

CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO Y
METODOLÓGICO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

1.1. INTRODUCCIÓN

En las mezclas asfálticas en caliente, el papel que desempeña el Poke (ceniza volcánica) es muy importante por ser el principal componente del MASTIC y a su vez constituirse este último en el verdadero aglomerante de la mezcla asfáltica y ser el responsable de muchas de sus propiedades, por lo que el análisis y control que reviste el contenido del Poke (ceniza volcánica) adecuado influirá en la calidad de la mezcla asfáltica.

Existe dos formas de proveer el Poke (ceniza volcánica) necesario para una mezcla asfáltica: la primera que es la más usual, utiliza el polvo originado durante la trituración de rocas o de canto rodado para la producción de los agregados pétreos requeridos para la mezcla asfáltica.

La forma de proveer el filler es utilizando materiales artificiales producidos industrialmente como son el cemento portland o cales hidratadas.

El aprovisionamiento de estos materiales producidos industrialmente por lo general presenta dos desventajas:

- Cuando se trata de un cemento portland o de cal hidratada, su costo en la mayoría de los casos resulta elevado debido a que su producción en el resultado de un proceso industrial sujeto a un control de calidad costoso a fin de cumplir con las normas establecidas.
- En el caso de cales hidratadas radica en hallar stocks de material homogéneo en cantidad suficiente para establecer la demanda requerida por una planta de producción de concreto asfáltico generalmente este material en la actualidad es producido en forma artesanal por lo que su producción es muy heterogénea.

La necesidad de utilizar algún tipo de filler artificial ya sea cemento portland o cal hidratada se presenta cuando el polvo de piedra producida por trituración no cumple los requisitos de calidad o de cantidad requeridos para obtener un tipo de mezcla asfáltica de calidad deseada.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Se propuso como objetivo analizar el efecto que puede tener el Poke (ceniza volcánica) en la mezcla asfáltica, es muy importante realizar el análisis con diversos porcentajes de residuos de Poke (ceniza volcánica), de tal manera que podamos determinar las propiedades de la mezcla con mejor comportamiento mecánico.

Mediante este análisis se pretende determinar si este agregado natural puede ser considerado como alternativa técnica para la elaboración de mezclas asfálticas, buscando establecer parámetros técnicos que permitan su adecuada dosificación.

Aspecto técnico

El filler como tal juega un papel importante en la calidad de las mezclas asfálticas, es un ente adherente junto con el ligante asfáltico para unir los agregados pétreos. Por tal razón el Poke (ceniza volcánica) térmicamente, al tener un diámetro menor a 0,075 mm, (pasa 200) penetra los más pequeños vacíos de la mezcla asfáltica, haciéndola más densa e impermeable, sin tener cambios o alteración de sus propiedades al contacto del agua.

Aspecto económico

Ante la gran cantidad y diversidad de tipos de filler especiales, el filler común, o hasta filler de ceniza en las mezclas asfálticas y teniendo sus costos elevados se ve por conveniente ver otra alternativa para que los constructores puedan contar con otro tipo de material que les permita lograr los mismos objetivos que de un filler especial pero más accesible al bolsillo.

Aspecto social

En cualquier construcción civil, al encontrarse con suelos finos, estos muchas veces son removidos a otros lugares para rellenos de zonas accidentadas en áreas periurbanas o desechados sin darles mucha importancia a su uso constructivo, para evitar esto se podría realizar análisis a estos diferentes tipos de materiales finos y ser utilizados en mezclas asfálticas.

Aspecto académico

El análisis del Poke (ceniza volcánica) como filler dentro de las mezclas asfálticas, permitirá introducir su uso como una alternativa para adquirir mejores propiedades de cualquier mezcla en futuro, variando los tipos de ligantes, aditivos, componentes adicionales o agregados pétreos.

1.3. DISEÑO TEÓRICO

1.3.1. Planteamiento del problema

1.3.1.1. Situación problemática

- **Definición clara del concepto de interés**

Analizar el efecto del Poke (ceniza volcánica) como filler, para mezclas asfálticas en caliente y cuán importante sería su uso en nuestro medio.

- **Descripción del fenómeno ocurrido o del objeto de investigación (causal)**

En la actualidad es muy importante realizar investigaciones con los diversos materiales naturales que tenemos en nuestro medio, para así poder ofrecer más opciones en cuanto a filler y no tener que recurrir mucho a productos industrializados que por lo general tienen impactos negativos en el medio ambiente.

- **Pronóstico de la situación**

Quizá la adquisición del material sea un poco difícil, por el hecho de que el Poke (ceniza volcánica) se la extraerá del departamento de Potosí más propiamente la provincia Sur Lipez, pero si existe una buena predisposición para conseguir dicho material.

- **Breve explicación de la perspectiva de solución**

Mediante el análisis que se realizará con diferente variación de porcentajes tanto de filler como de cemento asfáltico se pretende hallar una buena condición de diseño tanto en la estabilidad, fluencia, contenido óptimo de cemento asfáltico, peso específico, porcentaje de vacíos de la mezcla, relación bitumen vacíos.

1.3.1.2 Problema

¿De qué manera afectará la adición del Poke (ceniza volcánica) como filler, en el diseño de mezcla asfáltica en caliente?

1.3.2. Objetivos

1.3.2.1 Objetivo general

Analizar los efectos resultantes al adicionar el Poke (ceniza volcánica) como filler en mezclas asfálticas en caliente y realizar una comparación con un diseño convencional, realizando todos los ensayos pertinentes y necesarios para determinar una mezcla asfáltica óptima que esté dentro de todos los parámetros normalizados.

1.3.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje del Poke en las mezclas asfálticas en caliente.
- Hacer un control de vacíos de aire o simplemente vacíos en la mezcla.
- Controlar el porcentaje de asfalto requerida para obtener un contenido óptimo.
- Mediante el método Marshall observar si la mezcla asfáltica cumple con los parámetros que establece la norma.

1.3.3. Hipótesis

La adición del Poke (ceniza volcánica) como filler, mejora las características de mezcla asfáltica en caliente.

1.4. DISEÑO METODOLÓGICO

1.4.1. Métodos y técnicas empleadas

1.4.1.1. Definición, selección y/o elaboración de los métodos y técnicas de trabajo

En el siguiente trabajo corresponde a un tipo de diseño de investigación experimental, que busca mejorar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, mediante ensayos de laboratorio. Para el presente análisis realizaremos las siguientes prácticas y utilizaremos los diferentes instrumentos que serán utilizados para dicho análisis:

1.4.1.1.1. Ensayos a realizar para los agregados

- Granulometría (ASTM C-71).¹

El análisis granulométrico es el conjunto de operaciones cuyo fin es determinar la distribución del tamaño de los elementos que componen una muestra.

La distribución del tamaño de las partículas es la representación, en forma de tablas, números o gráficos, de los resultados obtenidos experimentalmente.

- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D 5821-95).²

Este método describe la determinación del porcentaje, en peso, de una muestra de agregado grueso que presenta una, dos o más caras fracturadas.

- Equivalente de la arena y agregados finos (ASTM D 2419).³

El ensayo determina la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo, o material arcilloso, en los suelos o agregados finos. Es un procedimiento que se puede utilizar para lograr una correlación rápida en campo.

- Abrasión de agregados grueso máquina de los ángeles (ASTM C-131).⁴

Esta es la prueba que más se aplica para averiguar la calidad global estructural del agregado grueso. Este método establece el procedimiento a seguir para determinar el desgaste, por abrasión, del agregado grueso, menor de 1½" (38 mm), utilizando la máquina de Los Ángeles.

- Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM D-127).⁵

Este método nos permite determinar los pesos específicos aparentes y nominal de las muestras, así como la absorción, después de 24 horas de estar sumergida en agua, de los agregados con tamaño igual o mayor a 4.75mm (tamiz N.º 4).

¹ manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

² manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

³ manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

⁴ manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

⁵ manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

- Partículas planas y alargadas (ASTM D-4791).⁶
Este método permite la determinación de los porcentajes de partículas planas, alargadas o plano alargadas en agregados gruesos.
- Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos (ASTM-C88) ⁷
Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones del sulfato de sodio o sulfato de magnesio.
Este método se aplica a los áridos que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

1.4.1.1.2. Ensayos a realizar para filler

- Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM D-128).⁸
Este método determina el peso específico seco y el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas del agregado fino.
- Límites de Atterberg (LL, LP, IP).
El límite líquido es un ensayo que se determina de forma estandarizada mediante la cuchara de Casagrande.
El límite plástico se determina mediante la formación de pequeños cilindros en la palma de la mano sobre una superficie lisa de unos 3 mm de diámetro y 25-30 mm de longitud.
Una vez definidos el límite líquido y el límite plástico puede determinarse el índice de plasticidad puesto que es la diferencia entre ambos.

1.4.1.1.3. Ensayos a realizar para el cemento asfáltico

- Ensayo de penetración (ASTM D-5).⁹
Este método lo utilizamos para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos y se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

⁶ manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

⁷ manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

⁸ manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

⁹ manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

- Ensayo de ductilidad (ASTM D-113).¹⁰
Este método de ensayo describe el procedimiento para determinar la ductilidad de materiales bituminosos por la distancia que esta se alargará antes de romperse cuando los dos extremos de una briqueta de muestra sean separados en dos partes.
- Ensayo de peso específico (ASTM D-70).¹¹
Este método determina el peso específico del cemento asfáltico mediante el uso del picnómetro.
- Ensayo de viscosidad SAYBOLT FUROL (ASTM-88).¹²
Este ensayo sirve para determinar la resistencia al escurrimiento de los asfaltos. Esta medición se efectúa por medio del viscosímetro Saybolt-furol y consiste en registrar el tiempo en segundos que tardan 60cm³ de asfalto diluido en pasar a través de un tubo de dimensiones preestablecidas a un frasco graduado.
- Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM-95).¹³
Para realizar el ensayo, se coloca primero el asfalto en un pequeño anillo y se deja enfriar; a continuación, se sumerge el anillo en agua o glicerina, se coloca sobre el asfalto una pequeña bola de acero y se aplica calor al líquido, en determinado momento al subir la temperatura el asfalto se reblandece y permite la caída de la bola al fondo del recipiente.
- Ensayo de película delgada en horno (ASTM-1754).¹⁴
El ensayo al horno de película delgada se realiza a materiales asfálticos para simular las condiciones a las cuales está sometido dicho material, teniendo en cuenta los factores del aire y el calor los cuales actúan durante el periodo de servicio de la capa asfáltica.
- Ensayo de estabilidad y fluencia Método Marshall (ASTM D-1559).¹⁵
En este ensayo consiste en conocer la estabilidad y la fluencia o deformación de probetas las cuales sacamos del pavimento, y para esto utilizamos la prensa Marshall.

