espesor de esta capa puede variar desde menos de 25 mm. Hasta más de 75 mm. Dependiendo de una gran variedad de factores y circunstancias de diseño, construcción y mantenimiento. Su función primordial será proveer al usuario de una superficie confortable y segura para su circulación, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática, además de proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podría saturar total o parcialmente las capas inferiores degradando sus propiedades. Además, evita que se desgaste o se desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.

Una de las principales ventajas de los pavimentos asfálticos es la economía asegurada por el uso de materiales disponibles localmente.

Olivera (1994) cita que los materiales pétreos son suelos inertes que se consiguen en ríos, arroyos, o depósitos naturales. Para poder ser empleados en la carpeta asfáltica deben cumplir con ciertas características dadas por la granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia al asfalto.

El contenido óptimo de asfalto para una carpeta, es la cantidad de asfalto que se necesita para formar alrededor de la partícula una membrana con un espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo, para que el asfalto no se oxide. El espesor no debe ser muy grande porque se pierde resistencia y estabilidad.

Se recomienda que las partículas que se utilizan tengan forma esférica, ya que las que son en forma de laja o de aguja romperse muy fácilmente y afectar la granulometría.

Las funciones de la carpeta asfáltica son las siguientes (Olivera, 1994):

- Proporcionar una superficie de rodamiento que permita un tránsito fácil y cómodo para los vehículos.
- Impedir la infiltración de agua de lluvia hacia las capas inferiores.
- Resistir la acción de los vehículos.

## **2.5. Las características de los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas**

Las características de los materiales pétreos para construir carpetas asfálticas son suelos inherentes, provenientes de ríos y arroyos los cuales por general requieren cribado y triturado para utilizarse. Las características más importantes que deben tener a satisfacción los materiales pétreos para carpetas asfálticas son granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

Características más importantes son: granulometría, dureza, forma de la partícula y adherencia con el asfalto.

En las mezclas asfálticas, es de gran importancia conocer la cantidad de asfalto por emplearse, debiéndose buscar un contenido optimo; 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 optimo se tienen las pruebas de compresión simple para mezclas en frio, la prueba Marshall para muestras en caliente. Para conocer la adherencia entre el pétreo y el asfalto se pueden utilizar pruebas de desprendimiento por fricción, perdida 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.

Las mezclas asfálticas están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonado. Se produce en centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y compactan. Se usan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los pavimentos para tráfico pesados intensos.

Están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Estos son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos

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

El tipo de 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.

Tabla 2.1. Tipo de espesor de la carpeta asfáltica según el tránsito

<b>Intensidad del tránsito pesado en un solo sentido</b>	<b>Tipo de carpeta</b>
Mayor de 2000 vehículos/día	Mezcla en planta de 7.5cm de espesor mínimo.
1000 a 2000	Mezcla en planta con un espesor mínimo de 5cm.
500 a 1000	Mezcla en el lugar o planta de 5cm como mínimo.
Menos de 500	Tratamiento superficial simple o múltiple.

Fuente:<http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/Paviments>.

### **2.5.1. Mezclas asfálticas en carpetas**

### **2.5.2. Definición de mezclas asfálticas**

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

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

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5 % de polvo mineral (filler) y otro 5 % de ligante asfáltico.

Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto.

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

### **2.5.3. Clasificación de mezcla asfáltica**

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

### **2.5.4. Características de la mezcla (analizando el método Marshall)**

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

#### **2.5.4.1. Densidad**

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

#### **2.5.4.2. Vacíos de aire**

Están presentes entre los agregados revestidos de asfaltos en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire, o bolsas de aire. Es de mucha importancia que las mezclas densamente graduadas contengan determinado porcentaje de vacíos, ya que estos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico. El porcentaje, en muestras elaboradas en laboratorio, para capas de base y capas superficiales debe esta



entre 3 % y 5 %. La permeabilidad de una mezcla asfáltica tiene relación con la durabilidad de un pavimento asfáltico.

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

Por otra parte, un contenido muy bajo de permeabilidad, es decir bajo contenido de vacíos, tiende a producir exudación de asfalto. La exudación consiste en que el exceso de asfalto es exprimido, o expulsado fuera de la mezcla hacia la superficie. La relación de la densidad y el contenido de vacíos demuestra que, a mayor densidad, menor campo las especificaciones para la densidad requieren acomodar el menor número posible de vacíos inferior al 8 %.

#### **2.5.4.3. Vacíos en el agregado mineral (VMA)**

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

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

#### **2.5.4.4. Vacíos llenos de asfalto (VFA)**

Son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, por lo tanto, el VFA se

calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando su valor como un porcentaje.

#### **2.5.4.5. Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas**

La estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas constituye una de las propiedades más estudiadas de las mezclas bituminosas, considerada en prácticamente todos los métodos de diseño y dosificación, especialmente en aquellos países en los que, por sus características climatológicas y del tránsito, la red de carreteras ha presentado, en algún momento, problemas de roderas, los ensayos y criterios para evaluarla distan mucho de ser coincidentes.

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 del desplazamiento de la mezcla.

La estabilidad se suele evaluar mediante ensayos de base fundamentalmente empírica: Marshall, en los que las probetas de mezclas se llevan hasta la rotura mediante una sollicitación típica de cada ensayo, y la carga de rotura es lo que se denomina estabilidad de esa mezcla.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante de asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unos respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico. En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

## **2.6. Componentes de las mezclas asfálticas**

### **2.6.1. Cementos asfálticos**

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 de 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.

## **2.7. Características y comportamiento de la mezcla**

Una muestra de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son<sup>2</sup>:

Densidad de la mezcla.

Vacíos de aire, (o simplemente vacíos).

Vacíos en el agregado mineral.

Contenido de asfalto.

A continuación de hablar de cada una de las características:

### **Densidad de la mezcla**

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico (kg/m<sup>3</sup>) o libras por pie cúbico (lb/ft<sup>3</sup>). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup> o 62.416 lb/ft<sup>3</sup>). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es o no la adecuada.

### **Vacíos de aire (o simplemente vacíos)**

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna

---

<sup>2</sup> Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 57 del Asphalt Institute MS-22

compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional.

La durabilidad de un pavimento asfáltico está en función del contenido de vacíos. La razón de esto es que cuando 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.

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. 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.

### **Vacíos en el agregado mineral**

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

### **Contenido de asfalto**

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra.

## **2.8. Propiedades consideradas en las mezclas asfálticas**

Las buenas mezclas asfálticas trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas asfálticas. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclas es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades.

## **Estabilidad**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y su lisura bajo cargas repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamiento (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

## **Durabilidad**

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación) y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres formas. Primero: usando la mayor cantidad posible de asfalto; segundo, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación y tercero, diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

## **Impermeabilidad**

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y 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 relacionan con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es más importante que su cantidad. 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.

## **Trabajabilidad**

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de mezcla, el tipo de agregado y/o la granulometría.

## **Flexibilidad**

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse a movimientos y asentamientos graduales de la sub-rasante, sin agrietarse. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las sub-rasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo). Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto.

## **Resistencia a la fatiga**

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo cargas de tránsito. Investigaciones han demostrado que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga.

## **Resistencia al deslizamiento**

Es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie está mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento.

## **2.9. Clasificación de las carpetas asfálticas**

Las carpetas asfálticas empleados en los pavimentos flexibles se pueden clasificar de la siguiente manera:

Tratamientos superficiales

Macadam asfáltico

Mezcla en el lugar

## **Mezcla en planta**

Antes de explicar en qué consiste cada una de las carpetas asfálticas ya indicadas, es necesario hacer notar que para construir cualquiera de ellas, se debe contar de antemano con una base debidamente conformada, compactada, impregnada y seca.

El riego de impregnación consiste en lo siguiente: se procede a barrer la base, para retirarle el material suelto y el exceso de polvo en la superficie. Inmediatamente se le da un riego de producto asfáltico de fraguado medio a razón de 1.5 litros por metro cuadrado, esperando unos dos días para que penetre y seque.

## **Tratamientos superficiales**

Las carpetas asfálticas de tratamientos superficiales se dividen en: tratamiento superficial simple o de un riego, tratamiento superficial doble o de dos riegos y tratamiento superficial triple o de tres riegos, de los cuales se explica a continuación en que consiste cada uno de ellos.

### **Tratamiento superficial simple**

Sobre la base del pavimento ya conformada, compacta impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 litros por metro cuadrado e inmediatamente se cubre con material pétreo número 3A (clasificado entre las mallas de 3/8" a N°8) a razón de 6-8 litros por metro cuadrado; se rastrea para uniformar la superficie y se plancha con plancha liviana de 5 a 8 toneladas, pudiendo abrirse al tránsito unos días después, debiendo barrerse de la superficie el material pétreo sobrante para evitar que vaya a formar ondulaciones en la carpeta. Esta carpeta asfáltica es aconsejable para tránsito inferior a 200 vehículos por día. En zonas de alta precipitación pluvial, conviene mejor colocar un tratamiento superficial doble como se indica a continuación, para mayor eficiencia del pavimento.

Si se emplea emulsión asfáltica puede emplearse de 1.3 a 1.4 litros por metro cuadrado y de 10 a 12 lt/m<sup>2</sup> de material pétreo 3A o 3E. Si se desea usar un mortero asfáltico como tratamiento superficial puede hacerse con arena 100%, emulsión 12 a 15%, agua 15 a 18% y filler de 1 a 3%. El filler puede ser cal o cemento.



### **Tratamientos superficial doble**

Sobre la base del pavimento ya conformada, compacta impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2 litros por metro cuadrado e inmediatamente se cubre con material pétreo número dos (clasificado entre las mallas de ½” a ¼”) a razón de 12 a 14 litros por metro cuadrado, se rastrea y se plancha con aplanadora liviana de 5 a 8 toneladas de peso. Dos o tres días después se barre y se le da un nuevo riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 litros por metro cuadrado y se cubre inmediatamente con material pétreo N°3B (clasificado entre la mallas ¼” y N°8), se rastrea para uniformar la superficie, y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 toneladas. Tres días después puede abrirse al tránsito. Posteriormente debe retirarse el material pétreo sobrante. Este tipo de carpeta asfáltica es aconsejable para tránsito inferior a 600 vehículos por día. Si se emplea emulsión asfáltica puede usarse en el primer riego la cantidad de 1.2 lt/m<sup>2</sup> cubriéndolos con 12 lt/m<sup>2</sup> de material pétreo N°2 y en el segundo riego usar 1.5 lt/m<sup>2</sup> de emulsión cubriéndola con 7 lt/m<sup>2</sup> de material pétreo 3B.

### **Tratamiento superficial triple**

La carpeta asfáltica formada por tres riegos se constituye de la siguiente manera:

Sobre la base del pavimento ya conformada, compacta impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico del tipo FR-3 a razón de 2.5 litros por metro cuadrado e inmediatamente se cubre con material pétreo número 1 (clasificado entre las mallas de 1” a ½”) a razón de 20 a 22 litros por metro cuadrado, se rastrea y se plancha con aplanadora pequeña de 5 a 8 toneladas de peso. Dos o tres días después se barre el material pétreo sobrante y se coloca una carpeta de dos riegos sobre esta, quedando así terminada la carpeta de tres riegos. Esta carpeta admite perfectamente bien los 1,000 vehículos por día.

### **Macadam asfáltico**

El macadam asfáltico o de penetración es una carpeta asfáltica que consiste en capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulosas. Cada capa se extiende y se acuña mediante compactación por vibración después de lo cual se baña con producto asfáltico.

Es necesario contar con una buena base ya que siendo el macadam asfáltico una carpeta que presenta gran porcentaje de vacíos, principalmente en la parte inferior de la capa, si la base se reblandece, el paso constante de los vehículos obligara a que la base se incruste en la carpeta provocándose una deformación perjudicial.

El orden de operaciones de construcción es el siguiente:

Encontrándose la base debidamente compactada, impregnada, limpia y seca se da la primera aplicación de agregado grueso con un esparcidor o con una tolva esparcidora adaptada a un camión de volteo. Esta capa se compacta con aplanadora de 10 a 12 toneladas de peso o preferentemente con un vibrador, para acomodar el agregado en su sitio. Compactada esta capa, se da una aplicación de producto asfáltico. Viene la segunda aplicación de agregados de un tamaño menor y de igual forma en menor cantidad esparcidos uniformemente para llenar los huecos dejados en la primera capa. Deben emplearse rastras para ayudar a distribuir este agregado de cierre. Sigue inmediatamente la compactación con aplanadora de 10 a 12 toneladas, según vibrador, mientras el asfalto este todavía caliente para lograr así una mejor unión. Se da entonces la nueva aplicación del mismo producto asfáltico aplicado en menor cantidad y de inmediato una cantidad y tamaño aún menor de agregado de cierre que actúa como riego de sello. Se da luego una combinación de rastra y compactación con el fin de llenar los huecos y tener una textura uniforme. La graduación del material debe estar de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 2.2. Graduación del material y su porcentaje en peso que pasa por las mallas.

<b>% En peso del material que pasa las mallas</b>			
<b>Malla</b>	<b>Material grueso</b>	<b>Material de encaje</b>	<b>Material fino</b>
2-1/4"	100		
2"	90-100		
1-1/2"	30-55		
1-1/4"	0-15		
1"	0-5		
3/4"		100	
5/8"		90-100	100
1/2"		40-70	90-100
3/8"		0-15	30-50
4		0-5	0-8
10			0-3

Fuente: Manual de laboratorio de suelos I de la carrera de ingeniería civil. U.A.J.M.S.

## **2.10. Componentes de las carpetas asfálticas**

La carpeta asfáltica estará formada por una mezcla de agregado grueso (piedra triturada de origen granítico).

Agregado fino: (arena), filler y cemento asfáltico que cumplen con las siguientes especificaciones:

Agregado grueso: material retenido en el tamiz N° 10 será obtenido por trituración de rocas de orígenes graníticos homogéneos, sanos, limpios, de alta dureza, trituradas en fragmentos angulares y de aristas vivas, no permitiéndose la presencia de ningún porcentaje de agregados con mineral en descomposición. No se admitirán el uso de ningún tipo de tosca. Cada una de las fracciones que integran la mezcla deberá estar constituida por agregados pétreos del mismo origen geológico.

Agregado fino: Material que pasa el tamiz N° 10 estará constituido por una mezcla de arena natural y arena de trituración. Estará libre de arcilla y otras materias extrañas. La arena de trituración deberá provenir de rocas que cumplan lo exigido para el agregado grueso y entrara en mezcla con la arena natural en un porcentaje de no menos de 40 %.

## **2.11. Análisis del shakedown en la capa asfáltica**

### **2.11.1. Definición del shakedown**

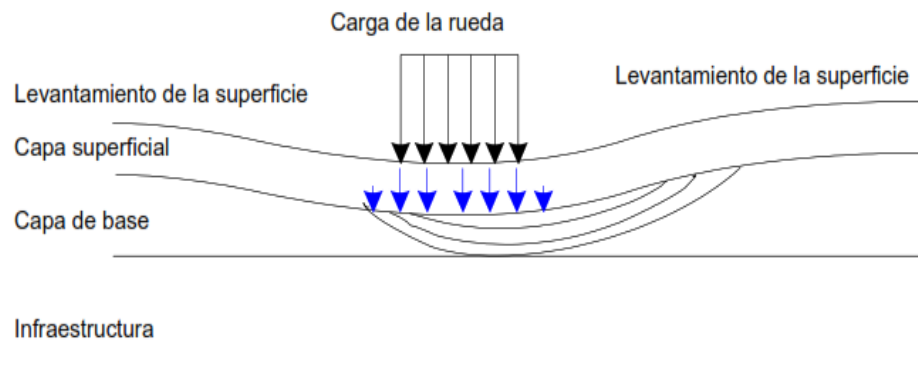
El concepto del Shakedown fue primeramente presentado por Melan (1936, Citado de Sharp & Booker, 1984)(Brown, 1996) En la literatura de referencia convencionalmente el término “Shakedown” significa deformación que se produce en los pavimentos flexibles bajo cargas cíclicas (Werkmeister et al., 2002) y se menciona además que es la rama de la teoría de la plasticidad la cual trata con la respuesta de estructuras bajo carga cíclicas (Collins et al., 1993; Collins & Boulbibane, 2000). El uso de este concepto en el análisis de pavimentos fue sugerido por primera vez por Sharp (1983) y Sharp & Booker (1984).

Brown (1996) señala que en pavimentos con capas asfálticas generalmente las roderas se generan por las deformaciones permanentes en esta capa, pero en pavimentos con capa

delgada las deformaciones son mucho mayores debido a las cargas de alto tonelaje que transita.