¹⁰Manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

¹¹Manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

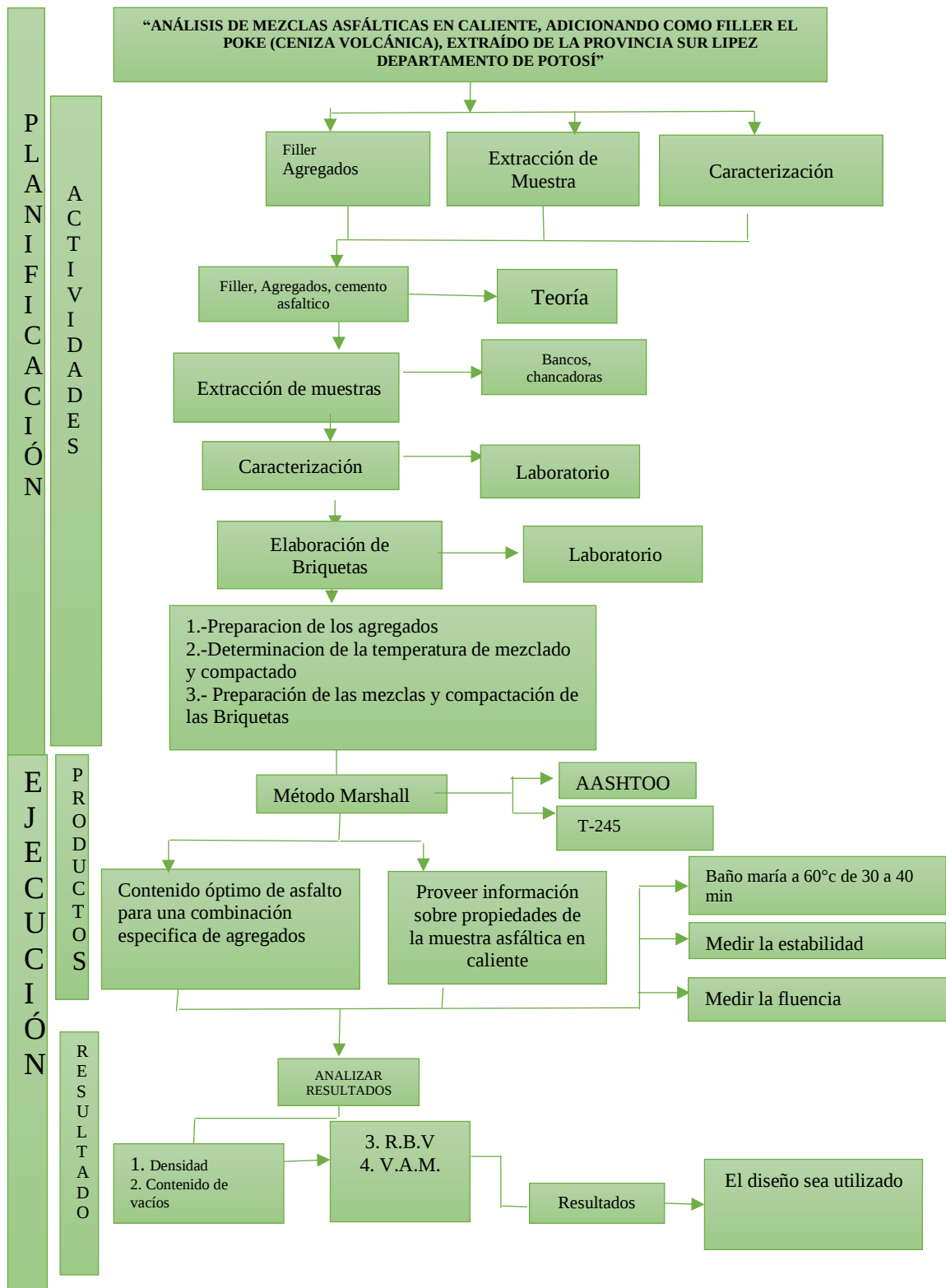
¹²Manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

¹³Manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

¹⁴Manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

¹⁵Manuales de ensayos de suelos y materiales*hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras.

1.4.1.2. Procedimiento de aplicación



1.4.1.3. Metodología de la práctica

El presente análisis se inicia con la selección de los materiales (filler, agregados, cemento asfáltico).

El filler (Poke) lo obtendremos del departamento de Potosí provincia Sur Lipez más propiamente del cerro K'alca Punta.

Los agregados triturados serán obtenidos de la planta clasificadora de Garzón, del Río Sella.

El cemento asfáltico de procedencia colombiana 85/100, N.º 7509-1

Se realiza la caracterización de cada uno de los materiales (filler (Poke), agregados, cemento asfáltico), para luego realizar nuestros diseños con el filler (Poke) en las mezclas asfálticas, realizando una variación con 3 porcentajes que varían (3%, 5%, 7%), el cual tiene incidencia directa con el porcentaje de la mezcla total del pasa N.º 200, siempre y cuando manteniendo cuidadosamente estar dentro de las especificaciones técnicas que recomienda la teoría, seguidamente procedemos a la determinación del porcentaje óptimo de asfalto y de vacíos mediante el método Marshall

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo del asfalto para cada una de las combinaciones específicas de los agregados.

Posteriormente se realiza un análisis de resultados y una comparación con un diseño convencional de nuestra investigación para comprobar el fin por la que fue realizada, y poder llegar a nuestras conclusiones y recomendación de dicho proyecto.

1.4.2. Alcance de la investigación

En el siguiente análisis corresponde a un tipo de diseño de investigación experimental, busca mejorar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, mediante ensayos de laboratorio. El cual propone al Poke como un experimento dentro de una mezcla asfáltica, en reemplazo a un filler convencional.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. MARCO TEÓRICO

¿Qué es la ceniza volcánica?

La ceniza volcánica es una composición de partículas de roca y mineral muy finas (de menos de dos milímetros de diámetro) eyectadas por una apertura volcánica. La composición de la ceniza volcánica varía según el tipo de volcán y la composición química del magma. La ceniza volcánica es abrasiva, no se disuelve en agua y puede contener gases volcánicos, con olor a azufre. Algunas cenizas tienen tamaños similares a la arena, y otras pueden ser tan finas como el talco.

Usos en la industria

La ceniza volcánica tiene varios usos y propiedades. Por ejemplo, una fina capa de menos de 10 centímetros de esta ceniza ofrece nutrientes a las plantaciones, conserva la humedad y ayuda al crecimiento de la planta. Las cenizas volcánicas también presentan propiedades físicas y químicas favorables para la producción de cultivos en macetas. Otro uso importante de la ceniza volcánica es su aplicación en sistemas de purificación de agua. Gracias a sus propiedades porosas, actúa como un medio filtrante altamente efectivo, capaz de retener partículas finas, impurezas, bacterias e incluso algunos metales pesados presentes en el agua.

2.1.1. Mezclas asfálticas en caliente

Es el producto resultante de la mezcla en caliente y en una planta adecuada, de uno o más agregados pétreos y cemento asfáltico tradicional o modificado, el cual se esparce y compacta en caliente.

El proceso de fabricación implica calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura, muy superior a la ambiental. Enseguida esta mezcla es colocada en la obra. Puede ser colocada como capa de base o de rodadura; esta última capa tiene la responsabilidad de brindar durabilidad, comodidad y seguridad de los usuarios y además es la que va a soportar de manera completa las cargas aplicadas tanto verticales como horizontales. Dependiendo de la granulometría del agregado empleado, pueden ser

mezclas de graduación densa o graduación abierta. Los distintos tipos de mezcla que conforman un pavimento, las que pueden ir por separado o en combinación.

Para que las mezclas sean de alta calidad deben tener drenabilidad, buena adherencia, agregado o ligante, buena resistencia a la deformación plástica y homogeneidad. Cada capa de rodadura debe cumplir con las funciones de eliminar las vibraciones molestas a elevadas velocidades.

Las mezclas asfálticas en caliente son las más empleadas en muchas partes del mundo, debido a su flexibilidad, duración, uniformidad, resistencia a la fatiga y economía entre otras características generando, por ende, investigaciones y desarrollos para mejorar sus propiedades mecánicas y dinámicas.

2.1.2. Diseño de mezclas asfálticas

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa sus propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores, temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material.

Actualmente la reología de las mezclas está bien estudiada tanto desde el punto de vista experimental como del teórico, con una consecuencia práctica inmediata: la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento.

Selección del diseño de una mezcla:

- Análisis de las condiciones en las que va a trabajar la mezcla.
- Determinación de las propiedades de la mezcla.
- Materiales disponibles, elección de los agregados pétreos.
- Dosificación o determinación del contenido óptimo de asfalto.

Otros factores a tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: Exigencias de seguridad vial, estructura del pavimento, técnicas de diseño y

ejecución, sitio de construcción del pavimento (topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias trazado de la vía, entre otros), condiciones de drenaje y consideraciones económicas.

2.1.3. Métodos de diseño de mezclas asfálticas caliente en laboratorio

Existen diferentes métodos de diseño. Pero mayormente se usa el método Marshall y método de Superpave.

- Método Marshall: Basado en estabilidad y contenido de vacíos, fluencia de mezcla asfáltica.
- Método Superpave: Basado en el contenido de vacíos.

2.1.4. Características y comportamiento de la mezcla

Una muestra de mezcla 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:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos.
- Vacíos en el agregado mineral.
- Contenido de asfalto

2.1.4.1. Densidad de la mezcla

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la 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 del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m³). 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 adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

2.1.4.2. Vacíos de aire

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 compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menor va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto, una condición donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

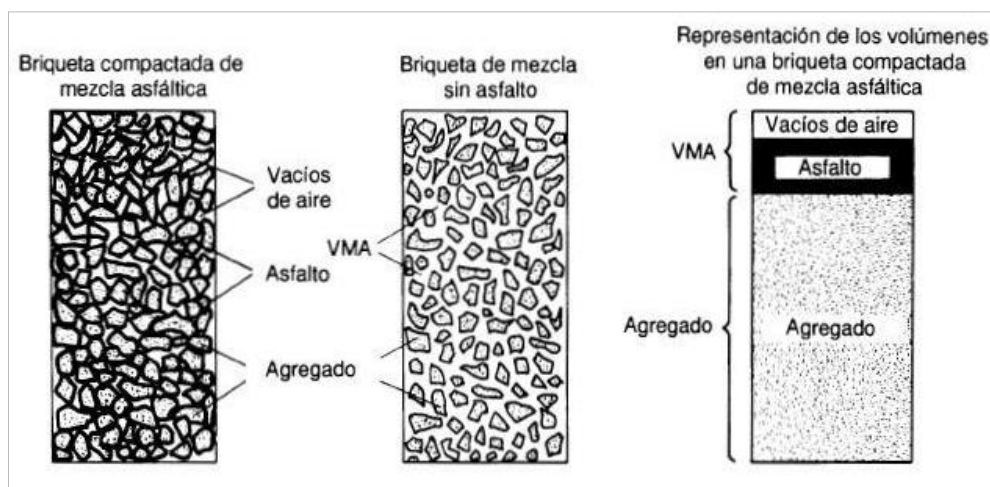
La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: preferiblemente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

2.1.4.3. Vacíos en el agregado mineral

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) 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.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuando mayor sea el VAM más espacio habrá disponible para las películas de asfalto.

Figura 2.1: Ilustración del VAM en una probeta de mezcla compactada (Nota: para simplificar el volumen de asfalto absorbido no es mostrado).



Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 59 del Asphalt Institute MS-22.

Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durables será la mezcla. La fig. 2.1. Ilustra el concepto de VAM y la tabla. 2.1. Presenta los valores requeridos.¹⁶

¹⁶contruccion*principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

Tabla 2.1: Vacíos en el agregado mineral (requisitos de VAM).

Mínimo porcentaje de vacíos de agregados mineral (VMA)				
Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8.	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2.	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4.	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37,5	1.5	10.0	11.0	12.0

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 59 del Asphalt Institute MS-22.

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores Mínimos de VAM. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VAM por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VAM para economizar el contenido de asfalto.

2.1.4.4. 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.

El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante) dictados por el método de diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por

otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (N. ° 200). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente la empeorará. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto en la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la

capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

2.1.5. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas

Las buenas mezclas asfálticas en caliente 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 en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

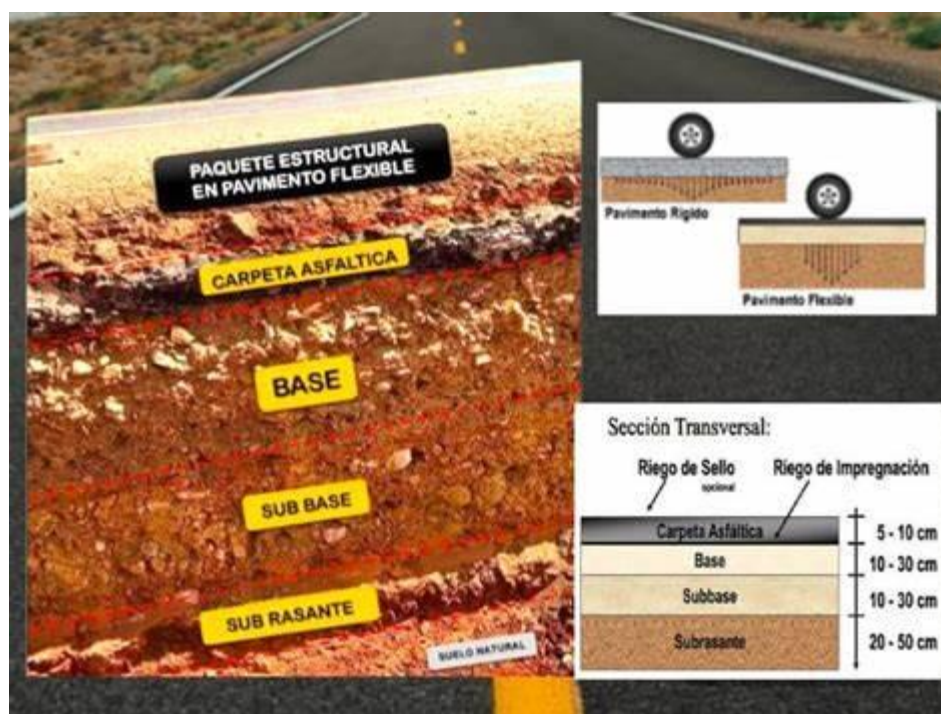
El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclar es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber qué significa cada una de estas propiedades, cómo es evaluada, y qué representa en términos de rendimiento del pavimento.

2.1.5.1. Estabilidad

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

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficientemente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito.

Figura 2.2: Carga que sufre una mezcla asfáltica.



Fuente: Curso online ingeniería civil.

Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas 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. Cuando no hay agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espera tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida

que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en los pavimentos.

Tabla 2.2: Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.

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

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Cap.3, pág. 61 del Asphalt Institute MS-22.

2.1.5.2. Durabilidad

La durabilidad de un pavimento es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades de 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 en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad. La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas.

En consecuencia, el asfalto retiene por más tiempo sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos

interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Figura 2.3: Muestra de poca durabilidad de la mezcla asfáltica.



Fuente: elpais.bo/Tarija.

Una graduación densa de agregado firme y duro a la separación, contribuye de tres maneras a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada. La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darla al pavimento el máximo de impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

Tabla 2.3: Causas y efectos de una poca durabilidad.

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

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

Cap.3, pág. 62 del Asphalt Institute MS-22.

2.1.5.3. Impermeabilidad

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

Figura 2.4: Extracto de mezcla asfáltica permeable.



Fuente: propia.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

Tabla 2.4: Causas y efectos de la permeabilidad.

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

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

Cap.3, pág. 63 del Asphalt Institute MS-22.

2.1.5.4. 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 de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

Figura 2.5: Trabajabilidad de una mezcla asfáltica.



Fuente: elpais.bo/Tarija.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano., partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, sí tiene algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

Tabla 2.4: Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.

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

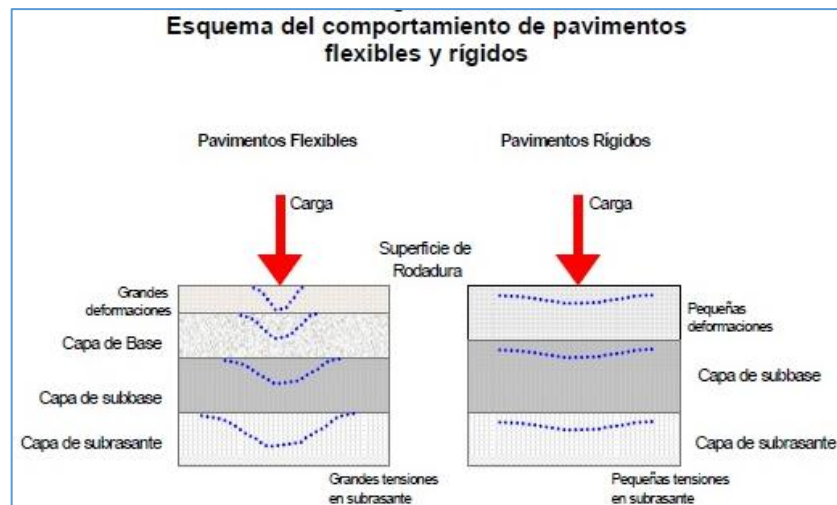
Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

Cap.3, pág. 64 del Asphalt Institute MS-22.

2.1.5.5. Flexibilidad

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Figura 2.6: Efecto de la flexibilidad en la mezcla asfáltica.



Fuente: Elementos de la estructura de Pavimentos.

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada y bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

2.1.5.6. Resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Figura 2.7: Efecto de la poca resistencia a la fatiga de la mezcla asfáltica.



Fuente: Evaluación de resistencia a la fatiga de mezclas asfálticas.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

Tabla 2.5: Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga.

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

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

Cap.3, pág. 65 del Asphalt Institute MS-22.

2.1.5.7. Resistencia al deslizamiento

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento 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 (hidro planeo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

Figura 2.8: Efecto de la resistencia al deslizamiento de la mezcla asfáltica en contacto con las ruedas de los vehículos.



Fuente: propia.

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

Tabla 2.7: Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento

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

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de mezcla asfáltica en caliente.

Cap.3, pág. 65 del Asphalt Institute MS-22.

2.1.6. Propiedades físicas de los agregados

Los agregados para mezclas asfálticas en caliente son usualmente clasificados por tamaños en agregados gruesos, agregados finos, o filler mineral. ASTM define a los agregados gruesos como las partículas retenidas en la malla N°4; y filler mineral como el material que pasa la malla N°200 en un porcentaje mínimo de 70%.

Las especificaciones de agregados gruesos, finos, y filler mineral se dan en ASTM D-692, D-1073 y D-242, respectivamente. Los agregados adecuados para su uso en mezclas asfálticas en caliente se determinan evaluándolos para las siguientes características mecánicas:

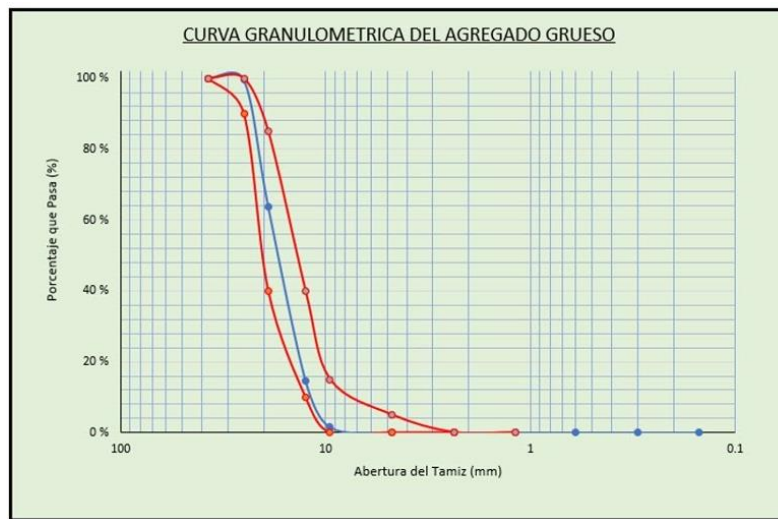
2.1.6.1. Tamaño y estructura granulométrica

La estructura granulométrica o simplemente granulometría se define como la distribución de tamaños del agregado que se empleara para formar una mezcla asfáltica.

Es la característica más importante de los agregados ya que afecta la estabilidad y la trabajabilidad de las mezclas, y constituye, por lo tanto, uno de los requisitos básicos de las especificaciones.

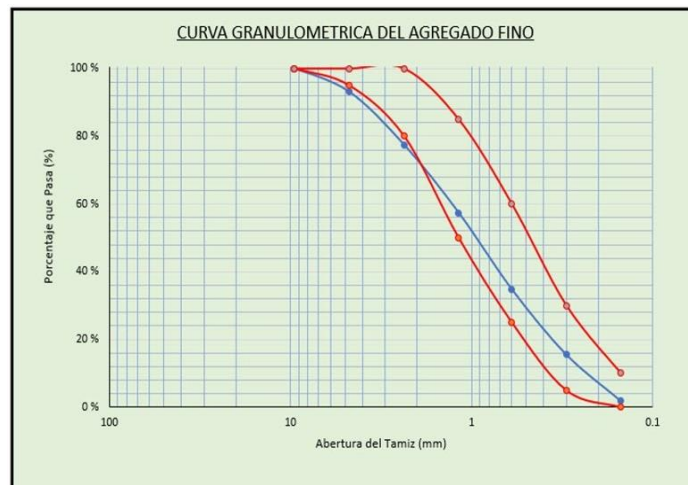
Se determina la granulometría de cada material:

Figura 2.9: Curva Granulométrica de agregado grueso.