Bajo las cargas de ejercicio, que se suceden una cantidad considerable de veces, no es suficiente garantizarnos contra el colapso. De hecho, es necesario asegurar que la estructura permanezca siempre intacta, evitando una acumulación de deformaciones que conduzca a la pérdida de funcionalidad. Este resultado se puede lograr requiriendo que la estructura en condiciones operativas permanezca siempre en un campo elástico para que el material granular que lo compone la mezcla del que está hecho conserve sus propiedades. Dado que a cargas significativamente grandes pueden generar fallas o deformaciones considerables en relación a su durabilidad. La presencia de deformaciones en las capas asfálticas no puede ser ignorada. Por lo tanto, no se excluye la posibilidad de que surjan deformaciones iniciales que generan estados de coerción que llevan a la estructura a responder de una manera puramente elástica, ya que su acumulación en el tiempo. Si se produce esta condición, se dice que la estructura se adapta a una deformación permanente.

Figura 2.2. Deformación en un pavimento flexible



Fuente: Teoría de pavimento-Fernando Pinedo

Los materiales que constituyen los pavimentos, incluyendo las terracerías y el terreno de cimentación, se ven sometidos a cargas dinámicas de diversas magnitudes que se transmiten por el tránsito vehicular. Con el fin de tomar en cuenta la naturaleza cíclica de las cargas que actúan sobre la capa de rodadura, así como el comportamiento de los

materiales que son parte de la mezcla asfáltica, se han realizado en el mundo varios trabajos experimentales, como en muestras de material probadas en el laboratorio, obteniéndose valiosa información sobre el comportamiento carga-deformación de la capa asfáltica. Las deformaciones resilientes o elásticas son de recuperación instantánea y a las que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora. Bajo carga móvil la deformación permanente se va acumulando; debe hacerse notar el hecho de que en ciclos intermedios la deformación permanente para cada ciclo disminuye, hasta que prácticamente desaparece en los ciclos finales. La muestra llega así a un estado tal en que toda la deformación es recuperable, en ese momento se tiene un comportamiento resiliente. Así entonces, el concepto de Shakedown está ligado invariablemente a un proceso de carga repetida. Como se ha observado en los análisis llevados a cabo sobre la deformación. Algunos de los factores más importantes son: número de aplicaciones de carga; magnitud de carga. Se determinó entonces ciclos de variación apropiados. Desde el punto de vista mecanicista, el principal criterio de la deformación de la capa asfáltica y para los materiales: deformaciones permanentes que experimenta por efecto de la repetición de cargas, este factor es quizás el más importante a considerar.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE LA CAPA DE PAVIMENTO Y ANÁLISIS DEL SHAKEDOWN

#### 3.1. Selección y ubicación del banco de agregados

Figura 3.1. Ubicación geográfica del banco de agregados de SEDECA



Fuente: Google Earth

La ciudad de Tarija cuenta con varios bancos de materiales, los cuales proporcionan una seguridad en la calidad del material para el diseño que se realice. Para la presente investigación se utiliza el banco de agregados del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), cuyo material es procedente del río Camacho, que tiene una gran cantidad de aridos que cumplen con las especificaciones de la presente investigación.

El banco de agregados del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), se encuentra a una distancia de 37.9 km de la ciudad de Tarija ubicada en la provincia Avilés del departamento.

### 3.2. Selección y ubicación del cemento asfáltico

Figura 3.2. Ubicación geográfica del banco de agregados de SEDECA



Fuente: Google Earth

El cemento asfáltico a usar proviene de la planta asfáltica del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), ubicado en la comunidad de Charaja. El cemento es de procedencia brasilera de la empresa Stratura Asfaltos S.A., 85-100.

La planta de asfaltos de SEDECA está ubicado en sobre la ruta 45, tramo Chocloca-Juntas.

#### **Ubicación geográfica**

Las coordenadas geográficas de la entrada de la planta asfáltica y trituradora de agregados de SEDECA son:

Latitud: 21°46'54.71'' S.

Longitud: 64°46'09.95'' O.

Zona: 20

Figura 3.3. Ubicación de la planta de asfaltos de SEDECA



Fuente: Google Earth

Figura 3.4. Planta de asfaltos de SEDECA



Fuente: Elaboración propia



Tabla 3.1. Especificación técnica del cemento asfáltico convencional

N°	Características	Detalle		Exigencia
		Aashto	Astm	
1	Penetración a 25°C	T-49-97	D-5	85-100
2	Vaso abierto cleveland punto de inflamación °C	T-48	D92	> a 232°C
3	Viscosidad saydol furol a 135° c,seg.	T-72	D-102	> a 85°seg
4	Solubilidad en tricloro etileno %	T-44	D-2042	> a 99,00% °C
5	Ductilidad 25 °C	T-51	D-113	> a 100 cm
6	Ensayo de la mancha heptaxil, (20% máximo de xilol)	T-102	-	(-) Negativo
7	Ensayo de horno película delgada	T-179	D-1757	< a 1
8	Penetración del residuo de pérdida, X calentamiento % original	T-49-97	D-5	> a 50
9	Porcentaje de agua	T-55	-	< a 0,2

Fuente: Especificaciones técnicas del fabricante

### 3.3. Obtención y selección del árido y cemento asfáltico

Básicamente el material a utilizar debe cumplir ciertas especificaciones que mencionamos anteriormente. Para el presente proyecto utilizamos materiales existentes en la ciudad de Tarija que se ajustan dentro de las normativas vigentes, además, existe disponibilidad.

Se tomó muestra de material de agregado triturado 3/4", 3/8" y arena de la planta asfáltica del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), la toma de muestra fue realizada por el método de cuarteo.

### 3.4. Ensayos de agregados y del cemento asfáltico

Los ensayos de agregados pétreos, cemento asfáltico se realizaron en laboratorio de hormigones y laboratorio de asfaltos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho respectivamente. Los materiales que van a ser empleados en los diseños de mezclas asfálticas los cuales deben cumplir ciertas especificaciones propuestas por las normas ASTM y AASHTO. Los agregados que se van a utilizar en la investigación son provenientes del banco de agregados del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA). Para la caracterización de los agregados se realizaron los ensayos que demuestran la calidad que presenta, para ello se muestra los ensayos realizados.

### 3.5. Caracterización de agregados

#### 3.5.1. Ensayo de granulometría (AASHTO T-27) (ASTM C-136)

La granulometría de un árido es la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido.

Se procedió a realizar el análisis granulométrico por el método de la vía seca.

Figura 3.5. Tamizado del agregado grueso



Fuente: Elaboración propia

Se realizó 3 ensayos para cada tipo de agregado en este caso para la arena, gravilla y la grava.

Este método de ensayo tiene por objeto determinar cuantitativamente la distribución de los tamaños de las partículas del agregado grueso y fino de un material, por medio de Tamices de abertura cuadrada progresivamente decreciente. Este método también se puede aplicar usando mallas de laboratorio de abertura redonda, y no se empleara para agregados recuperados de mezclas asfálticas. Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entendiendo todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda reparar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se pueda conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan

el tamaño máximo de agregados en cada uno de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentaje retenido en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, cada malla ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de los valores del material (granulometría).

Las mallas de prueba que se usan comúnmente para los proyectos de carreteras son aquellas con abertura de  $2\frac{1}{2}$ ”, 2”,  $1\frac{1}{2}$ ”, 1”,  $\frac{3}{4}$ ”,  $\frac{1}{2}$ ”,  $\frac{3}{8}$ ” de pulgadas cuadra para las fracciones grandes y con N°4, N°10, N°40, N°80, N°100, N°200 mallas por pulgada para las fracciones más pequeñas. Estas últimas mallas se asignan como N°4, N°10, etc.

A la porción de material agregado que queda retenido en la malla N°10 (esto es partículas mayores de 2,00 mm) se la conoce como agregado grueso. Al material que pasa por la malla N°10 pero queda retenido en la malla N°200 (partículas mayores 0.075) se le conocen como agregado fino. El material que pasa por la malla número 200 se llama fino y corresponde a impurezas, limos y arcillas

Figura 3.6. Juego de tamices para granulometría



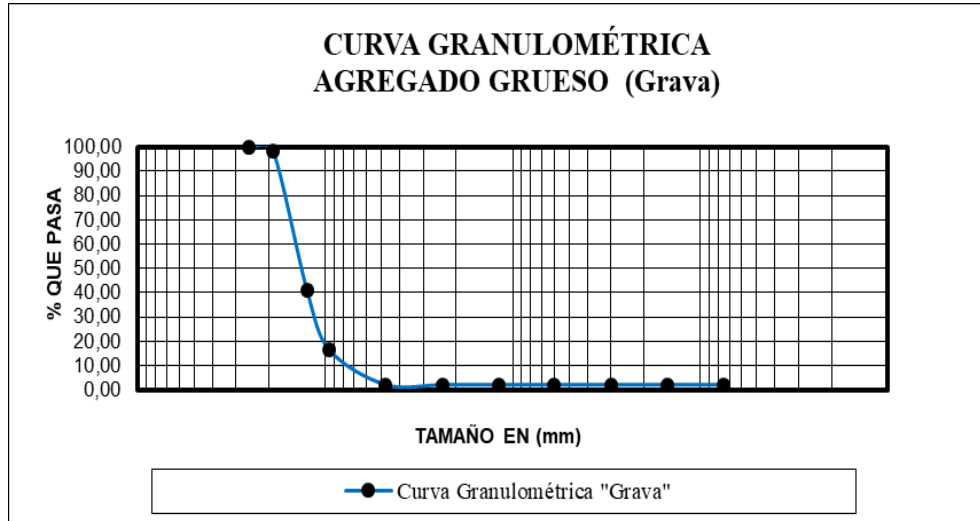
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2. Resultados de granulometría del agregado grueso (3/4")

Peso total (gr.)					5000
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. Acum. (gr)	% retenido	% que pasa del total
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	80,60	80,60	1,61	98,39
1/2"	12,5	2873,50	2954,10	59,08	40,92
3/8"	9,50	1223,40	4177,50	83,55	16,45
Nº4	4,75	717,10	4894,60	97,89	2,11
Nº8	2,36	0,80	4895,40	97,91	2,09
Nº16	1,18	0,00	4895,40	97,91	2,09
Nº30	0,60	0,00	4895,40	97,91	2,09
Nº50	0,30	0,00	4895,40	97,91	2,09
Nº100	0,15	0,00	4895,40	97,91	2,09
Nº200	0,075	0,00	4895,40	97,91	2,09
BASE	-	104,60	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.1. Curva Granulométrica del agregado grueso (3/4")



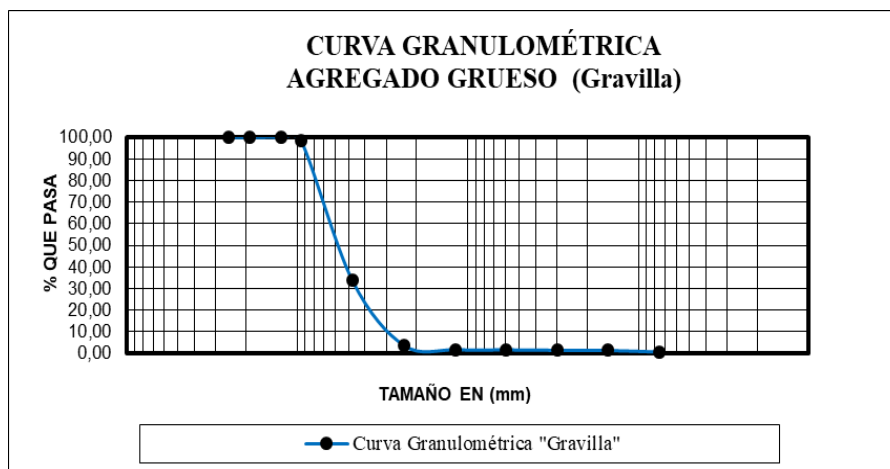
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3. Resultados de granulometría del agregado intermedio (3/8")

Peso total (gr.)					1000
Tamices	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. acum. (gr)	% Retenido	% que pasa del total
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	14,20	14,20	1,42	98,58
Nº4	4,75	648,10	662,30	66,23	33,77
Nº8	2,36	300,80	963,10	96,31	3,69
Nº16	1,18	19,25	982,35	98,24	1,76
Nº30	0,60	0,50	982,85	98,29	1,71
Nº50	0,30	2,10	984,95	98,50	1,50
Nº100	0,15	1,00	985,95	98,60	1,40
Nº200	0,075	7,05	993,00	99,30	0,70
BASE	-	7,00	1000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.2. Curva Granulométrica del agregado intermedio (3/8")



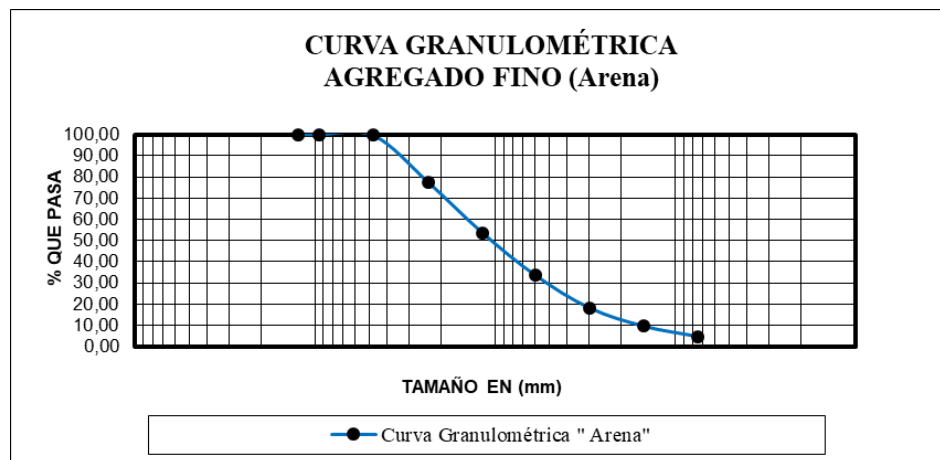
Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4. Resultados de granulometría del agregado fino (arena)

Tamices	Tamaño (mm)	Peso total (gr)			1000
		Peso ret. (gr)	Ret. Acum. (gr)	% retenido	% que pasa del total
1/2	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	4,20	4,20	0,42	99,58
Nº8	2,36	220,70	224,90	22,49	77,51
Nº16	1,18	238,50	463,40	46,34	53,66
Nº30	0,60	200,30	663,70	66,37	33,63
Nº50	0,30	154,00	817,70	81,77	18,23
Nº100	0,15	86,10	903,80	90,38	9,62
Nº200	0,075	48,90	952,70	95,27	4,73
BASE	-	47,30	1000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.3. Curva granulométrica del agregado fino (arena)



Fuente: Elaboración propia

### **3.5.2. Ensayo de desgaste de la máquina de los Ángeles (AASHTO T-96) (ASTM E-131)**

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y de degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

Debido de las condiciones de esfuerzo deformación, la carga de la rueda es transmitida a la superficie del pavimento a través de la llanta como una presión vertical aproximadamente uniforme y alta. La estructura del pavimento distribuye los esfuerzos de la carga, de una máxima intensidad en la superficie hasta una mínima en la subrasante. Por esta razón los agregados que están en o de la superficie, como son los materiales de base y carpetas asfálticas, deben ser más resistentes que los agregados usados en las capas inferiores, sub base de la estructura del pavimento, la razón se debe a que las capas superficiales reciben los mayores esfuerzos y el mayor desgaste por parte de las cargas del tránsito.

Por otro lado, los agregados transmiten los esfuerzos a través del punto de contacto donde actúan presiones altas. El ensayo de desgaste de los Ángeles, ASTM E-131 o ASSHTO T-96, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o a la abrasión.

#### **Procedimiento**

Pesar los tamaños de las fracciones correspondientes al grado elegido, de acuerdo con la tabla 3.10. Registrar la masa total de material por ensayar como masa inicial de muestra ( $m_i$ ), aproximado a 0.1g. Colocar la masa inicial de material en la máquina de los Ángeles, de acuerdo con el grado elegido seleccionar el número de esferas y número de revoluciones según la tabla 3.10.

Una vez completado el número de revoluciones, sacar el material de la máquina de los Ángeles evitando pérdidas, efectuar un primer tamizado con un tamiz N°8 o superior para evitar dañar el tamiz N°12, el cual sirve para separar el material desgastado.

Lavar el material que se retiene en el tamiz N°12, llevar al horno a temperatura de 100-110 °C por 24 horas, pesar el material seco y registrar como masa final.

Tabla 3.5. Pesos del agregado grueso y N° de esferas para el desgaste de los Ángeles

GRADACIÓN		A	B	C	D
DIAMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL A EMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
<b>PESO TOTAL</b>		<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>
NUMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N°DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACION		15	15	15	15

Fuente: Norma ASTM E-131

Figura 3.7. Desgaste por medio de la máquina de los Ángeles



Fuente: Elaboración propia



Figura 3.8. Material para el ensayo de desgaste de la máquina de los Ángeles



**Fuente:** Elaboración propia

Figura 3.9. Muestra sacada de la máquina de los Ángeles a 500 revoluciones



**Fuente:** Elaboración propia

Figura 3.10. Muestra separada por el tamiz N°12 y lavada



Fuente: Elaboración propia

**Datos de la práctica:**

Tabla 3.6. Datos de desgaste de los Ángeles (gravilla)

<b>Datos de laboratorio</b>		
<b>Gradación B</b>		
<b>Pasa tamiz</b>	<b>Retenido tamiz</b>	<b>Peso retenido</b>
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500

Fuente: Elaboración propia

Se realizó 3 ensayos de esta práctica con cada uno de los agregados ( grava y gravilla).Los cuales pertenecían a métodos B (grava) y método C (gravilla), en las siguientes tablas solo se mostrara uno de los 3 ensayos para ambos métodos, donde los demás se los mostrara en forma más detallada en los anexos.

Tabla 3.7. Datos de desgaste de los Ángeles (grava).

<b>Datos de laboratorio</b>		
<b>Gradación C</b>		
<b>Pasa tamiz</b>	<b>Retenido tamiz</b>	<b>Peso retenido</b>
3/8"	1/4"	2500
1/4"	N°4	2500

Fuente: Elaboración propia

**Cálculos:**

Retenido tamiz N°12=3897.5

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_{\text{INICIAL}} - P_{\text{FINAL}}}{P_{\text{INICIAL}}} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{5000 - 3897.5}{5000} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = 22.05\%$$

Tabla 3.8. Resultados del desgaste de los Ángeles (grava)

<b>Gradación</b>	<b>Peso inicial (gr)</b>	<b>Peso final (gr)</b>	<b>% de desgaste</b>	<b>Especificación ASTM</b>
B	5000	3897,5	22,05	35% max

Fuente: Elaboración propia

### Cálculos:

Retenido tamiz N°12=3886.7

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{P_{\text{INICIAL}} - P_{\text{FINAL}}}{P_{\text{INICIAL}}} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{5000 - 3886.7}{5000} * 100$$

$$\% \text{ Desgaste} = 22.27\%$$

Tabla 3.9. Resultados del desgaste de los Ángeles (gravilla)

Gradación	Peso inicial	Peso final	% de desgaste	Especificación ASTM
C	5000	3886,7	22,27	35% max

Fuente: Elaboración propia

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

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N°4 (4.75 mm). El término “equivalente de arena” transmite el concepto que la mayoría de los suelos granulares y agregados finos son mezcla de partículas gruesas, arenas y generalmente finos.

Para determinar el porcentaje de finos en una muestra, se incorpora una medida de suelo y solución en una probeta plástica graduada que luego de ser agitada separa el recubrimiento de finos de las partículas de arena; después de un periodo de tiempo, se puede leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto de la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

Este método proporciona una manera rápida de campo para determinar cambios en la calidad de agregados durante la producción o colocación.

Con el ensayo de equivalente de arena se pretende determinar las proporciones de arena y arcilla presentes en el agregado fino para la elaboración de mezclas asfálticas u hormigones.

Figura 3.11. Colocación de la muestra dentro de la probeta



Fuente: Elaboración propia

Figura3.12. Obtención de las lecturas h1 y h2 en la muestra después del ensayo



Fuente: Elaboración propia

**Cálculo:**

$$E. A. = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

$$E. A. = \frac{10,3}{13,6} * 100$$

$$E.A=75,60 \%$$

**Donde:**

E.A.= Equivalente de arena (%)

H1=Altura de la arena (cm)

H2=Altura total arena más filler (cm)

**Resultados:**

Tabla 3.10. Datos y resultados de equivalente de arena

N° de muestra	h1	h2	Equivalente de arena (%)
	(cm)	(cm)	
1	10,35	13,20	78,41
2	10,25	13,90	73,74
3	10,30	13,80	74,64
		<b>Promedio</b>	<b>75,60</b>

Equivalente de arena (%)	Norma
75,60	> 50%

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.4. Peso específico del agregado fino (ASTM E 128) (AASHTO T84-00)

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso. El peso específico aparente es la relación entre el peso del agua correspondiente a su volumen aparente, este ensayo establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y absorción de agua de los áridos finos. Homogenizar la muestra y eliminar el material de tamaño superior al tamiz N°4, se selecciona, por cuarteo una cantidad máxima a 1000 g, saturar por 24 horas.

Secar la muestra superficialmente con una secadora, para colocar en un molde cónico que se apisona con 25 golpes con una varilla en 3 capas, para finalizar enrasar el cono y retirar el cono y ver que la muestra no esté demasiado seca, ni tampoco húmeda. Tomar 500g de esta muestra para el matraz, llenar el matraz hasta la marca de aforo en 500 ml, hacer rodar el matraz con cuidado de no perder material ni agua con el objeto de eliminar vacíos del agregado fino, pesar la masa del agregado fino más el matraz y el agua hasta su marca de aforo en 500 ml.

Sacar la muestra por completo del matraz para llevar a al horno entre 100-110°C, por 24 horas dejar enfriar a temperatura ambiente y pesar.

Figura 3.13. Verificación de la condición de la muestra saturada con superficie seca



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.14. Peso del agregado fino más el matraz y agua



Fuente: Elaboración propia

**Cálculos:**

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{a}{v-w}$$

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{478,60}{500-309,70}$$

$$\text{Peso específico del agregado seco} = 2,51 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficial seca} = \frac{v}{v-w}$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficial seca} = \frac{500}{500-309,70}$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficie seca} = 2,63 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{a}{((v-w)-(v-a))}$$



$$\text{Peso específico aparente} = \frac{478,60}{((500-309,70)-(500-478,60))}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,83 \text{ gr/cm}^3$$

Porcentaje de absorción:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{(500-a)}{500} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = 4,28\%$$

Para las muestras 2 y 3 se realizó el mismo procedimiento.

Tabla 3.11. Datos del ensayo peso específico del agregado fino (arena).

Muestra N°	Peso muestra (gr)	Peso de matraz (gr)	Muestra + matraz + Agua (gr)	Peso del agua agregado al matraz "W" (ml) ó (gr)	Peso muestra secada "A" (gr)	Volumen del matraz "V" (ml)
1	500	177,5	987,2	309,70	478,60	500,00
2	500	237,2	1035,4	298,20	482,50	500,00
3	500	222	1022,3	300,30	491,30	500,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.12. Resultados del peso específico del agregado fino (arena)

MUESTRA N°	PESO MUESTRA (gr)	PESO DE MATRÁZ (gr)	MUESTRA + MATRÁZ + AGUA (gr)	PESO DEL AGUA AGREGADO AL MATRÁZ "W" (ml) ó (gr)	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	VOLUMEN DEL MATRÁZ "V" (ml)	P. E. A GRAN EL (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	P. E. APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	% DE ABSORCIÓN
1	500	177,5	987,2	309,70	478,60	500,00	2,51	2,63	2,83	4,28
2	500	237,2	1035,4	298,20	482,50	500,00	2,39	2,48	2,62	3,50
3	500	222	1022,3	300,30	491,30	500,00	2,46	2,50	2,57	1,74
<b>PROMEDIO</b>							<b>2,46</b>	<b>2,54</b>	<b>2,67</b>	<b>3,17</b>

Fuente: Elaboración propia

### **3.5.5. Peso específico del agregado grueso (ASTM E 127) (AASHTO -T85)**

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

Para este ensayo se realizó la medición del peso específico para la grava 3/4" y para la gravilla 3/8".

#### **Procedimiento**

Lavar el agregado hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de partículas, se seca en horno a temperatura de 100°-110°C.

Sumergir en agua por 24 horas, se seca el agregado superficialmente haciendo rodar sobre un paño absorbente húmedo hasta que desaparezca la película visible de agua adherida. Secar individualmente las partículas mayores manteniendo el árido, cubrir con un paño húmedo hasta el momento de pesar. Efectuar toda la operación en el menor tiempo posible y se toma el dato del árido saturado superficialmente seco, registrar el valor en "B".

Determinar la masa del pétreo saturado superficialmente seco, pesar a temperatura ambiente, colocar la muestra inmediatamente en el canastillo porta muestra, sumergiendo el canastillo en agua a  $20 \pm 3^\circ \text{C}$ , por un período de al menos 3 minutos, determinar la masa sumergida, aproximando a 1 g. registre su valor como "C". Mantener el canastillo y su contenido totalmente sumergido durante la operación, procurar que el elemento de suspensión del canastillo tenga la menor dimensión posible, a fin de minimizar su efecto sobre los resultados.

Retirar la muestra del canastillo y vaciar completamente del recipiente, cuidando de no dejar partículas atrapadas.

Secar la muestra hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ , determinar la masa de la muestra seca, pesar a temperatura ambiente, aproximando a 0.1g, registrar su valor como "A"

Figura 3.15. Secado superficial del agregado pétreo saturado



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.16. Obtención del peso de las muestras saturadas superficialmente seca.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.17. Muestra sumergida



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18. Muestras secas del horno después de 24 horas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.13. Datos del ensayo de peso específico del agregado grueso (grava)

Muestra N°	Peso muestra secada "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4951,36	5000,00	3080,00
2	4945,30	5000,00	3076,00
3	4953,50	5000,00	3113,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.14. Datos del ensayo de peso específico del agregado intermedio (gravilla)

Muestra N°	Peso muestra seca "A" (gr)	Peso muestra saturada con sup. seca "B" (gr)	Peso muestra saturada dentro del agua "C" (gr)
1	4933,70	5000,00	3112,00
2	4937,30	5000,00	3116,00
3	4939,12	5000,00	3122,00

Fuente: Elaboración propia

### Cálculos

#### Muestra, pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado grueso (grava)

#### Ecuaciones

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{a}{b-c}$$

$$\text{Peso específico del agregado seco} = \frac{4951,36}{5000-3080}$$

$$\text{Peso específico del agregado seco} = 2,58 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficie seca} = \frac{b}{b-c}$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficie seca} = \frac{5000}{5000-3080}$$

$$\text{P.E.A. Saturado de superficie seca} = 2,60 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{a}{a-c}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{4951,36}{4951,36-3080}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,65 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{a-b}{b} * 100\%$$

$$\% \text{ de absorción} = 0,98\%$$

Tabla 3.15. Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso (grava)

MUESTRA N°	PESO MUESTRA SECADA "A" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA CON SUP. SECA "B" (gr)	PESO MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA "C" (gr)	PESO ESPECÍFICO A GRANEL (gr/cm3)	PESO ESPECÍFICO SATURADO CON SUP. SECA (gr/cm3)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm3)	% DE ABSORCIÓN
1	4951,36	5000,00	3080,00	2,58	2,60	2,65	0,98
2	4945,30	5000,00	3076,00	2,57	2,60	2,65	1,11
3	4953,50	5000,00	3113,00	2,63	2,65	2,69	0,94
			<b>PROMEDIO</b>	<b>2,59</b>	<b>2,62</b>	<b>2,66</b>	<b>1,01</b>

Fuente: Elaboración propia

El mismo procedimiento de cálculo se realiza para la gravilla de 3/8"

Tabla 3.16. Resultados del ensayo de peso específico del agregado intermedio (gravilla)

Muestra N°	Peso muestra Seca "A"	Peso muestra Saturada con sup. Seca "B" (gr)	Peso muestra Saturada dentro del agua "C" (gr)	Peso específico a granel (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico saturada con sup. Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Peso específico aparente (gr/cm <sup>3</sup> )	Porcentaje de absorción (%)
1	4933,70	5000,00	3112,00	2,61	2,65	2,71	1,34
2	4937,30	5000,00	3116,00	2,62	2,65	2,71	1,27
3	4939,12	5000,00	3122,00	2,63	2,66	2,72	1,23
<b>PROMEDIO</b>				<b>2,62</b>	<b>2,65</b>	<b>2,71</b>	<b>1,28</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.6. Ensayo determinación de partículas laminares, chatas y alargadas (ASTM D-4791)

Este ensayo describe el procedimiento para la determinación de los porcentajes de los agregados.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos ASTM D-4791.

Tabla 3.17. Datos del ensayo partículas laminares

Material	Peso total de la muestra	Peso retenido de partículas laminares
3/4"	1000 gr	32 gr
3/8"	1000 gr	58,4 gr

Fuente: Elaboración propia

**Cálculo:**

$$\% \text{ total de partículas laminares} = \frac{\text{Peso retenido partículas laminares}}{\text{peso total de la muestra}} * 100 \%$$

$$\% \text{ total de las partículas laminares} = \frac{32}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ total de las partículas laminares} = 3,2\%$$

Tabla 3.18. Resultado del ensayo partículas laminares

<b>Material</b>	<b>% Peso retenido de partículas laminares</b>
3/4"	3,20%
3/8"	5,84%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.19. Datos del ensayo chatas alargadas

<b>Material</b>	<b>Peso total de la muestra</b>	<b>Peso retenido de partículas chatas y alargadas</b>
3/4"	1000 gr	38,4 gr
3/8"	1000 gr	18,5 gr

Fuente: Elaboración propia

**Cálculo:**

$$\% \text{ total de partículas chatas y alargadas} = \frac{\text{Peso retenido partículas chatas y alargadas}}{\text{peso total de la muestra}} * 100 \%$$

$$\% \text{ total de las partículas chatas y alargadas} = \frac{38,4}{1000} * 100\%$$

$$\% \text{ total de las partículas chatas y alargadas} = 3,84\%$$



Tabla 3.20. Resultado del ensayo partículas laminares

Material	% Peso retenido de partículas chatas y alargadas
3/4"	3,84%
3/8"	1,85%

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.7. Ensayo determinación de partículas fracturadas (ASTM D-5821)

Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje de una muestra de agregado grueso (por masa o por conteo) que consiste de partículas fracturadas que cumplan requisitos especificados.

Figura 3.19. Realizando el ensayo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.21. Datos ensayo de caras fracturadas

Descripción		Unidad	Lectura
Grava 3/4"	Peso total de la muestra	gr	1500
	Peso de caras fracturadas retenidas	gr	1469,2

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Peso caras no fracturadas = Peso total de la muestra – Peso de caras fracturadas

Peso caras no fracturadas = 1500-1469,2

Peso de caras no fracturadas = 30,8 gr

Porcentaje de caras fracturadas =  $\frac{\text{Peso de caras fracturadas}}{\text{peso total de la muestra}} * 100 \%$

Porcentaje de caras fracturadas =  $\frac{1469,2}{1500} * 100\%$

Porcentaje de caras fracturadas = 97,94%

### 3.6. Caracterización del cemento asfáltico

#### 3.6.1. Control de calidad realizados del cemento asfáltico

Para realizar el diseño óptimo se realizó la evaluación y la caracterización del cemento asfáltico STRATURA 85-100.

#### 3.6.2. Ensayo de penetración (AASHTO T49-97) (ASTMD-5)

La penetración se define como la distancia, expresa en décimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C durante un tiempo de 5 segundos y una carga móvil total. Incluida la aguja, de 100 gramos.

## Procedimiento

Separar una muestra de 400 a 500 gramos de material, colocar en un recipiente que se calienta cuidadosamente hasta que este fluido, vaciar en 3 moldes. Dejar enfriar a temperatura ambiente y colocar en baño María por 25 minutos a 25 °C.

Una vez transcurrido el tiempo de inmersión, aproximar la aguja del penetrómetro hasta que la punta toque la superficie de la muestra, sin que penetre.

Se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetros, que haya penetrado la muestra.

Figura 3.20. Ensayo de penetración



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.22. Datos del ensayo de penetración

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
						Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm) AASHTO T-49	Lectura N°1	94	87	94			
	Lectura N°2	90	89	92			
	Lectura N°3	88	92	89			
	Promedio	mm.	91	89	92	91	85

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.3. Ensayo punto de inflamación (AASHTO T 79- 96) (ASTM D 1310-01)

El punto de inflamación del cemento asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separa materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación del betún asfáltico indica la temperatura a la cual puede calentarse el material sin peligro de inflamación en presencia de llama libre. Esta temperatura es usualmente muy inferior a aquella que el material ardería. Esta última temperatura se llama punto de juego, pero rara vez se incluye a las temperaturas de los betunes asfálticos.