Fuente: Granulometría de Suelos (Ing. Néstor Luis Sánchez).

Figura 2.10: Curva Granulométrica de agregado fino.



Fuente: Granulometría de Suelos (Ing. Néstor Luis Sánchez).

2.1.6.2. Resistencia y durabilidad

Resistencia

Los agregados deben ser lo suficientemente estables ante los efectos impuestos por el manipuleo de su paso a través de la planta de asfaltos, que producen choques entre los granos y de granos con componentes metálicos de la planta, y procesos de compactación en las etapas de construcción, y ante los esfuerzos impuestos por las cargas en el periodo de acción bajo el tráfico.

Estos efectos y esfuerzos tienden a triturar y degradar las partículas, y la habilidad de un material para mantener su granulometría original ante ellos, se define como su resistencia.

Figura 2.11: Ensayo desgaste los Ángeles.



Fuente: Propia.

Tabla 2.8: Desgaste los Ángeles (ASTM C-131).

Posición de la capa en la estructura del pavimento	TIPO DE TRANSITO		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Rodamiento	< 40%	<45%	<45%
Distinta a Rodamiento	<45%	<50%	<50%

Fuente: INVEAS (Instituto Venezolano del Asfalto).

Durabilidad

Los agregados deben ser resistentes a la disgregabilidad, es decir a la acción química que produce la rotura y degradación de las partículas, lo cual normalmente se produce, y acelera, en la eventual presencia de aguas básicas o sulfatadas.

Tabla 2.9: Desgaste en sulfatos de magnesio (ASTM C- 88).

Posición de la capa en la estructura del pavimento	TIPO DE TRANSITO		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Rodamiento	< 15%	<15%	<20%

Fuente: INVEAS (Instituto Venezolano del Asfalto).

2.1.6.3. Forma cúbica

Forma de las partículas

La estabilidad en las mezclas depende, en un grado muy alto, de la trabazón de los agregados. Las mayores estabilidades se alcanzan cuando las partículas tienen forma cubica u octaédrica, es decir “angular”, debido a que oponen mayor resistencia a su desplazamiento ante el efecto de una carga.

Figura 2.12: Angulosidad de la fracción gruesa.



Fuente: INVEAS (Instituto Venezolano del Asfalto).

Tabla 2.10: Porcentaje de caras producidas por fractura (COVENIN 1124).

Posición de la capa en la estructura del pavimento	TIPO DE TRANSITO		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Rodamiento	> 80%	>70%	>60%
Distinta a Rodamiento	> 70%	> 60%	> 60%

Fuente: INVEAS (Instituto Venezolano del Asfalto).

2.1.6.4. Limpieza

Los agregados gruesos (que en mezclas asfálticas se definen como los retenidos en el tamiz #8) deben estar limpios, sin partículas de polvo o arcillas que los recubran, ya que esto afecta negativamente la efectiva adherencia del asfalto.

El agregado fino (definido en las mezclas asfálticas como la fracción pasa el tamiz #8 y retiene el tamiz #200) no deben contener cantidades perjudiciales de arcillas, o de tamaños excesivamente pequeños.

Tabla 2.11: Porcentaje de equivalente de arena.

Características de la fracción fina y método de ensayo	TIPO DE TRANSITO		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Equivalencia de arena ASTM D2419	>45%	>40%	>35%

Fuente: INVEAS (Instituto Venezolano del Asfalto).

En el caso de que no se satisfagan los valores mínimos señalados para el equivalente de arena, en condiciones de tránsito alto, se ejecutara el ensayo de resistencia retenida, de acuerdo a lo establecido en el método ASTM D-4867(92). Si la relación entre la resistencia condicionada y la resistencia normal es mayor al 60%, se podrá emplear el material en

evaluación, sin embargo, el valor de arena equivalente, en ningún caso podrá ser menor al 35%.

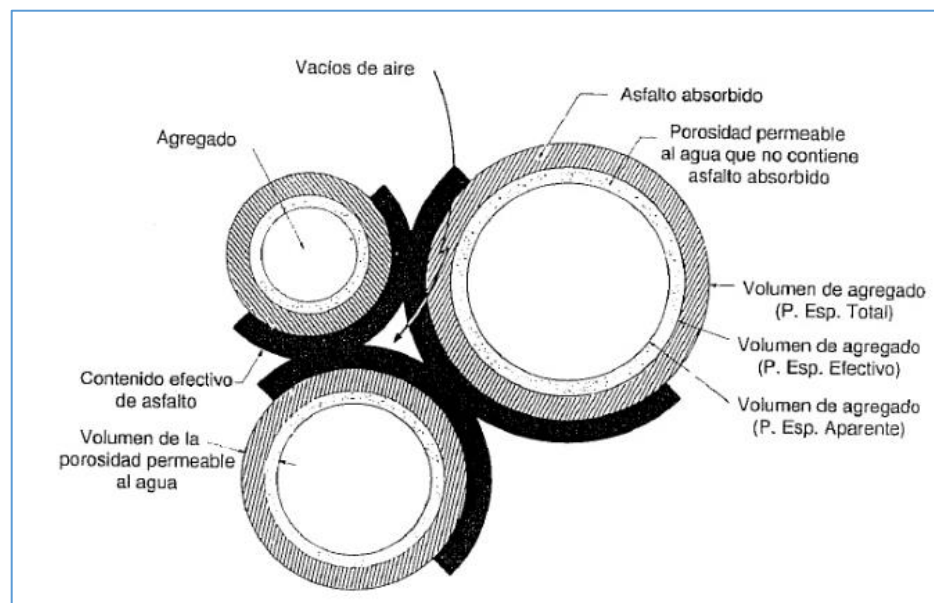
2.1.6.5. Peso específico

Peso o gravedad específica (G_s) se define como la relación entre el peso de un volumen de una cantidad determinada de agregados y el peso de un volumen igual de agua.

En las mezclas asfálticas se emplean tres tipos de diferentes Gravedades específicas:

- Gravedad específica Bulk (o masiva) = G_{sb}
- Gravedad específica aparente = G_{sa}
- Gravedad específica efectiva = G_{se}

Figura 2.13: Varios tipos de pesos específicos de agregado.



Fuente: Principios de la construcción de pavimento de mezcla asfáltica en caliente.

2.1.7. Método de diseño Marshall

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ex - Ingeniero de asfaltos del departamento de autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva

investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original de Marshall, solo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximos arriba de 38 mm (1.5”). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa.

El propósito del Método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una Combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la elaboración de la mezcla. El método original de Marshall sólo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1 plg) o menor y se desarrollara a 60°C cuando es ensayado. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente.

2.1.8. Propiedades método Marshall

Es una característica mensurable capaz de calificar un comportamiento o una respuesta del mismo a sollicitaciones externas.

2.1.8.1. Fluencia

Es la deformación total expresada en mm. que experimenta la probeta desde el comienzo de la aplicación de la carga en el ensayo de estabilidad, hasta el instante de producirse la falla.

2.1.8.2. Estabilidad

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

La estabilidad depende, sobre todo de la fricción interna y la cohesión. La fricción interna depende de la textura superficial, forma de la partícula, y granulometría del agregado; así como de la densidad de la mezcla, la cantidad y el tipo de asfalto; mientras que la cohesión depende del contenido de asfalto. La cohesión se incrementa con el incremento del contenido de asfalto hasta un punto óptimo después del cual el aumento en el contenido de asfalto forma una película demasiado gruesa en las partículas de asfalto, lo que produce una pérdida de fricción entre las partículas de agregado.

2.1.8.3. Porcentaje de vacíos de la mezcla

El porcentaje de vacíos óptimo de diseño de una mezcla asfáltica debe estar entre el 3% y 5%, los contenidos de vacíos menores a 3% para el porcentaje óptimo del ligante pueden originar que la mezcla excede y se produzca ahuellamientos a altas temperaturas.

2.1.8.4. Porcentaje de vacíos del agregado mineral (V.A.M)

Otro parámetro relacionado con el ahuellamiento y la exudación, que está relacionado al contenido de vacíos. El V.A.M es una propiedad que depende de las propiedades de los agregados de la granulometría y del contenido de asfalto.

Contenido de asfalto efectivo, Pbe. - Contenido de asfalto total de una mezcla asfáltica, menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado.

Vacíos de aire, Vv.- Volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactado, expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla del pavimento compactado (Tabla 2.1).

Vacíos llenados con asfalto, Vca. - Porción del porcentaje del volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado, que es ocupado por el asfalto efectivo. Se expresa como la porción de $(VAM - Vv)$ entre VAM. (Tabla 2.1).

El procedimiento de diseño de mezcla, calcula los valores de VAM para las mezclas de pavimento en términos de la gravedad específica neta de los agregados, Gsb.

Figura 2.14: Dosificación de mezclas asfálticas



Fuente: propia.

Vacíos totales de la mezcla “Vv”

$$V_v = 100 - \frac{P. E. \text{ bulk}}{P. E. \text{ max teo.}}$$

Donde:

Vv= Vacíos totales de la mezcla.

P.E. Bulk= Peso Específico Bulk.

P.E. Max Teo. = Peso Específico máximo teórico.

$$P. E. \text{ max teo.} = \frac{P. a. + P. ca.}{\frac{P. a.}{P. E. a.} + \frac{P. ca.}{P. E. ca.}}$$

Donde:

P.E. Max Teo. = Peso Específico máximo teórico.

P.a.= Peso del Agregado.

P.ca. = Peso cemento asfáltico.

P.E.a.= Peso Específico del agregado.

P.E.ca. = Peso Específico del cemento asfáltico.

Vacíos del agregado mineral “VAM”

$$V. A. M. = 100 - \frac{\%Ag. * P. E. bulk}{P. E. a}$$

Donde:

V.A.M.= Vacíos del agregado mineral.

P.E. Bulk= Peso Específico Bulk.

P.E.a.= Peso Específico del agregado.

Vacíos llenos con asfalto “Vca”

$$Vca = \frac{V. A. M. - V_v}{V. A. M.}$$

Donde:

Vca= Vacíos llenos de asfalto

V.A.M.= Vacíos del agregado mineral.

V_v= Vacíos totales de la mezcla.

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) y vacíos de aire (V_v), se expresan como un porcentaje del volumen de la mezcla asfáltica. Los vacíos llenos de asfalto (Vca) son el porcentaje del VAM llenado con el asfalto efectivo. Dependiendo de cómo se especifica el contenido de asfalto, el contenido de asfalto efectivo puede expresarse como un porcentaje de la masa total de la mezcla asfáltica, o como porcentaje de la masa del agregado de la mezcla asfáltica. Debido a que el vacío de aire, VAM y VFA son cantidades de volumen; una mezcla asfáltica, primero debe ser diseñada o analizada sobre la base del volumen. Para propósitos de diseño, este acercamiento volumétrico puede ser fácilmente cambiado a valores de masas, para proveer una mezcla de diseño.

2.1.8.5. Densidad

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la 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.

2.1.9. Filler mineral

De acuerdo con ASTM (American Society of Testing and Materials), standard D-242, 70 % o más de las partículas del filler mineral pasan la malla N.º 200 (75µm).

El “filler” empleado en mezclas asfálticas es un material finamente molido o pulverizado, cuyo tamaño de partículas pasa por el tamiz número 200 (0.075 mm). El término “filler” proviene del inglés y significa “rellenador o llenante”, debido a que inicialmente se consideraba a este material únicamente como un material de relleno de vacíos. Este concepto ha evolucionado y actualmente se considera al filler no simplemente como un material inerte relleno sino como un material que al mezclarse íntimamente con el asfalto desempeña cierta actividad que modifica algunas de las propiedades del sistema.

Comúnmente el filler es considerado como parte del sistema de agregados. Sin embargo, es claro que el filler realmente está embebido en el ligante asfáltico, de tal forma que el “mastico” (Sistema filler-asfalto) está fijando o aglomerando los agregados gruesos (relativamente más grandes). Además, la naturaleza y cantidad de filler en la mezcla asfáltica es especialmente importante en ciertos tipos de mezclas asfálticas como las SMA (Stone Mastic Asphalt), en las cuales el filler mineral contribuye significativamente a la compactibilidad, impermeabilidad, durabilidad y desempeño en campo.

2.1.10. Elección del filler adecuado

En el momento de aplicación el filler deberá estar seco y exento de grumos. El material que pasa el tamiz N°200 sea el polvo mineral deberá cumplir con la siguiente regla: más del 50% deberá hacerlo por tamizado en seco con relación a la vía húmeda. El polvo mineral deberá ser no plástico o de baja plasticidad.

- Filler de asbestos no son adecuados para aplicaciones en las cuales, la mezcla es utilizada como sellante o un protector en continuo contacto con un líquido, debido a que las fibras de asbestos pueden transportar el líquido a través del asfalto.
- Filler que pueden absorber agua no deben ser utilizados cuando el asfalto está en contacto con el agua.
- Si el asfalto va a ser utilizado como un proyectivo resistente a los ácidos, los filler

deben ser sílices.

- El uso de cal como filler mejora la adhesión del asfalto a las superficies minerales (piedra, vidrio, etc.) en presencia de agua.

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

La calidad de las mezclas asfálticas para pavimentación se puede resumir en tres propiedades principales que son: Resistencia ante la deformación, flexibilidad y durabilidad, en las cuales el filler tiene una influencia importante ya que su inclusión permite:

2.1.11.1. Mejorar el cerrado de la mezcla sin el empleo exagerado de asfalto

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

2.1.11.2. Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica

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

2.1.11.3. Incrementar la durabilidad de la mezcla

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

CAPÍTULO III
CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DE
MEZCLAS ASFÁLTICA

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1. COMPONENTES

3.1.1. Técnicas de muestreo

Este tipo de muestreo es por el método de conveniencia, no probabilístico porque se realiza el presente análisis con un filler no muy usual en el medio, por su procedencia y origen.

3.2. CRITERIOS ADOPTADOS EN LA INVESTIGACIÓN

Criterios adoptados en la presente investigación son:

3.2.1. Criterios para determinar los porcentajes de filler

La determinación de los porcentajes de filler que serán analizados en el presente trabajo, se basa en los rangos mínimo y máximo de la norma ASTM D 3515, que establece el filler como material que para pasar el tamiz N°200 debe estar entre 3% a 7%.

Por lo tanto, a partir de estos porcentajes y bajo criterio propio, se determina estudiar los porcentajes de filler en intervalos de 2%, es decir al 3%, 5% y 7% de filler al diseño de la mezcla, siendo un total de 3 variaciones de porcentajes.

3.2.2. Criterios para determinar los porcentajes de asfalto y filler

Según antecedentes y recomendaciones de las normas empleadas se decidió por realizar diferentes porcentajes tanto de cemento asfáltico como de filler, para encontrar dentro de estos porcentajes un óptimo que se acomode mejor en los parámetros establecidos por norma con el filler empleado.

3.3. SELECCIÓN DE MATERIALES

Para realizar un diseño de mezclas asfálticas con filler de una procedencia no usual, primero es necesario conocer los criterios de selección de materiales de sus componentes, los criterios para determinar el número de ensayos a realizar y sus características propias

físico-mecánicas del filler, de los agregados, y del cemento asfáltico, como se detalla a continuación.

3.3.1. Criterios para determinar el banco del filler

El filler empleado es ceniza volcánica denominado “Poke”, material existente en la región altiplánica minera de Bolivia, en este caso el departamento de Potosí en la provincia Sur Lipez, material fino en grandes cantidades en el cerro K’alka Punta y por estos datos nace la inquietud y curiosidad de utilizarlo dentro de los diseños de mezclas asfálticas como un filler, para tener una opción más dentro de los diseños ya estudiados.

3.3.2. Criterios de selección de agregados pétreos

En nuestro medio, en la ciudad de Tarija, se cuenta con varias plantas chancadoras de materiales pétreos. Siendo el criterio de ubicar bancos que son utilizados para el diseño de mezclas asfálticas y se optó por los áridos de la planta chancadora de Garzón ubicado en la provincia Méndez que según los estudios previos se ha demostrado tener muy buenas características y condiciones para el diseño de mezclas asfálticas.

3.3.3. Criterios de selección de cemento asfáltico

El asfalto utilizado en la investigación es el ASFALTO 85-100, procedente de Colombia, producido por la empresa internacional MULTINSA, siendo un asfalto que se utiliza en la ciudad de Tarija importado por la empresa SEMAED CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES S.R.L., posteriormente a la obtención del cemento asfáltico fueron realizados los estudios previos de caracterización del material, pudiendo demostrar que tiene buenas características y es óptimo para la realización de dicha investigación.

3.3.4. Criterios de selección de filler

Dentro de la selección del filler, este material que tiene una fineza llamativa comprobada en su granulometría se comporta apto para ser utilizado como tal, en el diseño estudiado el criterio fue usarlo como reemplazo al filler natural aportado por la arena en porcentajes

suficientes para conseguir el resultado esperado y poder determinar de qué manera influye o afecta a cada uno de los porcentajes estudiados en las mezclas asfálticas.

3.4. CRITERIOS PARA DETERMINAR DEL NÚMERO DE ENSAYOS

Para el presente análisis, se desglosan los diferentes ensayos y el número de los mismos a ejecutarse.

3.4.1. Criterio del número de ensayos para la caracterización de los agregados

- Granulometría. - Se realizan 3 ensayos para los agregados arena, grava 3/4" y gravilla 3/8".
- Resistencia a la desintegración por abrasión mecánica ensayo de desgaste mediante la máquina de los Ángeles NORMA ASTM-C 131/AASHTO T96. - Se realiza 1 ensayo de los agregados de grava 3/4" y gravilla 3/8".
- Peso específico y absorción del agregado grueso método del cesto NORMA AASHTO T 85 / ASTM C 127. - Se realizan 3 ensayos de peso específico y absorción de grava 3/4" y gravilla 3/8" y se sacará su promedio.
- Peso específico del agregado fino método frasco volumétrico aforado NORMA AASHTO T 85 / ASTM C 128. - Se realizan 3 ensayos del agregado fino y se sacará su promedio.
- Equivalente de la arena NORMA AASHTO T 176 / ASTM D 2419. - Se realizan 3 ensayos de equivalente de la arena, para cada uno de los porcentajes de diseño.
- Porcentaje de caras fracturadas ASTM D 5821. - Se realiza 1 ensayo para el agregado de grava 3/4" y gravilla 3/8".
- Determinación del índice de agujas (alargamiento) NORMA BRITISH ESTÁNDAR 812. - Se realiza 1 ensayo para el agregado de grava 3/4" y gravilla 3/8".
- Determinación de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración NORMA AASHTO T 104 / ASTM C 88, 1 ensayo para agregado de grava 3/4" y gravilla 3/8".

- Determinación de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración NORMA ASTM C 88, 1 ensayo para agregado fino.

Tabla 3.1: Número de ensayos de los agregados pétreos.

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Granulometría	3
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	2
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	3
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	3
Equivalente de arena	3
Porcentaje de caras fracturadas	1
Determinación del índice de agujas (alargamiento)	1
Determinación del índice de laminaridad	1
Determinación de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración agregado grueso	1
Determinación de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración agregado fino	1

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Criterio del número de ensayos para el cemento asfáltico

- Ensayo de penetración NORMA AASHTO T 49 / ASTM D 5. - Se realizan 3 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.
- Ensayo de peso específico NORMA AASHTO T 228 / ASTM D 70. - Se realizan 2 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.
- Ensayo de punto de ablandamiento NORMA AASHTO T 53 / ASTM D 95. - Se realizan 2 ensayos de punto de ablandamiento del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.
- Ensayo de ductilidad NORMA AASHTO T 51 / ASTM D 113. - Se realizan 3 ensayos de ductilidad del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.

- Ensayo viscosidad Saybolt-furol NORMA AASHTO T 72 / ASTM D 88.- Se realizan 2 ensayos de ductilidad del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.
- Ensayo de película delgada en horno NORMA AASHTO T 179 / ASTM D 1754.- Se realizan 3 ensayos de ductilidad del cemento asfáltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.

Tabla 3.2: Número de ensayos del cemento asfáltico.

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Penetración	3
Punto de ablandamiento	3
Ensayo de película delgada en horno	3
Peso específico	2
Ductilidad	3
Ensayo viscosidad Saybolt-furol	2

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Criterio del número de ensayos para la caracterización del filler

- Granulometría. - Se realiza 3 ensayos y se tomó un promedio del mismo.
- Límites de Atterberg. – para los límites se realizó 3 ensayos y se tomó el promedio.

3.4.4. Criterios del número de briquetas

El criterio para determinar el número de briquetas, se lo realiza con 15 para cada diseño en los porcentajes determinados, de los cuales luego se realiza 6 para cada porcentaje optimo como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 3.3. Número de briquetas realizadas en laboratorio.