#### Procedimiento

Llenar la copa con cemento asfáltico, hasta la marca de enrase. Colocar el termómetro de capacidad 360°C por encima de 6.50 mm de la base de la copa. Cuando la temperatura de la muestra esté por debajo del punto de llama esperado, disminuir el calor y empezará a pasar un fósforo por encima de la superficie para ir controlando la temperatura y el punto de inflamación, la lectura sobre el termómetro será el punto de inflamación.

Figura 3.21. Ensayo de punto de inflamación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.23. Datos del ensayo punto de inflamación de las muestras analizadas

<b>Punto de inflamación AASHTO T-48</b>						
<b>Unidad</b>	<b>Ensayo 1</b>	<b>Ensayo 2</b>	<b>Ensayo 3</b>	<b>Promedio</b>	<b>Especificaciones</b>	
					Mínimo	Máximo
°C	>276	>274	>273	<b>&gt;274</b>	>232	-

Fuente: Elaboración propia

**Cálculo:**

Realizando la media del cálculo del ensayos

**Resultado: 274°C**

**3.6.4. Ensayo peso específico del asfalto (AASHTO T-229 - 97) (ASTM D-71)**

Se realiza este ensayo para conocer el peso específico del producto asfáltico, el cual es un dato útil para realizar las correcciones de volumen cuando este se mide a temperaturas elevadas. Además, se emplea también como un factor para determinar huecos en mezclas asfálticas para pavimentaciones compactadas. Es un dato necesario para el diseño Marshall.

El peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C. El peso específico es la relación del peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas específicas. Así, un peso específico de 1,05 significa que el material pesa 1.05 veces lo que el agua a la temperatura fijada.

Figura 3.22. Ensayo peso específico del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.24. Datos del ensayo de peso específico del cemento asfáltico 85 - 100

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
						Mínimo	Máximo
Peso Picnómetro	grs.	35,1	33,9	34,1			
Peso Picnómetro + Agua (25°C)	grs.	86,73	87,2	86,9			
Peso Picnómetro + Muestra	grs.	59,2	59,3	60,1			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	grs.	87,15	87,7	87,4			
Peso Específico	grs./cm <sup>3</sup>	<b>1,015</b>	<b>1,017</b>	<b>1,017</b>	<b>1,016</b>	1	1,05

Fuente: Elaboración propia

Realizando el cálculo de la media de los ensayos:

Resultado:

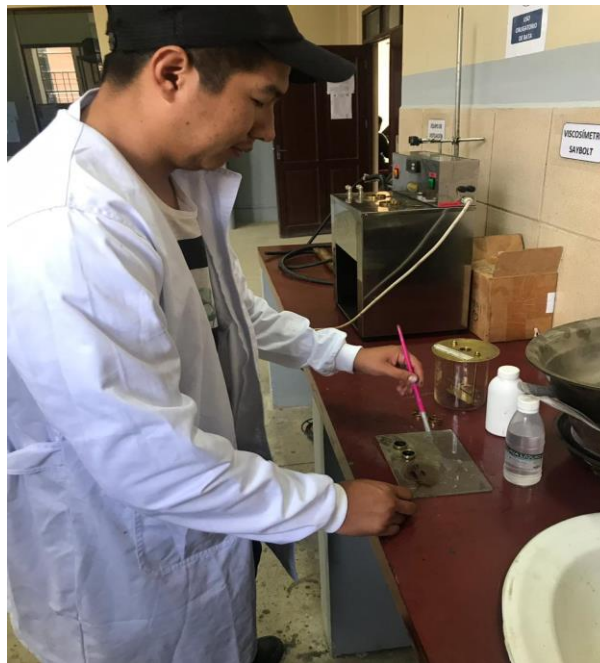
$$\text{Peso específico del cemento asfáltico} = 1,016 \text{ gr/cm}^3$$

### 3.6.5. Ensayo punto de ablandamiento (AASHTO T53-96) (ASTM D-36)

Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentra en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados. Consiste en llenar de asfalto fundido un anillo de latón de dimensiones normalizadas, la muestra así preparada se suspende en un baño de agua y sobre el centro de la muestra se sitúa una bola de acero de dimensiones y peso específico. A continuación, se calienta el baño a una velocidad determinada y se anota la temperatura en el momento en que la bola de acero toca el fondo del vaso de cristal. Esa temperatura se llama punto de ablandamiento del asfalto.

Figura 3.23. Ensayo de punto de ablandamiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.24. El cemento asfáltico a temperatura de fluidez



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.25. Datos del ensayo punto de ablandamiento de muestras realizadas

ENSAYO	UNIDAD	ENSAYO 1	ENSAYO 2	ENSAYO 3	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES	
						Mínimo	Máximo
<b>Punto de ablandamiento</b>	°C	42,0	45,0	46,0	44	42	53

Fuente: Elaboración propia

Realizando el cálculo de la media de los ensayos:

Resultado:

**Punto de ablandamiento del Cemento Asfáltico = 42°C**

### 3.6.6. Ensayo de ductilidad (ASTM D113)( AASHTO T51-00)

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elonga) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, se traccionan a la



velocidad y temperatura especificadas, el ensayo se efectúa a una temperatura de  $25 \pm 0.5$  °C y a una velocidad de  $5 \text{ cm/min} \pm 5\%$ .

### **Procedimiento**

El material se calienta cuidadosamente, hasta que esté lo suficientemente fluido para verterlo en los moldes.

Preparar el molde poniendo en la base un material lubricante, obtenido de la mezcla de vaselina líquida con talco, para que no se adhiera el cemento asfáltico a la base del molde normalizado. Echar cuidadosamente el cemento asfáltico fluido hasta el borde del molde dejar enfriar a temperatura ambiente por media hora, después sumergir a baño María por media hora a  $25$  °C.

Enganchar los anillos de cada extremo de los clips a las clavijas del ductilímetro y sepárelos a la velocidad uniforme especificada hasta la ruptura de la briqueta, lecturar la distancia a la que ocurrió la ruptura.

Nota: se debe tener cuidado con la formación de burbujas ya que estas pueden suspender el cemento asfáltico cuando esté en su punto más delgado.

Figura 3.25. Preparación de los moldes para ductilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26. Controlando la ductilidad del cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.27. Muestras más los moldes a 25 ° C



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.26. Resultado del ensayo de ductilidad

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio	Especificaciones	
						Mínimo	Máximo
<b>Ductilidad a 25°C AASHTO T-51</b>	cm.	110	105	98	<b>104</b>	>100	-

Fuente: Elaboración propia

Realizando el cálculo de la media de los ensayos:

Resultado:

**Ductilidad del cemento asfáltico = 104 cm**

Tabla 3.27. Resultados de la caracterización de cemento asfáltico y comparación con la norma ASTM

ENSAYO	PROMEDIO	ESPECIFICACIONES		Norma
		Mínimo	Máximo	
Peso Específico (gr/cm <sup>3</sup> )	1,016	1	1,05	ASTM D-70
Punto de ablandamiento °C	44	42	53	ASTM D-36
Punto de Inflamación AASHTO T-48	<b>&gt;232</b>	>232	-	D 1310-01
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm) AASHTO T-49	85	100	91	D-5
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	<b>100</b>	>100	-	D-113

Fuente: Elaboración propia

### 3.7. Diseño de la mezcla asfáltica por el método de Marshall para obtener el contenido óptimo de C.A.

En la presente investigación se realiza la mezcla de agregados provenientes de la planta de asfaltos del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA).

Para el diseño de dicha faja se utilizó los materiales que se disponía, tanto para el agregado grueso, intermedio y fino; con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 35% de agregado grueso de 3/4", 26% de agregado intermedio de 3/8", y 39% de agregado fino.

A continuación, se muestra la granulometría formada y sus rangos según especificaciones:

### 3.7.1. Granulometría de la mezcla y dosificación para la mezcla asfáltica

Tabla 3.28. Dosificación para la mezcla asfáltica

		<b>Grava</b>	<b>Gravilla</b>	<b>Arena</b>	<b>Filler</b>
<b>Tamices</b>	<b>tamaño</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>	<b>(%)</b>
	<b>(mm)</b>	<b>35,00</b>	<b>26,00</b>	<b>37,00</b>	<b>2,00</b>
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4"	19,0	28,21	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,5	1005,73	0,00	0,00	0,00
3/8"	9,50	428,19	18,46	0,00	0,00
Nº4	4,75	250,99	842,53	7,77	0,00
Nº8	2,36	0,28	391,04	408,30	0,00
Nº16	1,18	0,00	25,03	441,23	0,00
Nº30	0,60	0,00	0,65	370,56	0,00
Nº50	0,30	0,00	2,73	284,90	0,00
Nº100	0,15	0,00	1,30	159,29	0,00
Nº200	0,075	0,00	9,17	90,47	0,00
BASE	-	36,61	9,10	87,51	100,00

Fuente: Elaboración propia

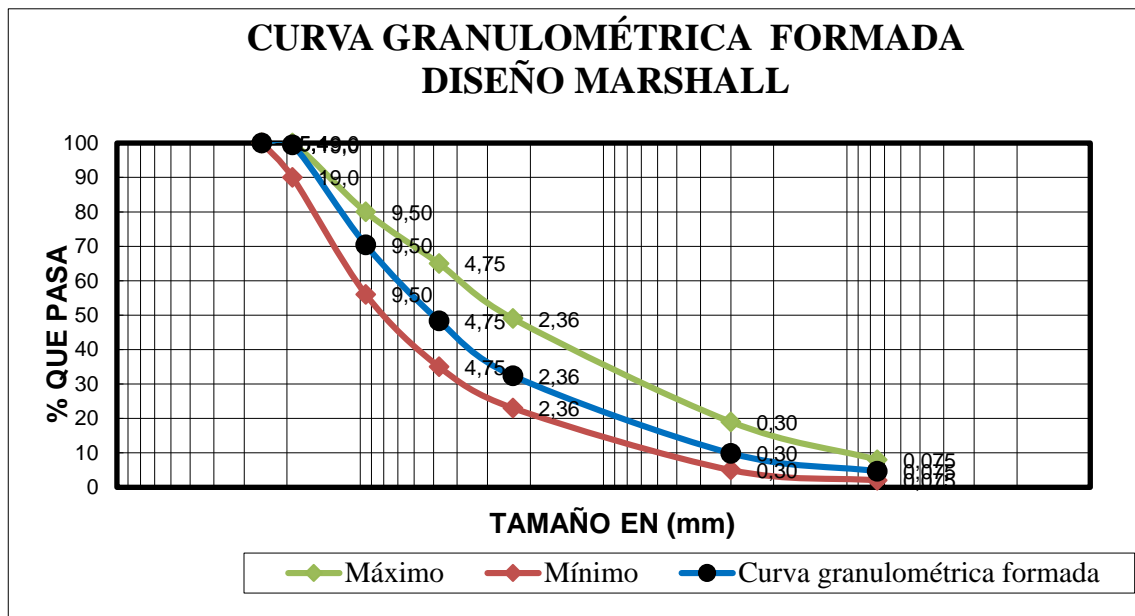
Tabla 3.29. Granulometría formada y especificaciones

Tamices	tamaño (mm)	TOTAL			
		Peso Ret. 100,00	Ret. Acum	% Ret	% que pasa del total
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	28,21	28,21	0,56	99,44
1/2"	12,5	1005,73	1033,94	20,68	79,32
3/8"	9,50	446,65	1480,59	29,61	70,39
Nº4	4,75	1101,29	2581,87	51,64	48,36
Nº8	2,36	799,62	3381,49	67,63	32,37
Nº16	1,18	466,25	3847,74	76,95	23,05
Nº30	0,60	371,21	4218,94	84,38	15,62
Nº50	0,30	287,63	4506,57	90,13	9,87
Nº100	0,15	160,59	4667,16	93,34	6,66
Nº200	0,075	99,63	4766,79	95,34	4,66
BASE	-	233,22	5000,00	100,00	0,00

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la gráfica que indica que la granulometría está dentro de los parámetros establecidos por la norma.

Grafico 3.4. Granulometría formada



Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2. Determinación del contenido de cemento asfáltico (tentativo)

El contenido de asfalto tentativo se calcula en base al análisis granulométrico del agregado. Usamos el método del instituto del asfalto (USA).

Para la determinación del contenido óptimo del cemento asfáltico se procede a realizar el diseño de 18 briquetas mediante el método de Marshall, con porcentajes diferentes de cemento asfáltico para conocer el porcentaje óptimo a utilizar.

- Determinación de la cantidad aproximada de cemento asfáltico:

$$\%A = 0,035*a + 0,045*b + k*c + F$$

Donde:

%A= % de asfalto en la mezcla

a= % retenido de tamiz N°8

b= % pasante del tamiz N°8

c = % agregado que pasa la malla N° 200

K= 0.15, si el % que retiene el tamiz ¾" está entre 11% y 15 %, 0.18, si el % que retiene esta entre 6% y 10%, 0.20, si el % que retiene es el 5% o menos.

F= de 0 a 2 % que varía según la absorción del material (se puede asumir 0.7)

#### Proceso de cálculo

$$\%A = 0,0335*67,63 + 0,045*32,37 + 0,2*4,66 + 0,7$$

$$\%A = 5,4557 \% \approx 5,5 \%$$

Los porcentajes para los que se trabajaran en las diferentes briquetas son las siguientes:

-1,50 % de contenido aproximado de cemento asfáltico= 4,00%

-1,00 % de contenido aproximado de cemento asfáltico= 4,50%

+0,50 % de contenido aproximado de cemento asfáltico= 5,00%

+1,00 % de contenido aproximado de cemento asfáltico= 5,50%

+1,50 % de contenido aproximado de cemento asfáltico= 6,00%

+2,00 % de contenido aproximado de cemento asfáltico= 6,50%

Realizaremos 3 briquetas por cada porcentaje de cemento asfáltico y agregaremos el dicho porcentaje en peso de la muestra total de material petreo con un peso total de 1200 gr.

### **Preparación de las probetas**

Para la dosificación se utilizó la granulometría ya calculada anteriormente.

Para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico se va a preparar 6 grupos de briquetas para la mezcla de agregados, de forma que las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor optimo bien definido, cada grupo con diferentes contenidos de cemento asfáltico. Este contenido varia con el incremento de  $\pm 0.5$  % de un grupo a otro.

De esta forma varia los pesos de los agregados según varié la proporción de cemento asfáltico

Tabla 3.30. Datos para realizar la dosificación con los diferentes porcentajes de C.A.

<b>Grupo de contenido de cemento asfáltico (%)</b>	<b>N° de muestras</b>
4,00	3
4,50	3
5,00	3
5,50	3
6,00	3
6,50	3
<b>Total</b>	<b>18</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.31. Pesos de los agregados y cemento asfáltico para los diferentes porcentajes de cemento asfáltico

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%
Porcentaje de agregado (%)	96,0%	95,5%	95%	94,5%	94,0%	93,5%
Peso de cemento asfáltico (gr)	48,00	54,00	61,08	66,00	72,00	78,00
Peso de grava (gr)	403,20	401,10	398,62	396,90	394,80	392,70
Peso de gravilla (gr)	299,52	297,96	296,12	294,84	293,28	291,72
Peso de arena (gr)	426,24	424,02	421,40	419,58	417,36	415,14
Peso de filler(suelo) (gr)	23,04	22,92	22,78	22,68	22,56	22,44
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

La anterior tabla muestra las cantidades de agregado y cemento asfáltico a utilizar para realizar las briquetas y obtener los diferentes puntos, de esta manera mediante las gráficas encontrar un porcentaje óptimo de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla asfáltica.

La anterior tabla muestra las cantidades de agregado y cemento asfáltico a utilizar para realizar las briquetas y obtener los diferentes puntos, de esta manera mediante las gráficas encontrar un porcentaje óptimo de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla asfáltica.

### 3.7.3. Desarrollo de las briquetas

La preparación de las muestras se realizó en el “Laboratorio de Asfaltos” de la **Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”**, donde se realizaron 6 puntos de contenidos de cemento asfáltico para la determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico en la mezcla.

Antes de preparar la mezcla asfáltica, se debe calentar el conjunto de molde y la base de compactación a una temperatura entre 100-150 °C. Por un lado se pesa en fuentes los distintos tipos de los agregados calculados para una briqueta de 1200 g, por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura superior a 100 °C, hasta que este fluido. Mezclar los agregados con el cemento asfáltico, agitar durante el calentamiento de la mezcla para evitar sobrecalentamientos locales y evitar un envejecimiento prematuro de la mezcla asfáltica Cuando la mezcla haya alcanzado los 140°C, se debe vaciar con una



cuchara en el molde abierto, previamente pasado con un poco de aceite, para el desmolde de briqueta y un papel filtro en la base, para que la muestra se pueda quitar fácilmente después de haber enfriado. El molde tiene un diámetro interior de 4”, la compactación se hace usando un martillo de 10 lb de peso, el martillo tiene una altura de caída libre de 18”. Para el diseño de la mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 15 briquetas, con las dosificaciones indicadas en la tabla 3.26. Se extraen las muestras con la ayuda de un gato hidráulico.

Figura 3.28. Proceso de elaboración de briquetas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.29. Agregado más cemento asfáltico para realizar la mezcla



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.30. Proceso de compactado de briquetas



Fuente: Elaboración propia

Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro y 3" de altura. La compactación se hace usando un anillo especial compuesto de: un disco circular de 3 7/8" de diámetro que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre el disco, el peso del martillo es de 10 libras y la altura de caída libre es de 18".

Para el diseño de una mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briketa en la compactación, proyectada para vías de tráfico pesado y se fabricaron 21 briketas. El molde, conteniendo la briketa se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briketa mediante un extractor hidráulico.

Figura 3.31. Extractor hidráulico



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.32. Muestras acabadas



Fuente: Elaboración propia

#### **3.7.4. Ensayo Marshall**

Una vez extraído las briquetas de los moldes se proceden a realizar el ensayo de flujo y estabilidad en la prensa.

Primero se debe medir con un vernier las alturas en cuatro puntos de la briqueta y de esta manera determinar su altura media que será corregida mediante un factor de corrección. Antes de realizar el ensayo las muestras deben ser sumergidas en baño María de agua a  $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$  durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas, la temperatura de las mismas se debe mantener entre  $21^{\circ}\text{C}$  y  $38^{\circ}\text{C}$ . si es inferior, deberán calentarse en baño de agua hasta alcanzar la temperatura indicada. Se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite de tal forma que la mordaza superior deslice fácilmente sin pegarse. Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que es indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero.

Se coloca la briqueta en las mordazas y aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de 50.8 mm por minuto ( $2''$  /minuto) hasta que se produzca la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a  $60^{\circ}\text{C}$  se anota como valor estabilidad Marshall. Mientras se realiza el ensayo de estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima;

se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

Figura 3.33. Muestra sometida a baño María



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.34. Ensayo Marshall, estabilidad y fluencia



Fuente: Elaboración propia

### 3.7.5. Ensayos para determinar la densidad de la briqueta

Para un mejor entendimiento se desarrollará el ensayo de una briqueta convencional paso a paso, al concluir se adjuntara la tabla resumen.

#### **Briquetas**

A las briquetas se les asignó un número, dependiendo el porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla.

Tabla 3.32. Número de briquetas

<b>Porcentaje de cemento asfáltico</b>	<b>5,0 %</b>	7
		8
		9

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.6. Altura de las briquetas

Se miden las alturas de las briquetas después de haber procedido la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 5.0 % sus alturas correspondientes son las siguientes.

Tabla 3.33. Altura media de cada briketa

<b>Numero</b>	<b>Altura (cm)</b>
7	6,2
8	6,2
9	6,27

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.7. Base de mezcla y agregado

Para la base de mezcla se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 5,0 %.

Mientras que para la base de agregado se realiza el siguiente procedimiento de cálculo.

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

$$\text{Base del agregado} = \frac{5,0 * 100}{100 - 5,0}$$

$$\text{Base del agregado} = 5,26 \%$$

### 3.7.8. Peso seco de briqueta

El peso de la briqueta en el aire consiste en medir su peso después de sacarlo del molde.

Tabla 3.34. Peso seco de las briquetas

Numero	Peso seco de la briqueta (gr)
7	1161,12
8	1162,53
9	1159,45

Fuente: Elaboración

propia

### 3.7.9. Peso de briqueta en el aire saturado y superficialmente seco (s.s.s.)

El peso de la briqueta saturado superficialmente seco consiste en medir su peso una vez secada la briqueta después de estar sumergida en agua por un lapso de 30 minutos a 25 °C.

Tabla 3.35. Peso de briqueta superficialmente seca

Numero	Peso s.s.s. de la briqueta (gr)
7	1166,3
8	1166,9
9	1164,8

Fuente: Elaboración propia

### 3.8. Peso de briqueta sumergida en agua

El peso de la briqueta sumergida en agua consiste en medir su peso una vez sumergida en agua a 25°C.

Tabla 3.36. Peso de briqueta sumergida en agua

Numero	Peso sumergida en agua de la briqueta (gr)
7	680
8	678
9	677

Fuente: Elaboración propia

### 3.8.1. Volumen de la briqueta

Para este proceso de cálculo se realiza para la briqueta número 7.

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

$$\text{Vol. briqueta} = 1166,3 - 680$$

$$\text{Vol. briqueta} = 486,3 \text{ cm}^3$$

### 3.8.2. Densidad de la briqueta

Para este proceso de cálculo se realiza para la briqueta número 7.

#### Densidad real

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

$$\text{Densidad real} = \frac{1161,12}{486,3}$$

$$\text{Densidad real} = 2,38 \text{ gr/cm}^3$$

### Densidad máxima teórica de la briqueta

$$\text{Densidad maxima teórica} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{asfalto}}{\text{Peso espe. asfalto}}\right) + \left(\frac{100 - \% \text{asfalto}}{\text{Peso espe. agregado grueso}}\right)}$$

$$\text{Densidad maxima teórica} = \frac{100}{\left(\frac{5,0}{1,016}\right) + \left(\frac{100 - 5,0}{2,66}\right)}$$

$$\text{Densidad maxima teórica} = 2,46 \text{ gr/cm}^3$$

### 3.8.3. Porcentaje de vacíos

Para este proceso de cálculo se realiza para la briqueta identificada como 1.

#### Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$V_v = \left(\frac{D_{\text{maxT}} - \text{Dens. promedio}}{D_{\text{maxT}}}\right) * 100$$

$$V_v = \left(\frac{2,46 - 2,38}{2,46}\right) * 100$$

$$V_v = 3,76 \%$$

#### Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.A.M)

$$VAM = \left(\frac{\% \text{ de asfl.} * \text{Dens. promedio}}{\text{Peso específico del asfalto}}\right) + V_v$$

$$VAM = \left(\frac{5,0 * 2,38}{1,016}\right) + 3,76$$

$$VAM = 15,47 \%$$

#### Porcentajes de vacíos llenos de asfalto (R.B.V.)

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



$$RBV = \left( \frac{15,47 - 3,76}{15,47} \right) * 100$$

$$RBV = 75,72 \%$$

### 3.8.4. Estabilidad y fluencia

La estabilidad y fluencia son propiedades que se obtienen a partir de la prensa Marshall.

Tabla 3.37. Estabilidad y fluencia

Numero	Lectura ideal	
	Estabilidad	Fluencia
7	1050	16
8	1168	17
9	1176	18

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.38. Estabilidad real

Numero	Lectura (lb)	
	Estabilidad	Real
7	1050	2809,22
8	1168	3126,97
9	1176	3148,51

Fuente: Elaboración propia

Se procede a realizar la corrección por la altura de la briqueta con la siguiente fórmula:

$$\text{Estabilidad corregida} = \text{Estabilidad} * \text{Factor de corrección de Altura}$$

Donde:

Factor de corrección de Altura = Es el factor de corrección de acuerdo a la altura de la briqueta según el método Marshall cuando la altura es diferente de 63.43 cm.

Tabla 3.39. Altura promedio y factor de corrección por altura

<b>Numero</b>	<b>Promedio de altura (cm)</b>	<b>Factor de corrección por altura</b>	<b>Promedio del factor de corrección</b>
<b>7</b>	6,2	1,04	1,03
<b>8</b>	6,2	1,04	
<b>9</b>	6,27	1,021	

Fuente: Manual de la ABC vol. 4 tabla A0608\_1Factor de Corrección por altura para estabilidad Marshall (Normativa AASHTO)

Tabla 3.40. Estabilidad corregida

<b>Numero</b>	<b>Estabilidad real (lb)</b>	<b>Factor de corrección</b>	<b>Estabilidad corregida</b>	<b>Estabilidad promedio (lb)</b>
<b>7</b>	2809,22	1,04	2921,59	3129,42
<b>8</b>	3126,97	1,04	3252,05	
<b>9</b>	3148,51	1,021	3214,63	

Fuente: Elaboración propia

Para la lectura de la fluencia medida en la prensa Marshall:

Tabla 3.41. Fluencia en la prensa Marshall

<b>Numero</b>	<b>Lectura dial fluencia (plg)</b>	<b>Promedio</b>
<b>7</b>	16,00	17,00
<b>8</b>	17,00	
<b>9</b>	18,00	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.42. Resultados de la estabilidad y fluencia

Identificación	Estabilidad		Especificación (lb)	Fluencia		Especificación (plg)
	Real corregida (lb)	Promedio (lb)		Lectura (plg)	Promedio (plg)	
1	2921,59	3129,42	>1800	16,00	17	8 a 17
2	3252,05			17,00		
3	3214,63			18,00		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.43. Resultados peso de la briqueta

N° de probeta	Altura de probeta	% de asfalto		Peso briqueta		
		Base mezcla	Base agregados	Seco	Sat. sup. seca	Sumergida en agua
		%	%	grs.	grs.	grs.
1	6,28	4	4,17	1167,69	1173,5	680
2	6,36			1177,32	1180	677
3	6,48			1171,92	1178,3	669
4	6,24	4,5	4,71	1160,13	1164,9	676
5	6,28			1161,44	1164,2	674
6	6,29			1163,51	1168,3	675
7	6,2	5	5,26	1161,12	1166,3	680
8	6,2			1162,53	1166,9	678
9	6,27			1159,45	1164,8	677
10	6,15	5,5	5,82	1161,53	1164,6	678
11	6,27			1160,44	1165,9	675
12	6,18			1161,73	1164,2	681
13	6,1	6	6,38	1151,82	1156,3	669
14	5,91			1148,15	1153,7	673
15	6,06			1145,19	1152,3	670
16	6,2	6,5	6,95	1145,83	1161	674
17	6,26			1159,28	1165,7	673
18	6,26			1154,18	1160,1	667

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.44. Resultados densidad de la briqueta y % de vacíos

N° de probeta	Altura de probeta	Densidad briqueta		% de vacios	
		Densidad promedio	Densidad maxima teorica	% de vacios mezcla total	R.B.V. (relacion betumen vacios)
		gr/cm3	gr/cm3	%	%
1	6,28	2,34	2,51	7	56,79
2	6,36				
3	6,48				
4	6,24	2,37	2,49	5,04	67,53
5	6,28				
6	6,29				
7	6,2	2,38	2,47	3,76	75,72
8	6,2				
9	6,27				
10	6,15	2,39	2,46	2,86	81,88
11	6,27				
12	6,18				
13	6,1	2,38	2,44	2,52	84,77
14	5,91				
15	6,06				
16	6,2	2,35	2,42	2,9	83,82
17	6,26				
18	6,26				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.45. Resultados estabilidad Marshall y fluencia

Estabilidad Marshall					Fluencia		
lectura del dial	carga	factor de correccion de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	lectura dial del flujo	fluencia real	Fluencia promedio
mm	libras	-	libras	libras	-	-	0,01 pulg
996	2663,81	1,019	2714,42	2491,63	14	0,006	15
999	2671,89	0,9975	2665,21		16	0,006	
811	2165,64	0,9675	2095,26		15	0,006	
1049	2806,53	1,029	2887,92	2924,90	15	0,006	16
1098	2938,47	1,019	2994,30		16	0,006	
1064	2846,92	1,016	2892,47		17	0,007	
1050	2809,22	1,04	2921,59	3129,42	16	0,006	17
1168	3126,97	1,04	3252,05		17	0,007	
1176	3148,51	1,021	3214,63		18	0,007	
984	2631,49	1,056	2778,86	2943,14	17	0,007	18,33
1067	2855,00	1,021	2914,95		18	0,007	
1120	2997,71	1,046	3135,61		20	0,008	
986	2636,88	1,071	2824,10	2614,61	20	0,008	19,67
842	2249,12	1,131	2543,75		20	0,008	
855	2284,12	1,084	2475,99		19	0,007	
730	1947,52	1,04	2025,42	1940,31	22	0,009	21,33
689	1837,12	1,024	1881,21		21	0,008	
701	1869,43	1,024	1914,30		21	0,008	

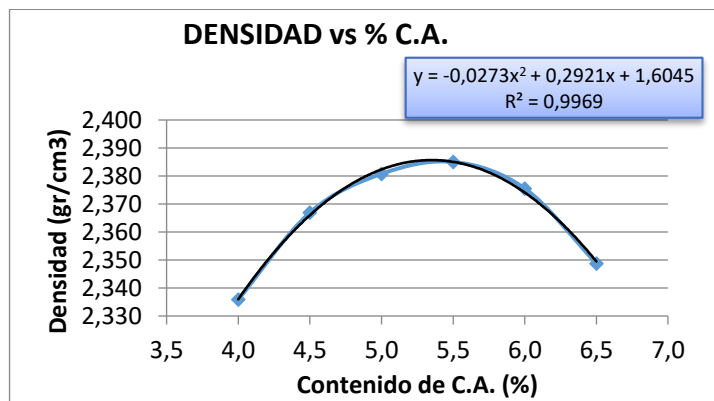
Fuente: Elaboración propia

Obtenido todos los valores se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones.

- Densidad de la briqueta vs porcentaje de cemento asfáltico
- Porcentaje de vacíos de la mezcla vs porcentaje de cemento asfáltico
- Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) vs porcentaje de cemento asfáltico
- Porcentajes de vacíos llenos de asfalto (R.B.V.) vs porcentaje de cemento asfáltico
- Estabilidad vs porcentaje de cemento asfáltico
- Fluencia vs porcentaje de cemento asfáltico

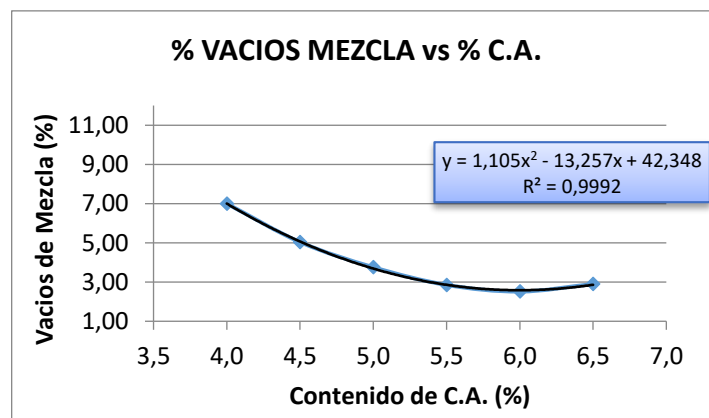
Gráficos de curvas de diseño de la mezcla asfáltica método Marshall, para encontrar el contenido óptimo.