Numero de ensayos	Porcentajes de filler según norma	N.º de briquetas para determinar el óptimo de C.A.	N.º de briquetas con el óptimo de C.A.	Total
Diseño 1	3%	15	6	21
Diseño 2	5%	15	6	21
Diseño 3	7%	15	6	21
Diseño Convencional	-	15	-	15
Total, briquetas =		60	18	78

Fuente: Elaboración propia.

3.5. APLICACIÓN, USO Y PROCESO DE OBTENCIÓN DEL POKE CENIZA VOLCÁNICA

3.5.1. Aplicabilidad del reemplazo del filler dentro de la elaboración de mezclas asfálticas

Filler se refiere a todo material que pasa el tamiz N°200, y su aplicación dentro de la elaboración de mezclas supondría un nuevo uso de un material además de una alternativa técnica al verificar su comportamiento dentro de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, a partir de los resultados del efecto que produciría el nuevo filler dentro de las propiedades mecánicas.

Por tal motivo en el presente análisis se realiza una evaluación para determinar el valor de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas al reemplazar el filler natural local por un filler de otra procedencia.

3.5.2. Proceso de obtención del filler

Nos dirigimos hasta la ciudad de Potosí, a la provincia Sur Lipez donde encontramos el material en el cerro K'alka Punta se realiza la extracción del material fino en bolsa de saquillo Para efectos de esta investigación, se decide incorporar al Poke (ceniza volcánica), con la intención de poder obtener una nueva alternativa para el uso como filler en las mezclas asfálticas.

El material es tamizado para obtener la fracción pasante de las mallas N°80, N°100 Y N°200, con lo cual se obtiene el filler.

Figura 3.1: Proceso de la obtención del nuevo filler.



Fuente: Elaboración propia.

3.6. LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

3.6.1. Ubicación de la fuente de los materiales a utilizarse

3.6.1.1. Agregado pétreo

Los materiales pétreos de la investigación son provenientes de la planta chancadora de Garzón. Se verificará si los agregados son de buena calidad mediante los ensayos de caracterización.

Se toma en cuenta como agregado pétreo a los materiales:

- Grava 3/4”.
- Gravilla 3/8”
- Arena triturada.
- Filler natural “Poke”.

3.6.1.2. Muestreo

Los resultados del análisis granulométrico de un agregado deberán reflejar por supuesto, las características de tamaño de todo el material del cual se obtuvo la muestra. El examen o ensayo se refiere solo a la muestra en sí y no a la partida o pila de almacenamiento a menos que la muestra sea representativa del total del material. La precisión en el muestreo es tan importante como la precisión en el ensayo.

Se debe tener un gran cuidado para obtener muestras totalmente representativas de una pila de almacenamiento de arena o grava. La segregación generalmente ocurre cuando el material es apilado, con partículas más gruesas que ruedan generalmente hacia la base de la pila. Se deben tomar muestras separadas a distintos niveles y localizaciones en la pila. Si se desea tomar muestra de una pila de arena normalmente es necesario remover la capa seca donde ocurre la segregación y tomarla del material húmedo interior a dicha capa.

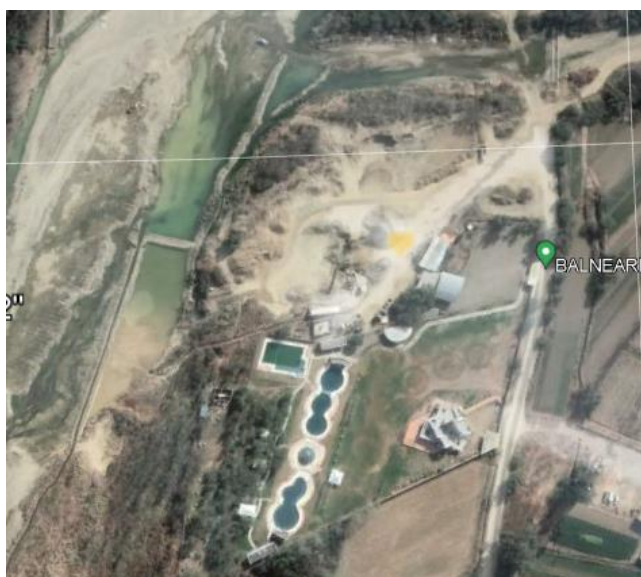
El procedimiento para el muestreo está descrito en ASTM D-75, AASHTO T-2.

Figura 3.2: Muestreo de acopio agregado 3/8”.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3: Ubicación de la obtención del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

Coordenadas:

Tabla 3.4: Coordenadas de la ubicación del agregado pétreo.

Coordenadas	
Geográficas	Latitud: 21°28'15,08" S Longitud: 64°45'03,05" O
Altitud	1944 msnm

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.3. Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a utilizarse es ASFALTO 85-100, procedente de Colombia, producido por la empresa internacional MULTINSA, e importado por la empresa SEMAED CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES S.R.L. Asfalto que se utiliza en la ciudad de Tarija para bacheo superficial mezcla en caliente con carpeta asfáltica en el tramo San Lorenzo-Tarija, por la empresa constructora Asociación Accidental ALIANZA la cual fue quien nos proporcionó dicho material.

Figura 3.4: Ubicación de la obtención del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Coordenadas:

Tabla 3.5: Coordenadas de la ubicación del cemento asfáltico.

Coordenadas	
Geográficas	Latitud: 21°25'51,03" S
	Longitud: 64°45'02,97" O
Altitud	1999 msnm

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.4. Ubicación geo referencial del Poke (ceniza volcánica)

Figura 3.5. Ubicación de la provincia Sur Lipez y el cerro K'alka Punta



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.6. Coordenadas de la ubicación de la procedencia del Poke.

Coordenadas	
Geográficas	Latitud: 22°09'18"S
	Longitud: 67°06'54"O
Altitud	4522 msnm.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Caracterización de los agregados

3.6.2.1. Ensayo de granulometría (ASTM C-136)

La prueba de granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de los áridos de diferentes tamaños.

Este método consiste en la determinación por tamices de la distribución del tamaño de las partículas de agregados finos y gruesos. Para una gradación óptima, los agregados se separan mediante el tamizado, en dos o tres grupos de diferentes tamaños para las arenas, y en varios grupos de diferentes tamaños para los gruesos.

Se procedió a realizar el análisis granulométrico tanto del material grueso como del material fino de acuerdo a la Norma (ASTM C-136)

Figura 3.6: Proceso del tamizado.



Fuente: Elaboración propia.

Después del trabajo en laboratorios, se tabularon los datos y se obtuvieron las siguientes tablas granulométricas:

Tabla 3.7: Datos de las granulometrías de la grava 3/4”.

Grava 3/4”				
N.º Ensayo	1	2	3	Promedio
Peso total corregido seco	4424.00 gr	4779.00 gr	4660.00 gr	4621.00 gr
Tamiz N.º	Peso retenido (gr)			
1”	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4”	351.00	368.00	375.00	365.00
1/2”	2576.00	3008.00	2909.00	2831.00
3/8”	1495.00	1403.00	1376.00	1425.00
N.º4	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º8	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º16	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º30	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º40	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º50	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º100	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º200	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.8: Datos de las granulometrías de la gravilla 3/8”.

Gravilla 3/8”				
N.º Ensayo	1	2	3	Promedio
Peso total seco	3401.00 gr	3659.00 gr	3726.00 gr	3595.00 gr
Tamiz N.º	Peso retenido (gr)			
1”	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4”	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2”	0.00	0.00	0.00	0.00
3/8”	89.00	110.00	121.00	107.00
N.º4	2259.00	2398.00	2393.00	2350.00
N.º8	851.00	879.00	920.00	883.00
N.º16	96.00	124.00	129.00	116.00
N.º30	27.00	32.00	36.00	32.00
N.º40	8.00	12.00	13.00	11.00
N.º50	9.00	10.00	13.00	11.00
N.º100	21.00	25.00	29.00	25.00
N.º200	18.00	24.00	27.00	23.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.9: Datos de las granulometrías de la arena.

Arena				
N.º Ensayo	1	2	3	Promedio
Peso total seco	757.23 gr	821.37 gr	815.79 gr	798.13 gr
Tamiz N.º	Peso retenido (gr)			
1”	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4”	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2”	0.00	0.00	0.00	0.00
3/8”	0.00	0.00	0.00	0.00
Nº4	41.83	56.72	54.60	51.05
N.º8	118.91	126.99	125.32	123.74
N.º16	99.61	109.43	110.51	106.52
N.º30	89.63	97.32	94.69	93.88
N.º40	66.54	75.09	73.65	71.76
N.º50	76.64	78.68	77.89	77.74
N.º100	152.67	164.02	162.54	159.74
N.º200	96.54	107.83	107.98	104.12

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.10: Datos de las granulometrías de la filler.

Filler (ceniza volcánica)				
N.º Ensayo	1	2	3	Promedio
Peso total seco	202.63 gr	206.35 gr	204.68 gr	204.55 gr
Tamiz N.º	Peso retenido (gr)			
1”	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4”	0.00	0.00	0.00	0.00
1/2”	0.00	0.00	0.00	0.00
3/8”	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º4	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º8	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º16	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º30	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º40	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º50	0.00	0.00	0.00	0.00
N.º80	1.69	2.31	202	2.01
N.º200	36.68	39.75	38.39	38.27

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de cálculo de porcentajes que pasan cada uno de los tamices.

$$\% \text{ Que Pasa} = 100 - \left(\frac{\text{Peso Ret.}}{\text{Peso total seco}} * 100 \right)$$

$$\% \text{ Que Pasa} = 100 - \left(\frac{365.00}{4621} * 100 \right)$$

$$\% \text{ Que Pasa} = 92.10\%$$

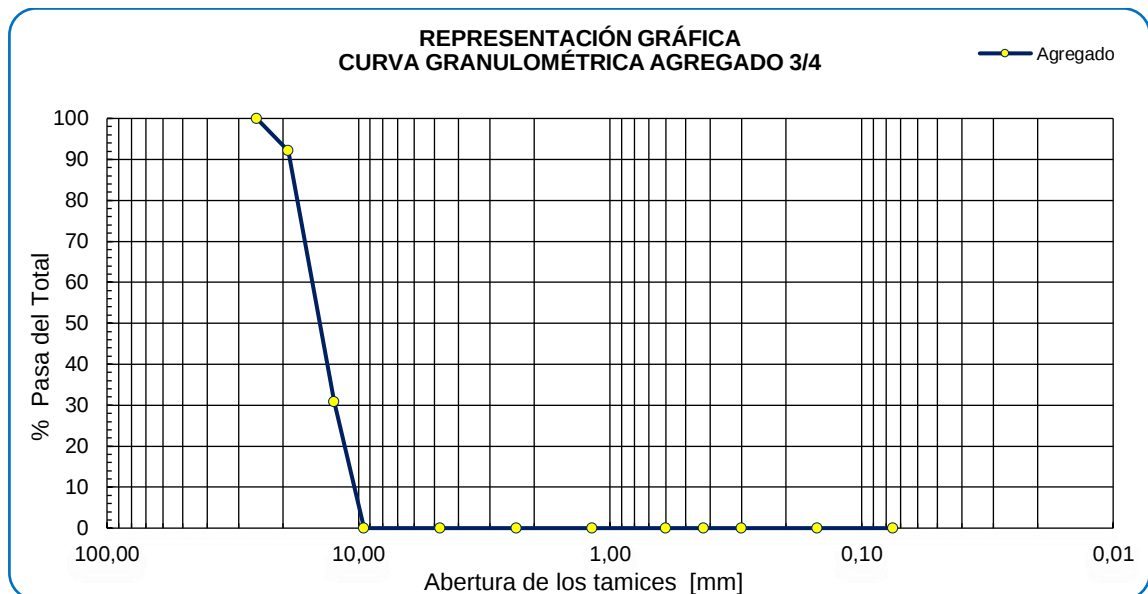
Tabla 3.11: Planilla de resultados de las granulometrías promedio (grava 3/4”).