Gráfico 3.5. Densidad vs % de cemento asfáltico



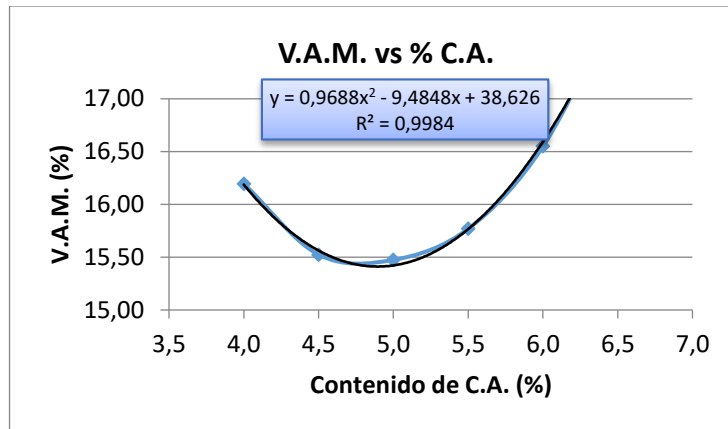
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.6. % de vacíos de la mezcla vs % de cemento asfáltico



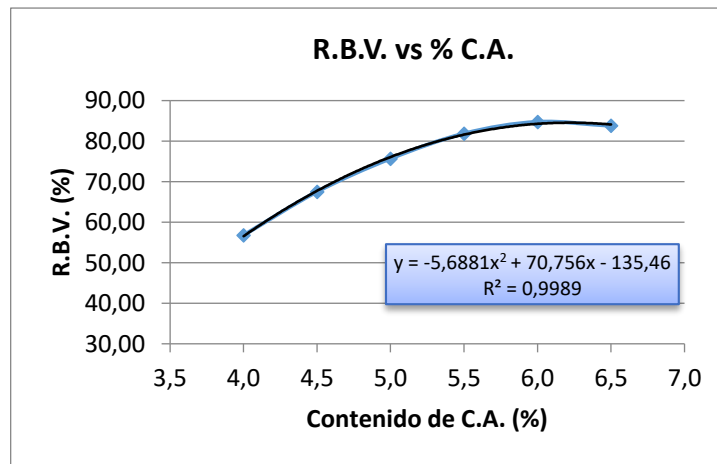
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.7. Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) vs % de cemento asfáltico



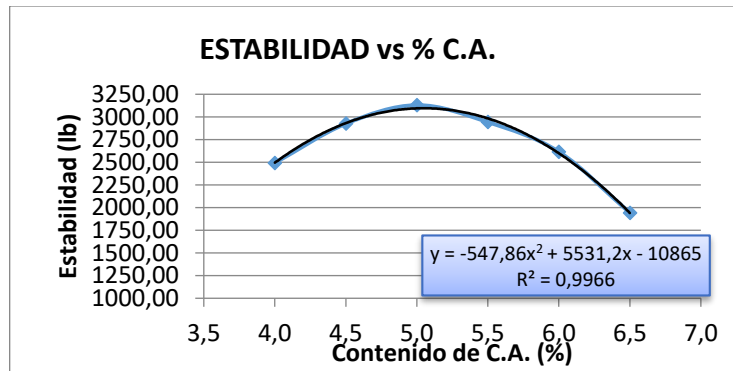
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.8. % de vacíos llenos de asfalto (R.B.V.) vs % de cemento asfáltico



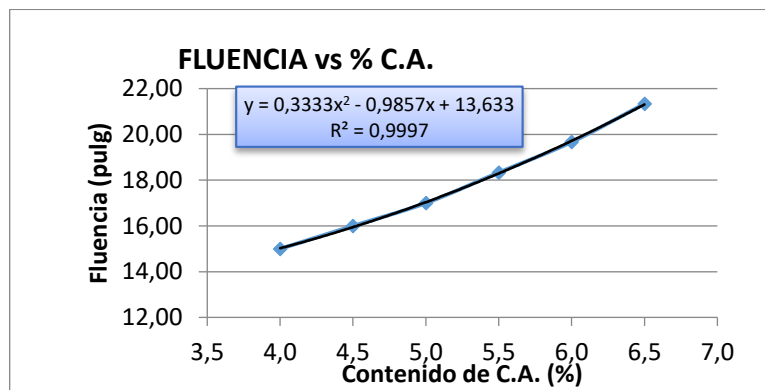
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.9. Estabilidad vs % de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.10. Fluencia vs % de cemento asfáltico



Fuente: Elaboración propia

Los valores que se deben promediar.

Tabla 3.46. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica

	Ensayo	Valor de diseño	% de C.A.
Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Estabilidad Marshall (Lb)	3095,760	5,05
	Densidad máxima (gr/cm3)	2,386	5,35
	Vacíos de la mezcla (%)	4,000	4,87
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio	5,09

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.47. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% De asfalto	Valores con % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,09	2,386	-----	-----
% Vacíos	5,09	3,76	<b>3,00</b>	<b>5,00</b>
R.B.V.	5,09	75,72	<b>75,00</b>	<b>82,00</b>
V.A.M.	5,09	15,47	<b>13,00</b>	-----
Estabilidad (lb)	5,09	3095,76	<b>&gt;1800 lb. (75 golpes)</b>	
Fluencia	5,09	15,28	<b>8,00</b>	<b>16,00</b>
<b>% óptimo de cemento asfáltico</b>			<b>5,09</b>	

Fuente: Elaboración propia

### 3.9. Briquetas con el cemento asfáltico óptimo y dosificación óptima para el análisis del Shakedown en los materiales granulares

Se realizó 30 briquetas las cuales fueron elaboradas con las cantidades óptimas de grava, gravilla, arena y cemento asfáltico del 5.09%

Tabla 3.48. Resultados del peso óptimo del agregado

Grava (gr)	Gravilla(gr)	Arena(gr)	Filler(gr)	Peso total de agregado(gr)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6,43	0,00	0,00	0,00	6,43
229,09	0,00	0,00	0,00	229,09
97,53	4,20	0,00	0,00	101,74
57,17	191,92	1,77	0,00	250,86
0,06	89,07	93,00	0,00	182,14
0,00	5,70	100,50	0,00	106,20
0,00	0,15	84,41	0,00	84,55
0,00	0,62	64,90	0,00	65,52
0,00	0,30	36,28	0,00	36,58
0,00	2,09	20,61	0,00	22,69
8,34	2,07	19,93	22,78	53,12
398,62	296,12	421,40	22,78	1138,92

Fuente: Elaboración propia



Tabla 3.49. Cantidad óptima agregado-cemento asfáltico

Porcentaje de cemento asfáltico (%)	5,09%
Porcentaje de agregado (%)	94,9%
Peso de cemento asfáltico (gr)	61,08
Peso de grava (gr)	398,62
Peso de gravilla (gr)	296,12
Peso de arena (gr)	421,40
Peso de filler(suelo) (gr)	22,78
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00

Fuente: Elaboración propia.

### 3.9.1. Análisis del Shakedown en los materiales granulares de la capa Asfáltica

El análisis del Shakedown es la aplicación de cargas cíclicas sobre la capa asfáltica la cual generan deformación proporcionalmente con repeticiones de cargas generadas.

El principal factor que influye en la generación de la deformación de la capa asfáltica son las cargas cíclicas. El Shakedown genera una deformación con cada aplicación de carga, se simula cada vez que un vehículo aplica una carga, una deformación pequeña, pero permanente se ocasiona la deformación en la capa asfáltica e incrementa proporcionalmente cuando se aumenta el esfuerzo cíclico. Dependiendo del esfuerzo cíclico la mezcla asfáltica experimenta comportamientos diferentes. Si la carga es pequeña el comportamiento es casi totalmente recuperable. Si esta carga es elevada (cercana al valor de falla) el material exhibe una deformación que puede llevarlo a la falla y deformación total.

Atraves del análisis del Shakedown en la capa asfáltica del pavimento se puede estimar el comportamiento futuro del material en la mezcla cuanto estos tienden a resistir cargas cíclicas la cual generan deformación en el pavimento.

Para realizar el análisis de Shakedown en la capa asfáltica el ensayo previsto para realizar este análisis es el del ensayo Fénix cuyo equipo no se dispone en la universidad se simulo usando 2 apoyos para poder aplicar carga diametral con el equipo de CBR para evaluar la carga resistente a la deformación de la mezcla asfáltica y el comportamiento del material granular que lo compone la misma.

Se lo realiza usando el equipo de CBR con ayuda de los apoyos para ejercer carga cíclica que produce la deformación en la capa asfáltica como condición cíclica, si bien no es exactamente el tipo de carga cíclica pero ejerce un esfuerzo que provoca dinámicamente la deformación que puede ser medida y evaluada la mezcla asfáltica.

Por lo tanto, se realizó el ensayo simulando una capa asfáltica que se realizó con la dosificación óptima calculada y el porcentaje de cemento asfáltico óptimo. Para el análisis se midió la deformación a diferentes ciclos de cargas 25 – 50 y 75 ciclos generados usando la prensa de CBR y los apoyos fabricados por un tornero. Se lectura las deformaciones generadas mediante lecturas del dial deformación (mm).

Figura 3.35. Fabricación de los apoyos para simulación de cargas cíclicas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.36. Apoyos para la briqueta



Fuente: Elaboración propia

Con este análisis se buscó simular las cargas cíclicas generadas sobre las mezclas asfálticas que a medida que aumenta la variación de carga por diferentes ciclos el comportamiento de la mezcla es totalmente variable con respecto al número de ciclos.

Figura 3.37. Prensa de CBR con los respectivos apoyos aplicando cargas cíclicas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.38. Aplicación de carga a distintos ciclos



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.39. Briquetas a analizar a 25 ciclos



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.40. Comportamiento de la mezcla asfáltica después de 25 ciclos generados



Fuente: Elaboración propia

Se pudo apreciar la deformación total después de haber generado 25 cargas cíclicas sobre la briqueta, la acumulación de deformación permanente bajo carga repetida ha recibido menos deformación en relación carga –deformación.

La deformación permanente fue medida durante la aplicación de 25 cargas cíclicas, encontrándose que en todos los materiales, la acumulación de deformación fue insignificante por el número de repeticiones de ciclos.

Figura 3.41. Comportamiento de la mezcla asfáltica después de 50 ciclos generados



Fuente: Elaboración propia

la deformación total después de haber generado 50 cargas cíclicas sobre la briqueta, la acumulación de deformación permanente bajo carga repetida ha recibido menos deformación en relación carga –deformación.

La deformación permanente fue medida durante la aplicación de 50 cargas cíclicas, encontrándose que en todos los materiales, la acumulación de deformación fue mayor influyendo en los materiales granulares que componen la briqueta y reduciendo su resistencia por el número de repeticiones de ciclos.

Figura 3.42. Comportamiento de la mezcla asfáltica después de 75 ciclos generados



Fuente: Elaboración propia

La deformación total después de haber generado 75 cargas cíclicas sobre la briqueta, la acumulación de deformación permanente bajo carga repetida ha recibido mucho mayor de deformación en relación carga –deformación.

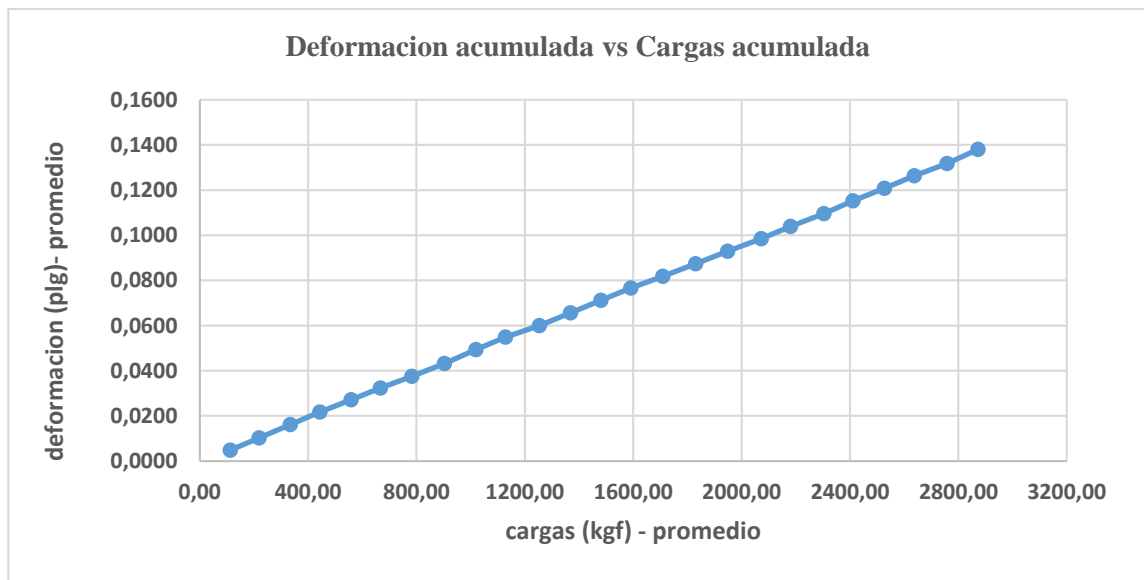
La deformación permanente fue medida durante la aplicación de 75 cargas cíclicas, encontrándose que en todos los materiales, la acumulación de deformación fue mayor influyendo en los materiales granulares que componen la briqueta y reduciendo su resistencia por el número de repeticiones de ciclos.

### **3.9.2. Análisis promedio deformación generada por cargas cíclicas**

En los primero ciclos de carga la deformación es considerable al incrementar el número de repeticiones la deformación resiliente en cada aplicación de carga cíclica decrece.

Es bien sabido que las capas asfálticas experimentan alguna deformación permanente después de cada aplicación de carga. Sin embargo, si la carga es pequeña no genera una deformación considerable la cual por su propiedad de resiliencia el pavimento tiende a ser recuperable sin embargo si se repite un gran número de veces las cargas (cíclicas) la deformación bajo cada repetición de carga cíclica llega a acumular una deformación permanente proporcional a la magnitud de la carga cíclica generando deformación considerable hasta llegar a la falla.

Gráfico 3.11. Deformación acumulada vs Cargas acumuladas - promedio – 25 ciclos



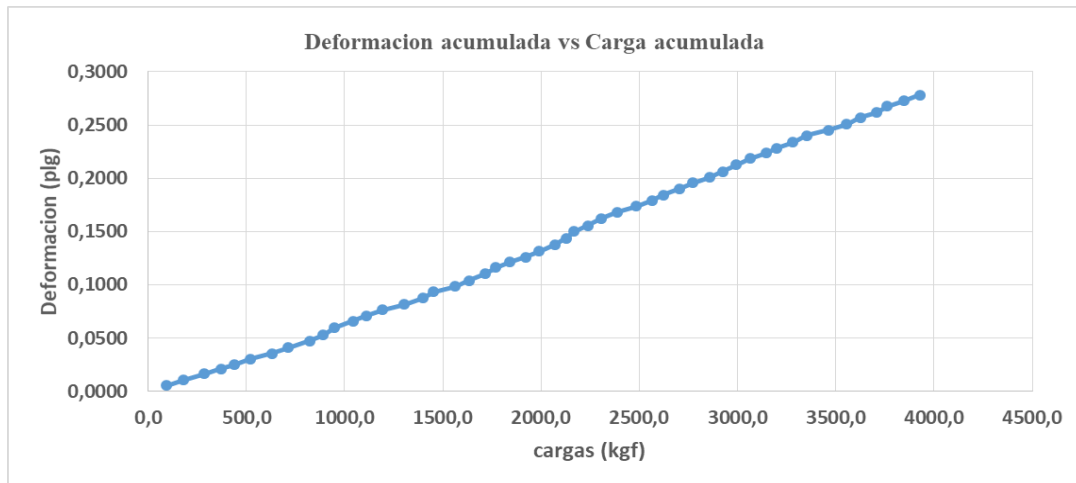
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica se puede observar una gráfica típica de datos obtenidos en 25 ciclos de carga cíclica de una prueba simulada con la prensa de CBR con la ayuda de 2 apoyos generando cargas cíclicas en 10 briquetas obteniendo un resultado promedio.

Conforme el número de ciclos se incrementa la magnitud de deformación permanente aumenta. Puede apreciarse en la gráfica la deformación promedio después de realizar el mismo ensayo en 10 briquetas generando 25 ciclos de cargas cíclicas es de 0.138 plg con una carga acumulada de 2872,73 kgf.

La acumulación de deformación bajo carga cíclicas en 25 ciclos no genero deformación considerada en la capa asfáltica que pueda generar falla.

Gráfico 3.12. Deformación acumulada vs Carga acumulada promedio – 50 ciclos

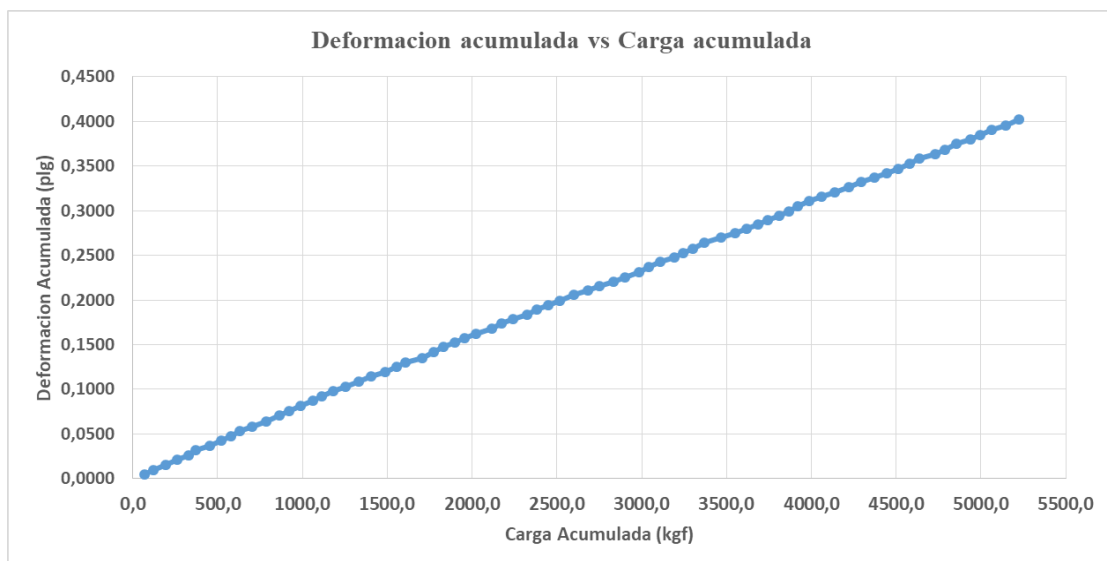


Fuente: Elaboración propia

Puede apreciarse en la gráfica la deformación promedio después de realizar el mismo ensayo en 10 briquetas generando 50 ciclos de cargas cíclicas es de 0.2763 plg con una carga acumulada de 3665.45 kgf.