Granulometría - agregado grueso (grava 3/4”).

Tamices N.º	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. Acum. (gr)	% ret.	% que pasa del total
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	365.00	365.00	7.90	92.10
1/2"	12.50	2831.00	3196.00	69.16	30.84
3/8"	9.53	1425.00	4621.00	100.00	0.00
N.º4	4.75	0.00	4621.00	100.00	0.00
N.º8	2.36	0.00	4621.00	100.00	0.00
N.º16	1.180	0.00	4621.00	100.00	0.00
N.º30	0.600	0.00	4621.00	100.00	0.00
N.º40	0.425	0.00	4621.00	100.00	0.00
N.º50	0.300	0.00	4621.00	100.00	0.00
N.º100	0.150	0.00	4621.00	100.00	0.00
N.º200	0.075	0.00	4621.00	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.1: Curva granulométrica - grava.



Fuente: Elaboración propia.

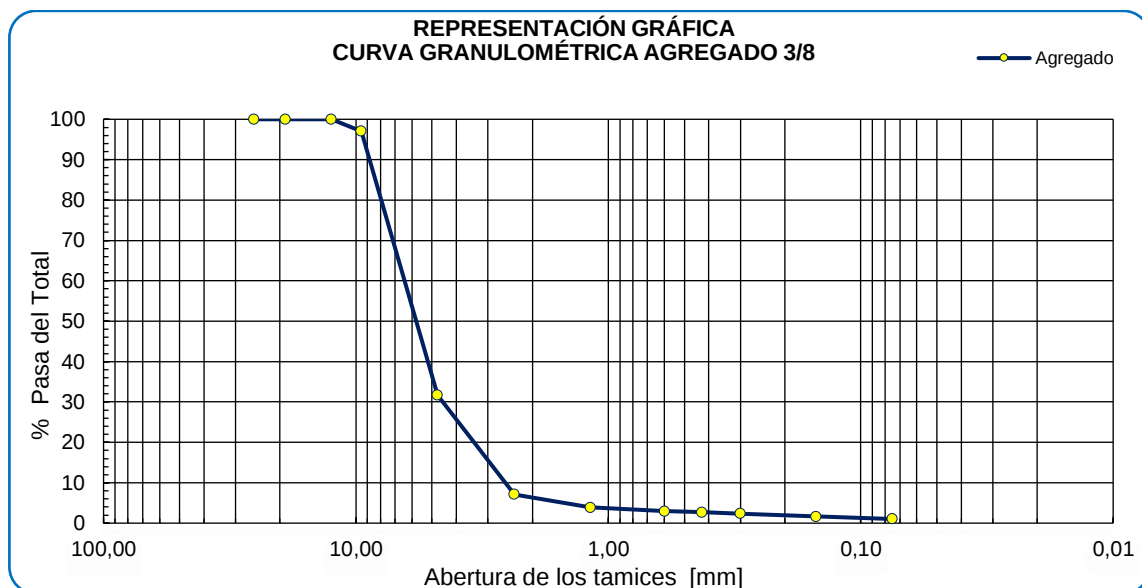
Tabla 3.12: Planilla de resultados de las granulometrías promedio (gravilla 3/8”).

Granulometría - agregado grueso (gravilla 3/8”).

Tamices N.º	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. Acum. (gr)	% ret.	% que pasa del total
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	107.00	107.00	2.98	97.02
N.º4	4.75	2350.00	2457.00	68.34	31.66
N.º8	2.36	883.00	3340.00	92.91	7.09
N.º16	1.180	116.00	3456.00	96.13	3.87
N.º30	0.600	32.00	3488.00	97.02	2.98
N.º40	0.425	11.00	3499.00	97.33	2.67
N.º50	0.300	11.00	3510.00	97.64	2.36
N.º100	0.150	25.00	3535.00	98.33	1.67
N.º200	0.075	23.00	3558.00	98.97	1.03

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.2: Curva granulométrica - gravilla.



Fuente: Elaboración propia.

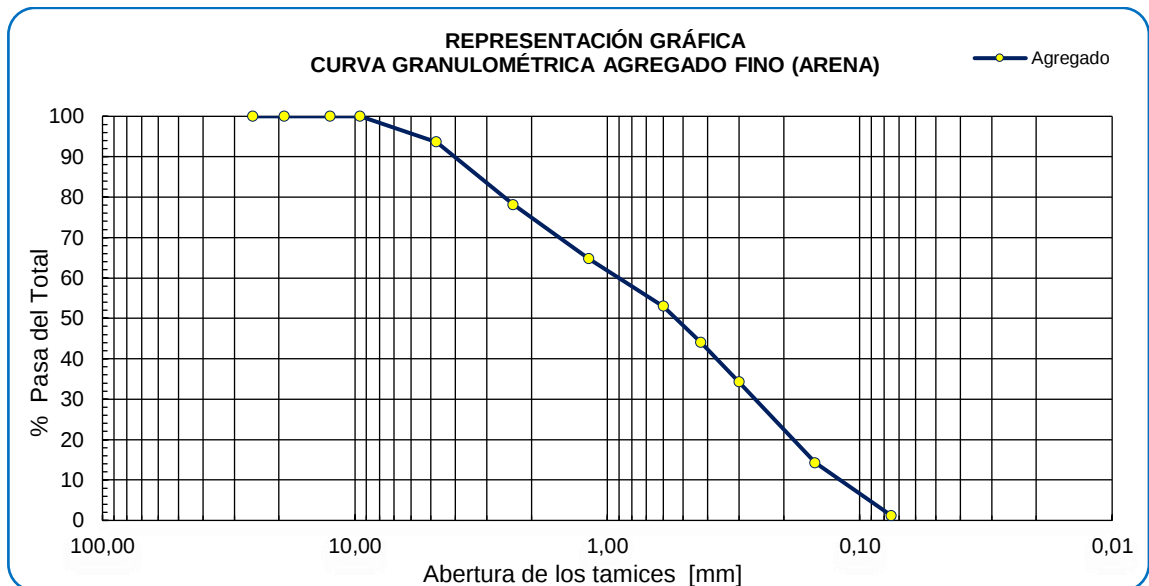
Tabla 3.13: Planilla de resultados de las granulometrías promedio (arena).

Granulometría - agregado fino (arena).

c	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. Acum. (gr)	% ret.	% que pasa del total
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º4	4.75	51.05	51.05	6.40	93.60
N.º8	2.36	123.74	174.79	21.90	78.10
N.º16	1.180	106.52	281.31	35.25	64.75
N.º30	0.600	93.88	375.19	47.01	52.99
N.º40	0.425	71.76	446.95	56.00	44.00
N.º50	0.300	77.74	524.69	65.74	34.26
N.º100	0.150	159.74	684.43	85.75	14.25
N.º200	0.075	104.12	788.55	98.80	1.20

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.3: Curva granulométrica- agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

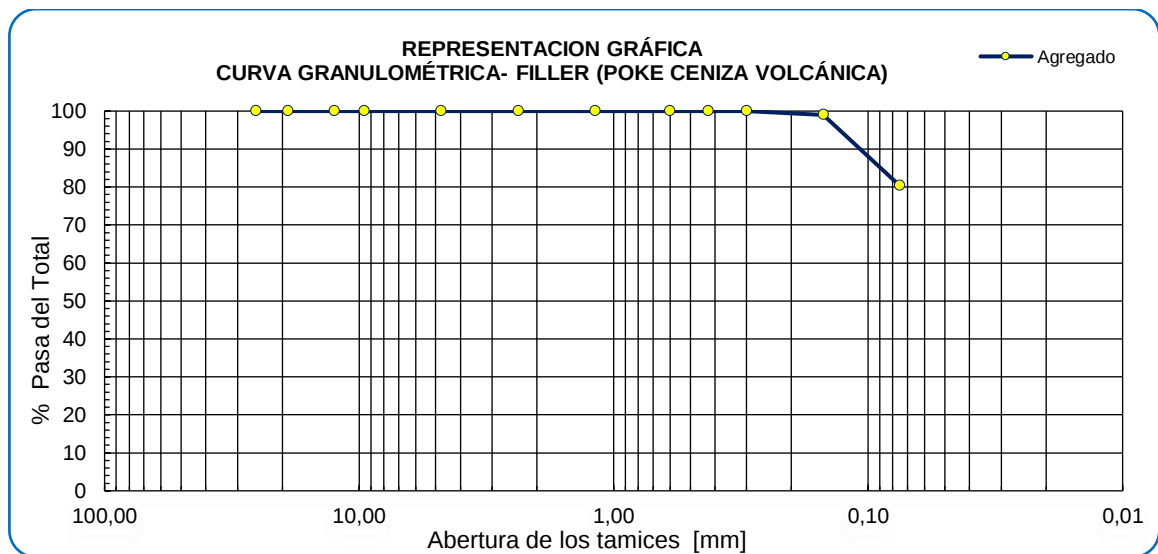
Tabla 3.14: Planilla de resultados de las granulometrías promedio (Poke ceniza volcánica).

Granulometría - filler (Poke ceniza volcánica).

c	Tamaño (mm)	Peso ret. (gr)	Ret. Acum. (gr)	% ret.	% que pasa del total
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º8	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º16	1.180	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º30	0.600	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º40	0.425	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º50	0.300	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º100	0.150	2.01	2.01	0.98	99.02
N.º200	0.075	38.27	40.28	19.69	80.31

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.4: Curva granulométrica - filler.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.2. Peso específico del agregado grueso ASTM C-127 (grava, gravilla)

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones agregadas, asfalto, y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño. Para ello se realizó el ensayo con tres muestras, cada una de 4.5 Kg, tanto de grava como de gravilla.