La acumulación de deformación bajo carga cíclicas en 50 ciclos genero deformación considerada en la capa asfáltica que pueda generar falla.

Gráfica 3.13. Deformación acumulada promedio vs Carga acumulada promedio – 75 ciclos



Fuente: Elaboración propia



En la gráfica se aprecia que la acumulación de la deformación fue mucho mayor con respecto a los otros ciclos. Esto quiere decir que en un incremento en el número de ciclos de las cargas establece una disminución en la resistencia de la capa asfáltica generando mayor deformación.

la deformación promedio después de realizar el mismo ensayo en 10 briquetas generando 75 ciclos de cargas cíclicas es de 0.4030 plg con una carga acumulada de 5099.45 kgf.

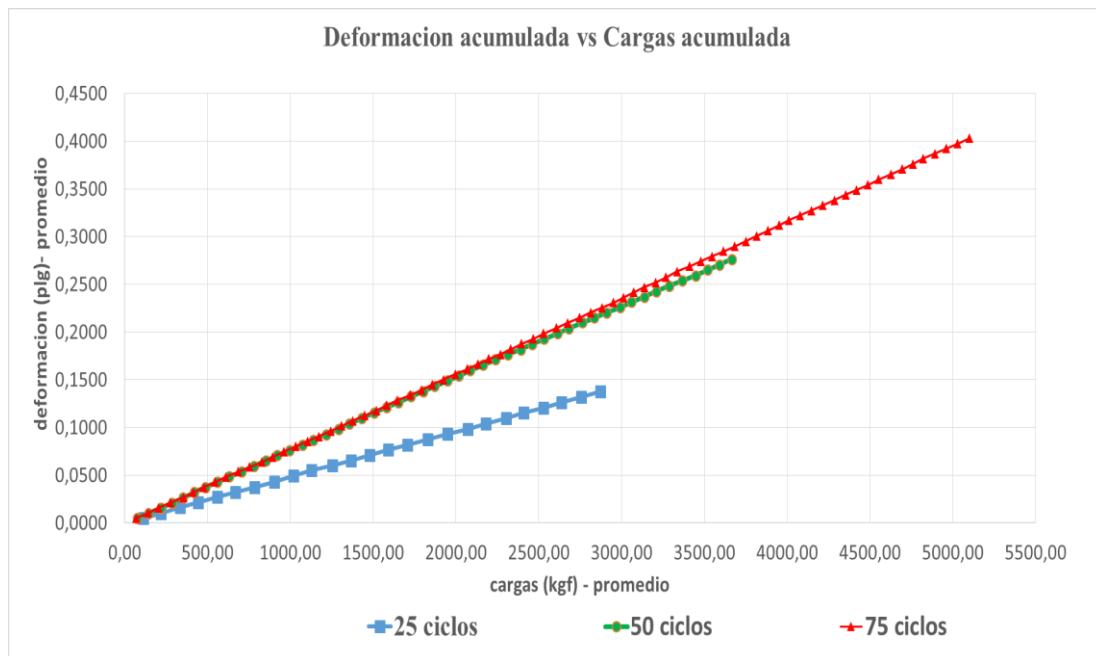
La acumulación de deformación bajo carga cíclicas en 75 ciclos si genero mayor deformación considerada en la capa asfáltica que pueda generar falla.

Tabla 3.50. Resultados deformación acumulada y carga acumulada

Número de ciclos	Deformación acumulada (plg)	Carga acumulada (kgf)
25	0,138	2872,73
50	0,2763	3665,41
75	0,4030	5099,45

Fuente: Elaboración propia

Grafica 3.14. Comparación de la variación de la deformación y carga a 25-50-75 ciclos



Fuente: Elaboración propia

Observando y comparando la deformación generada por las cargas aplicadas a la capa asfáltica se observa el incremento significativamente cuando estas están sujetas a cargas cíclicas a 25 ciclos se observa una deformación menor ya que a 50 ciclos la deformación no es muy amplia la cual hace que el pavimento se recupere a 75 ciclos se observa que la deformación aumenta con relación a los ciclos de carga que también aumenta y a 100 ciclos la deformación es mayor aun aumentando mucho mas la deformación por el aumento de ciclos de carga afectado a los materiales granulares que lo componen la capa asfáltica.

### **3.9.3. Análisis después de 25-50-75 ciclos de cargas aplicadas**

Para el análisis de los materiales granulares después de la aplicación de cargas cíclicas a diferentes ciclos de carga usamos el ensayo de extracción por centrifugación para verificar y analizar cuanto afecto en su granulometría de diseño después de la aplicación de cargas cíclicas.

Para este proceso se necesitó como solvente principal la gasolina para que con el proceso de centrifugación a los áridos recuperados se le pueda efectuar análisis granulométrico, de acuerdo con el método AO602.

#### **Equipos y materiales**

Extractor: Que consiste en un bol que gira a una velocidad variable controlada hasta 3600 rpm. El aparato debe estar por un contenedor que recoja el solvente despedido por el bol y un drenaje para evacuar el solvente. El aparato debe tener características antiexplosivas y debe instalarse en un área con mucha ventilación la cual optamos el lugar para realizar este ensayo afuera del laboratorio de asfaltos.

Papel filtro anular que es de porosidad y diámetro al igual que el bol.

Horno el horno de mantener una temperatura de 110 grados centígrados

Balanzas que se necesitó previo peso de la briqueta y una brocha para no perder ningún gramo del material.

Procedimiento.- Este ensayo se realizó después de que la briqueta diseñada con la dosificación óptima de material granular grueso intermedio y fino más el cemento asfáltico óptimo se realizó para cada briqueta que se le aplicaron las cargas cíclicas.

Este ensayo requiere calentar la briqueta en el horno a 100 grados centígrados por lo menos 3 horas para una mejor y rápida disolución con el solvente una vez que pase las 2 horas se lo empieza a desintegrar con la ayuda de un martillo,

Figura 3.43. Extractor centrífugo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.44. Briqueta sacada del horno a 100 grados después de 3 horas



Fuente: Elaboración propia

Cuidadosamente se empieza a descomponer a la briqueta hasta que quede totalmente destruida para poder colocarlo en el bol armar en el extractor centrifugo y prohibido olvidarse el papel filtro que es muy importante para la centrifugación una vez en el bol se pasa a armar el equipo para después con una jarra llenar de solvente al equipo para así diluir el cemento asfaltico y que quede solamente el material granular grueso intermedio y fino. Una vez que la gasolina salga limpia al igual que entra al equipo el material esta totalmente limpio y con mucho cuidado sacar y colocar toda la muestra en una fuente y al horno para que se seque y después se pueda hacer el análisis granulométrico para cada briqueta de 25-50-75 ciclos de carga.

Se realizaron el análisis granulométrico para cada briqueta el cual estaban distribuido como 10 briquetas de 25 ciclos 50 ciclos y 75 ciclos de cargas después se representó con sus promedio y una comparación de como los materiales granulares se ven afectados a las cargas cíclicas a diferentes ciclos de carga.

Figura 3.45. Descomponiendo la briqueta caliente



Fuente: Elaboración propia

Se colocó toda la briqueta desintegrada al bol del extractor centrífugo la después desintegrarlo totalmente sacar el cemento asfaltico del material granular y queden totalmente limpios

Figura 3.46. Ensayo de extractor centrifugo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.47. Solvente (gasolina)



Fuente: Elaboración propia

Después que el material granular este totalmente limpio sin el cemento asfáltico el solvente pasara a salir limpia eso quiere decir que el material quedo limpio se procede a retirarlo del bol y colocar en una bandeja para después realizar su análisis granulométrico el mismo procedimiento se realizó para las 30 briquetas 10 de cada ciclo de carga aplicada.

Figura 3.48. Final del ensayo limpiando todo sin perder material



Fuente: Elaboración propia

Pasado 24 horas de secado del material en el horno se procedió a realizar el ensayo de granulometría para cada una de las briquetas desintegradas y separarlas en material grueso, intermedio y fino para después hacer una comparación con la granulometría de diseño formada como afecto las cargas cíclicas aplicadas en cada briqueta de diferentes ciclos.

Se colocara una tabla y graficas correspondientes a la briqueta número 1 que corresponde a 25 ciclos briqueta número 11 correspondiente a 50 ciclos y por último la briqueta numero 21 correspondiente a 75 ciclos cada una con su respectivos promedios de cada ciclo las otras tablas y graficas de las briquetas analizadas se encontraran en la parte de los anexos correspondientes del presente proyecto

Figura 3.49. Ensayo de granulometría para cada briqueta desintegrada



Fuente: Elaboración propia

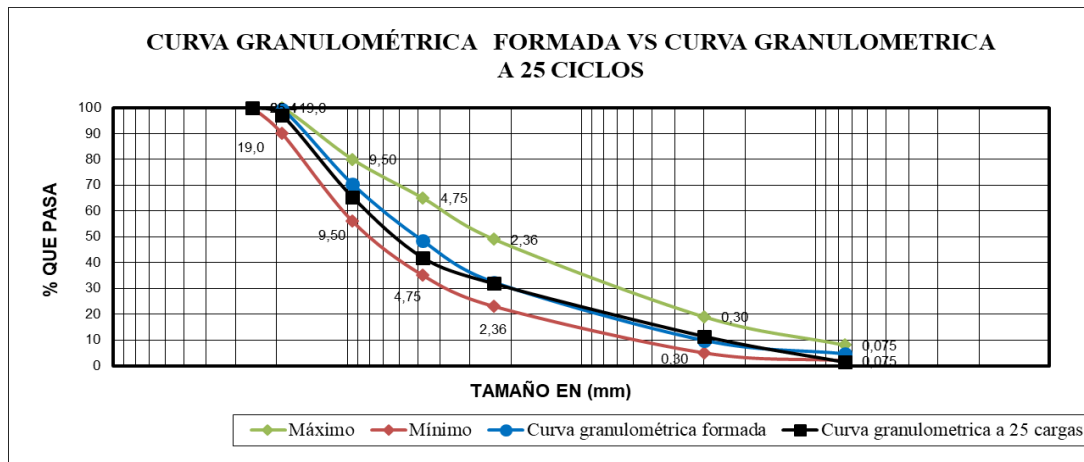
### 3.9.3.1. Comparación granulométrica después de 25 ciclos sobre briqueta

Tabla 3.51. Resultado total granulométrica Promedio - 25 Ciclos

Tamices	Tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Arena	Total				Especificaciones	
		Peso ret. (gr)	Peso ret. (gr)	Peso ret. (gr)	Peso ret. (gr)	Ret. acum. (gr)	% retenido	% que pasa del total	Mínimo	Máximo
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	31,24	0,00	0,00	31,24	31,24	2,80	97,20	90	100
1/2"	12,5	242,52	0,00	0,00	242,52	273,76	24,49	75,51	-	-
3/8"	9,50	0,00	111,54	0,00	111,54	385,30	34,48	65,52	56	80
Nº4	4,75	0,00	262,69	0,00	262,69	647,99	57,98	42,02	35	65
Nº8	2,36	0,00	109,59	0,00	109,59	757,58	67,79	32,21	23	49
Nº16	1,18	0,00	0,00	73,32	73,32	830,90	74,35	25,65	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,00	73,87	73,87	904,77	80,95	19,05	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	82,43	82,43	987,20	88,33	11,67	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	71,00	71,00	1058,20	94,68	5,32	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	45,19	45,19	1103,39	98,73	1,27	2	8
BASE	-	0,00	0,00	14,23	14,23	1117,62	100,00	0,00	-	-

Fuente: Elaboración propia

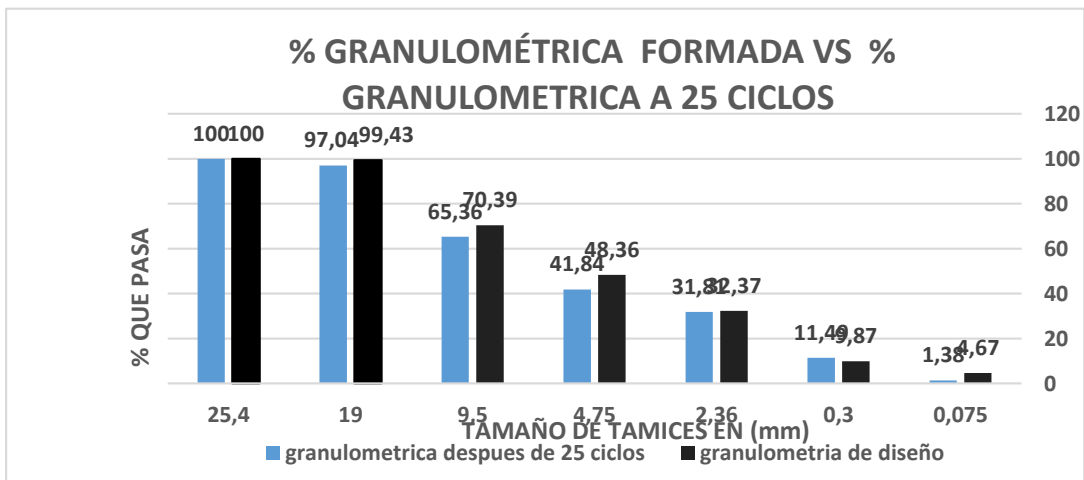
Gráfico 3.15. Granulometría formada de diseño vs Granulometría formada promedio -25 ciclos



Fuente: Elaboración propia

Realizando este tipo de análisis de Shakedown en la capa asfáltica del pavimento aplicando 25 cargas cíclicas de manera variada que produce cargas y deformación en la mezcla asfáltica. Se puede observar mediante las tablas y graficas como es el comportamiento variado de las cargas y deformación que se van acumulando con cada carga aplicada que se produce y como la capa asfáltica tiende a demostrar sus propiedades tanto el material grueso, intermedio, fino y cemento asfaltico produciendo un pequeño cambio en su granulometría con respecto a la que fue diseñada.

Gráfico 3.16. Comparación de porcentajes 25 ciclos



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica el comportamiento del material granular sujeto a 25 ciclos la variación de porcentajes que pasan y se retienen donde no hubo mucho cambio en



comparación con los porcentajes de diseño de la mezcla asfáltica se pudo observar un mayor cambio en el tamiz N°4 donde hubo una diferencia de 6.52 % en comparación con el porcentaje que fue diseñado.

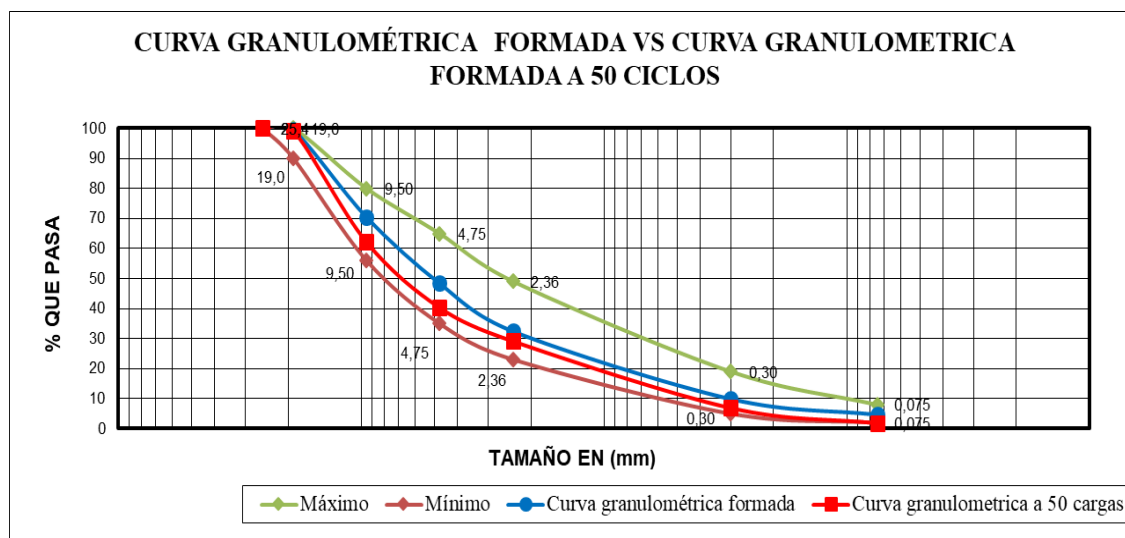
### 3.9.3.2. Comparación granulométrica después de 50 ciclos sobre la briqueta

Tabla 3.52. Resultado total granulométrica Promedio - 50 Ciclos

Tamices	Tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Arena	Total				Especificaciones	
		Peso ret. (gr)	Peso ret. (gr)	Peso ret. (gr)	Peso ret.	Ret. acum	% retenido	% que pasa del total	Mínimo	Máximo
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	20,99	0,00	0,00	20,99	20,99	1,89	98,11	90	100
1/2"	12,5	245,33	0,00	0,00	245,33	266,32	24,02	75,98	-	-
3/8"	9,50	0,00	117,78	0,00	117,78	384,10	34,65	65,35	56	80
N°4	4,75	0,00	268,13	0,00	268,13	652,23	58,83	41,17	35	65
N°8	2,36	0,00	100,20	0,00	100,20	752,43	67,87	32,13	23	49
N°16	1,18	0,00	0,00	96,94	96,94	849,37	76,62	23,38	-	-
N°30	0,60	0,00	0,00	86,88	86,88	936,25	84,45	15,55	-	-
N°50	0,30	0,00	0,00	85,67	85,67	1021,92	92,18	7,82	5	19
N°100	0,15	0,00	0,00	27,13	27,13	1049,05	94,63	5,37	-	-
N°200	0,075	0,00	0,00	40,16	40,16	1089,21	98,25	1,75	2	8
BASE	-	0,00	0,00	19,40	19,40	1108,61	100,00	0,00	-	-

Fuente: Elaboración propia

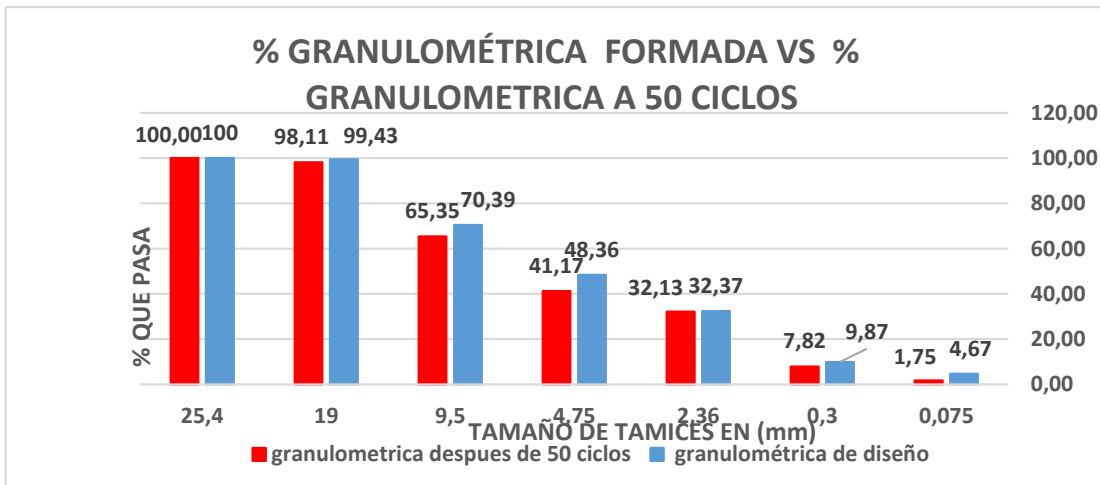
Gráfico 3.17. Granulometría formada de diseño vs Granulometría formada promedio a 50 ciclos



Fuente: Elaboración propia

Realizando este tipo de análisis de Shakedown en la capa asfáltica del pavimento aplicando 50 cargas cíclicas de manera variada que produce cargas y deformación en la mezcla asfáltica. Se puede observar mediante las tablas y graficas como es el comportamiento variado de las cargas y deformación que se van acumulando con cada carga aplicada que se produce y como la capa asfáltica tiende a demostrar sus propiedades tanto el material grueso, intermedio, fino y cemento asfaltico produciendo un cambio en su granulometría mayor donde se pudo verificar que existió menor material grueso (grava) que con la que fue diseñada y mayor material intermedio (gravilla) con respecto a la que fue diseñada aun así se sigue manteniendo dentro de los rangos de las fajas de diseño permitidos por norma.

Gráfico 3.18. Comparación de porcentajes 50 ciclos



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica el comportamiento del material granular sujeto a 50 ciclos la variación de porcentajes que pasan y se retienen donde se puede apreciar que existio mucho cambio en comparación con los porcentajes de diseño de la mezcla asfaltica. Se pudo observar un mayor cambio en el tamiz N°4 donde hubo una diferencia de 7.19 % en comparación con el porcentaje en ese tamiz que fue diseñado.

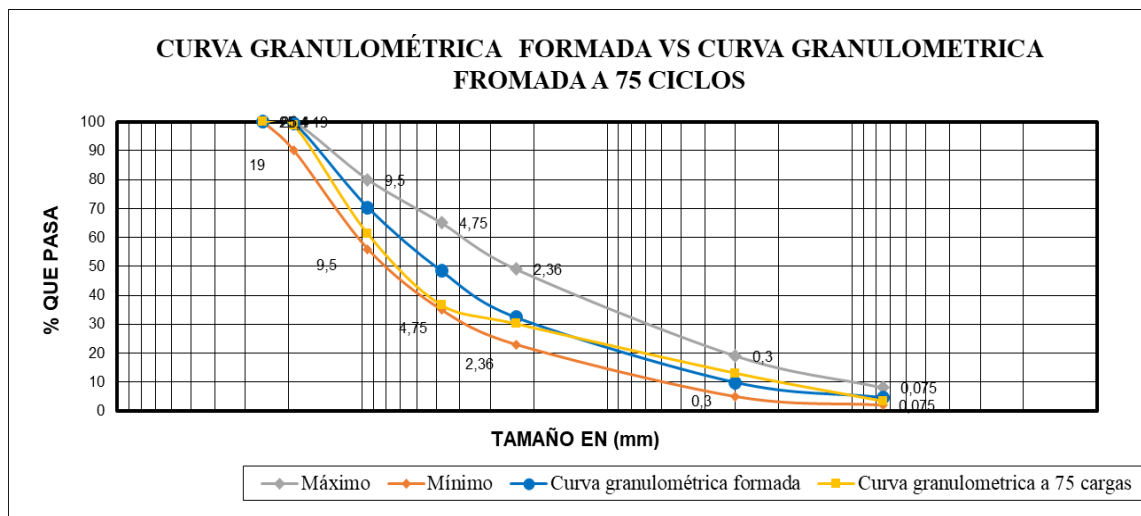
### 3.9.3.3.Comparación granulometría después de 75 ciclos sobre la briqueta

Tabla 3.53. Resultado total granulométrica Promedio - 75 Ciclos

Tamices	Tamaño (mm)	Grava	Gravilla	Arena	Total				Especificaciones	
		Peso ret. (gr)	Peso ret. (gr)	Peso ret. (gr)	Peso ret.	Ret. acum	% ret	% que pasa del total	Mínimo	Máximo
1"	25,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,0	13,46	0,00	0,00	13,46	13,46	1,28	98,72	90	100
1/2"	12,5	226,13	0,00	0,00	226,13	239,59	22,84	77,16	-	-
3/8"	9,50	0,00	167,36	0,00	167,36	406,95	38,79	61,21	56	80
Nº4	4,75	0,00	258,63	0,00	258,63	665,58	63,44	36,56	35	65
Nº8	2,36	0,00	67,32	0,00	67,32	732,90	69,86	30,14	23	49
Nº16	1,18	0,00	0,00	35,63	35,63	768,53	73,26	26,74	-	-
Nº30	0,60	0,00	0,00	48,68	48,68	817,21	77,90	22,10	-	-
Nº50	0,30	0,00	0,00	94,63	94,63	911,84	86,92	13,08	5	19
Nº100	0,15	0,00	0,00	55,89	55,89	967,73	92,24	7,76	-	-
Nº200	0,075	0,00	0,00	45,68	45,68	1013,41	96,60	3,40	2	8
Base	-	0,00	0,00	35,68	35,68	1049,09	100,00	0,00	-	-

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 3.19. Granulometría formada de diseño vs Granulometría promedio - 75 ciclos

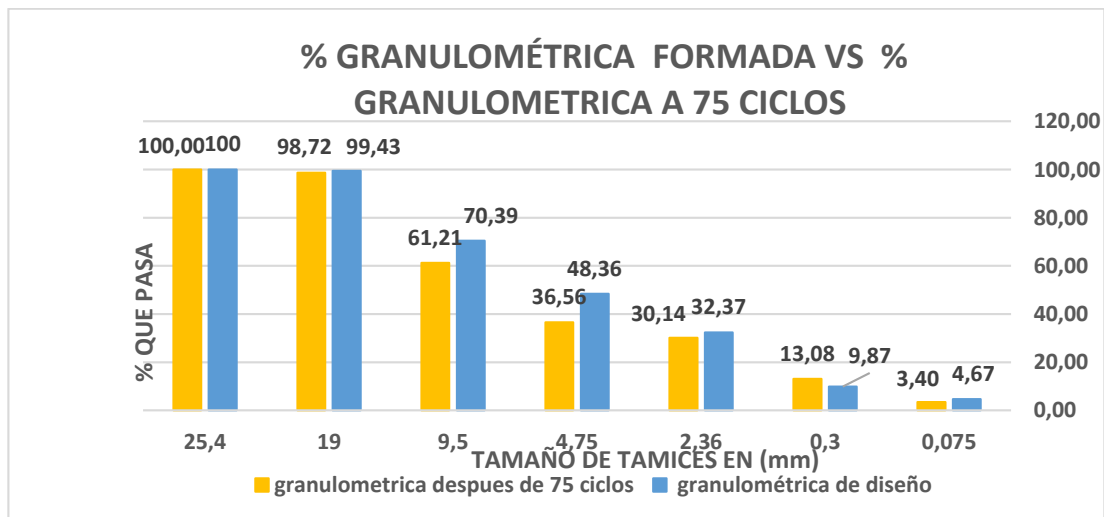


Fuente: Elaboración propia

Realizando este tipo de análisis de Shakedown en la capa asfáltica del pavimento aplicando 75 ciclos de manera variada que produce cargas y deformación en la mezcla asfáltica. Se puede observar mediante las tablas y graficas como es el comportamiento variado de las cargas y deformación que se van acumulando con cada carga aplicada que se produce y como la capa asfáltica tiende a demostrar sus propiedades tanto el material grueso, intermedio, fino y cemento asfaltico produciendo un cambio en su granulometría mayor donde se pudo verificar que existió un porcentaje menor de material grueso (grava) con respecto a los otros ciclos y con respecto a la dosificación con la que fue diseñada y

el material intermedio (gravilla) también tuvo sus variaciones de porcentaje con respecto a la que fue diseñada y donde se pudo observar mayor porcentaje de arena aun así se sigue manteniendo dentro de los rangos de las fajas de diseño permitidos por norma manteniéndose al límite.

Gráfico 3.20. Comparación de porcentajes 75 ciclos.



Fuente: Elaboración propia

Se observa en la gráfica el comportamiento del material granular sujeto a 75 ciclos la variación de porcentajes que pasan y se retienen donde se puede apreciar que aumenta mucho más con respecto al aumento de número de ciclos de carga sobre la capa asfáltica generando mucho cambio en comparación con los porcentajes de diseño de la mezcla asfáltica con la cual fue diseñada donde existió mayor deformación generada por mayores ciclos de carga aplicadas en la capa asfáltica. Se pudo observar dos tamaños de los agregados que tuvieron mayor efecto cuando fueron sujetas a 75 ciclos un cambio en el tamiz 3/8" donde hubo una diferencia de 9.18 % en comparación con el porcentaje en ese tamiz que fue diseñado y en el tamiz N°4 donde la diferencia fue de 11.8% en comparación con el porcentaje que fue diseñado perdiendo estabilidad y generando mayor deformación.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

- El material granular y fino que se realizó la caracterización de los materiales cumplió con las normas AASTHO y ASTM que regulan el cumplimiento de las especificaciones de los materiales, por lo cual los agregados utilizados cumplen los parámetros. Se puede destacar un parámetro fundamental en la caracterización es el desgaste de “los Ángeles” obteniendo para los agregados, un valor de grava de 22.05 % y gravilla 22.27% cumpliendo con lo especificado que no debe ser mayor al 35 % ya que si este parámetro no cumple con lo especificado los materiales no son aptos para la mezcla asfáltica.
- La caracterización del cemento asfáltico cumplió las especificaciones marcadas por la fuente de producción; por lo tanto el cemento asfáltico provisionado por SEDECA (stratura 85/100), donde se considera que la ductilidad es de 104cm por lo cual se pudo observar que los resultados están dentro de los márgenes estipulados de calidad para cemento asfáltico.
- De las briquetas elaboradas en el laboratorio analizadas por el método Marshall para poder encontrar el porcentaje óptimo de cemento asfáltico. Considerando los resultados de las curvas correspondientes, estabilidad, peso unitario y porcentaje de vacíos, se logró establecer que el contenido óptimo de cemento asfáltico de 5.09%.
- Se concluyó que en 25 ciclos se pudo observar que la deformación máxima acumulada fue de 0.1380 plg con una carga de 2872.83 kgf generada afectando en su granulometría donde no vario mucho en relación a la curva granulométrica formada. En 50 ciclos existió mayor deformación máxima acumulada de 0.2763 plg aumentando en un 100.21% en comparación con la deformación de 25 ciclos, con una carga de 3665.41 kgf. En 75 ciclos se analizó que existió aún más el efecto de deformación máxima acumulada de 0.4030 plg aumentando en un 192.02 % en comparación a la de 25 ciclos y un 45.85% en comparación a la de 50 ciclos, con una carga acumulada de 5172.72 kgf que en su granulometría se obtuvo más contenido de material fino por la acumulación de material grueso en diferentes

puntos generando su destrucción y aumentando el fino perdiendo resistencia y aumentando la deformación.

- Se analizó en las gráficas de curva granulométrica formada versus curva granulométrica a 25 ciclos la granulometría tuvo una pequeña variación en el tamiz N°4 de 6.52 % comparando con la curva de diseño a 50 ciclos aumento un mayor de cargas cíclicas y afecto más a los materiales granulares generando mayor deformación mayor en tamiz N°4 con una mayor variación de 7.12% y 75 ciclos se puede observar que existió mayor cargas cíclicas mayor efecto en los materiales granulares con una mayor afectación en el material granular de tamaño 3/8" con una diferencia de 9.12 % y en el tamiz N°4 con una diferencia de 11.8% en comparación con el porcentaje que fue diseñado perdiendo estabilidad y generando mayor deformacion. Se notan cuanto afecta a los materiales granulares en relación con el número de ciclos aplicados de cargas cíclicas aun así manteniéndose en las fajas de rango de la norma ASTM pero generando deformaciones en la capa del pavimento

#### **4.2. Recomendaciones**

- Se recomienda que para el desarrollo del análisis del Shakedown en el material de la mezcla asfáltica del pavimento se debe procurar en lo posible contar con equipos de excelente desempeño, que garanticen la calidad de los resultados, pues es importante tener en cuenta que la variabilidad de la deformación es variable con relación a las cargas cíclicas generadas en diferentes números de ciclos estos pueden no ser preciso si las mediciones no se realizan con detalle.
- En el desarrollo del proyecto, se presentaron incidentes de disponibilidad de tiempo tanto del material humano utilizado como de las instalaciones del laboratorio, por lo que recomendamos planificar de manera adecuada el tiempo que se va a requerir para el desarrollo de cada actividad, debido a que los tiempos de cada ensayo pueden variar según la experiencia de quienes los ejecutan y en caso de presentarse algún imprevisto como por ejemplo el daño de algún equipo, ese tiempo retardaría aún más todo el análisis.
- Este proyecto puede continuarse en futuros trabajos de investigación, en vista de la gran variedad que se puede obtener con este tipo de análisis, variedades de

granulometría, cambios en el porcentaje de asfalto etc. Y poder analizar el comportamiento de los materiales en la capa asfáltica con diferente número de ciclos y diferentes cargas cíclicas aplicadas en el pavimento realizando el análisis del shakedown en la capa asfáltica.