Procedimiento del ensayo:

Para realizar el ensayo se deberá realizar:

- Cuartear el agregado grueso más o menos 4.5kg lavados y retenidos en la malla N°4 (4.75mm), se secan a peso constante.
- La muestra seca se sumerge por 24 horas en agua.
- Los agregados se sacan del agua.
- Se obtiene el peso de la muestra en su condición superficialmente seca.
- La muestra saturada superficialmente seca se coloca en una cesta de alambre y se determina el peso sumergido en agua.
- La muestra se seca al horno hasta obtener peso constante.

Para este ensayo se realizó la medición del peso específico tanto para la grava 3/4” como para la gravilla 3/8”.

Figura 3.7: Agregado utilizado para el ensayo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.8: Obtención del peso sumergido en agua.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.15: Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (grava).

PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN DE LA GRAVA MÉTODO DEL CESTO - AASHTO T 85 / ASTM C 127				
N.º de Prueba		1	2	3
Temperatura de Ensayo	°C	24.00	24.00	24.00
Peso muestra saturada con superficie seca, (s.s.s.), a	G	4144.00	4168.00	4120.00
Peso muestra secada al horno, P _s	G	4089.00	4109.00	4068.00
Peso (Cesto+muestra s.s.s.), sumergida en agua, b	G	4242.00	4256.00	4229.00
Peso cesto sumergido en agua, c	G	1690.00	1690.00	1690.00
Peso muestra s.s.s. sumergida en agua, d = (b - c)	G	2552.00	2566.00	2539.00
Volumen de partículas incluyendo poros = V _s + V _p = (a - d)	cm ³	1592.00	1602.00	1581.00
Peso específico bruto, base muestra s.s.s., G _{bs}	kg/m ³	2596.51	2595.24	2599.43
Peso específico bruto, base muestra secada al horno, G _b	kg/m ³	2562.05	2558.51	2566.62
Peso específico aparente, G	kg/m ³	2653.73	2656.34	2653.91
Por ciento absorción, % abs, [(a - P _s) * 100] / P _s	%	1.35	1.44	1.28

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de cálculo para la grava

Peso muestra s.s.s. sumergida en agua, $d = (4242-1690) = 2552.00 \text{ g}$

Volumen de partículas incluyendo poros = $V_s + V_p = (4144-2552) = 1592.00 \text{ cm}^3$

Peso específico bruto, base muestra s.s.s., $G_{bs} = \left(\frac{4144}{1592}\right) * 997,5 = 2596.51 \text{ kg/m}^3$

Peso específico bruto, base muestra secada al horno, $G_b = \left(\frac{4089}{1592}\right) * 997.5 = 2562.05 \text{ kg/m}^3$

Peso específico aparente, $G = 4089(4089-2552) * 997.5 = 2653.73 \text{ kg/m}^3$

Por ciento absorción, $\% \text{ abs} = (4144 - 4089) * \frac{100}{4089} = 1.35\%$

Tabla 3.16: Resultados del ensayo de peso específico para grava.

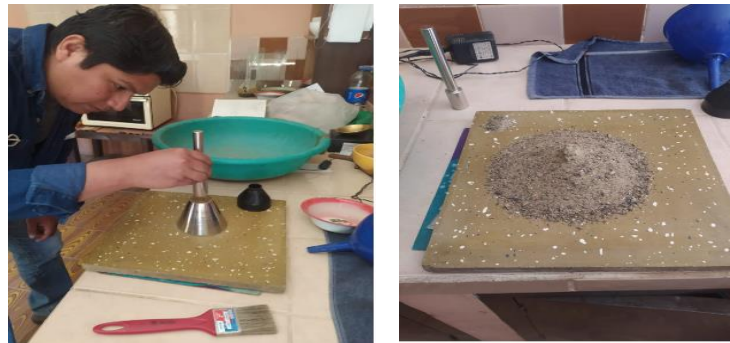
RESULTADOS		
Peso específico bruto, base muestra s.s.s., G_{bs} (promedio)	kg/m ³	2597.06
Peso específico bruto, base muestra secada al horno, G_b (promedio)	kg/m ³	2562.39
Peso específico aparente, G (promedio)	kg/m ³	2654.66
Por ciento absorción, $\% \text{ abs}$, $[(a - P_s) * 100] / P_s$ (promedio)	%	1.35

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.3. Peso específico del agregado fino ASTM C-128 (arena)

Mediante este ensayo podemos determinar el 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, este valor expresado en porcentaje en peso. Se define como peso específico aparente a la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

Figura 3.9: Secado superficial del material.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.10: Preparación del matraz para el pesado de la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.17: Datos del ensayo de peso específico para arena.

PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN DE LA ARENA MÉTODO DEL FRASCO VOLUMÉTRICO AFORADO - AASHTO T 84 / ASTM C 128				
N.º de Prueba		1	2	3
Identificación del frasco volumétrico		F - 2	F - 3	F - 4
Temperatura de Ensayo	°C	20.50	20.30	21.00
Peso frasco + agua, a	G	670.42	663.83	671.25
Peso muestra saturada con superficie seca, b	G	242.99	230.79	291.69
(a + b) = d	G	913.41	894.62	962.94
Peso frasco + muestra + agua, c	G	822.69	808.28	853.52
Volumen, Vsp	cm ³	90.72	86.34	109.42
Peso muestra secada al horno, P _s	G	239.49	227.23	286.99
Peso específico bruto, base muestra s.s.s., G _{bs}	kg/m ³	2671.80	2666.48	2659.17
Peso específico bruto, base muestra secada al horno, G _b	kg/m ³	2633.32	2625.35	2616.32
Peso específico aparente, G	kg/m ³	2738.99	2738.26	2733.75
Por ciento absorciones, % abs, [(a - P _s) * 100] / P _s	%	1.46	1.57	1.64

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de cálculo de peso específico agregado fino (arena).

Peso frasco + agua, a = - 0.00230034 * 20.5² - 0.0072758 * 20.5 + 671.53468979 = 670.42g

d = (a + b) = + (670.42+242.99) = 913.41g

Volumen, Vsp = + (913.41 – 822.69) = 90.72cm³

Peso específico bruto, base muestra s.s.s., G_{bs} = $\frac{242,99}{90,72}$ * 997.5 = 2671.80 kg/m³

Peso específico bruto, base muestra secada al horno, G_b = $\frac{239,49}{90,72}$ * 997.5 = 2633.32 kg/m³

Peso específico aparente, G = $\frac{239,49}{239,49-(822,69-670,42)}$ * 997.5 = 2738.99 kg/m³

$$\text{Por ciento absorción, \% abs} = (242.99 - 239.49) * \frac{100}{239.49} = 1.46\%$$

Tabla 3.18: Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.

RESULTADOS		
Peso específico bruto, base muestra s.s.s., G_{bs} (promedio)	kg/m ³	2665.82
Peso específico bruto, base muestra secada al horno, G_b (promedio)	kg/m ³	2625.00
Peso específico aparente, G (promedio)	kg/m ³	2737.00
Por ciento absorción, % abs, $[(a - P_s) * 100] / P_s$ (promedio)	%	1.56

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.4. Equivalente de arena (ASTM D 2419)

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).

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 período de tiempo, se pueden leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena respecto a la altura de filler, expresada en porcentaje, se realiza 3 ensayos para cada porcentaje de diseño de mezcla.

Figura 3.11: Equivalente de Arena y agitación del cilindro graduado con la muestra.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.12: Lectura de la altura de arena que contiene



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.19: Datos del ensayo equivalente de arena al 3%.

ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA AL 3% DE DISEÑO DE MEZCLA NORMA AASHTO T 176 / ASTM D 2419			
ENSAYO N.º:	1	2	3
LECTURA NIVEL SUPERIOR:	6.10	6.00	6.30
LECTURA NIVEL INFERIOR:	4.30	4.40	4.20
% ARENA:	70.49	73.33	66.67
		RESULTADO	
EQUIVALENTE DE ARENA [%] =		70	
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:		> 45 %	

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de cálculo del equivalente de arena:

$$\% \text{ de arena} = \frac{\text{Lectura nivel inferior (H}_2\text{)}}{\text{Lectura nivel superior ((H}_1\text{))}} * 100\%$$

$$\% \text{ de arena} = \frac{4.3}{6.1} * 100\%$$

$$\% \text{ de arena} = 70.49\%$$

Tabla 3.20: Datos del ensayo equivalente de arena al 5%.

ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA AL 5% DE DISEÑO DE MEZCLA			
NORMA AASHTO T 176 / ASTM D 2419			
ENSAYO N.º:	1	2	3
LECTURA NIVEL SUPERIOR:	4.90	5.00	5.30
LECTURA NIVEL INFERIOR:	2.90	3.00	3.00
% ARENA:	59.18	60.00	56.60
		RESULTADO	
EQUIVALENTE DE ARENA [%] =		59	
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:		> 45 %	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.21: Datos del ensayo equivalente de arena al 7%.

ENSAYO EQUIVALENTE DE ARENA AL 7% DE DISEÑO DE MEZCLA			
NORMA AASHTO T 176 / ASTM D 2419			
ENSAYO N.º:	1	2	3
LECTURA NIVEL SUPERIOR:	7.70	7.80	7.90
LECTURA NIVEL INFERIOR:	3.90	4.00	4.00
% ARENA:	50.65	51.28	50.63
		RESULTADO	
EQUIVALENTE DE ARENA [%] =		51	
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:		> 45 %	

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.5. Ensayo de desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM C-131)

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

Para garantizar la resistencia de los agregados se los somete al ensayo de desgaste de Los Ángeles, ASTM E 131, mide básicamente la resistencia de los puntos de contacto de un agregado al desgaste y/o abrasión.

La cantidad de material a ensayar y el número de esferas a incluir dependen de la granulometría del agregado grueso en la tabla a continuación, se muestra el método a emplear; así como la cantidad de material, número de esferas, número de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos. La gradación que deberá ser representativa de la gradación original suministrado.

Figura 3.13: Máquina de desgaste por abrasión y material ensayado.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.22: Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4”.

GRADACIÓN:	(" A ")	(" B ")	(" C ")	(" D ")	ESFERAS A 32.5 RPM EJECUCIÓN DE ENSAYO
CARGA ABRASIVA CON:	(" 12 ")	(" 11 ")	(" 8 ")	(" 6 ")	
PORCIONES DE LA MUESTRA:					
PASA	RETIENE			CANTIDAD TOMADA EN GRAMOS	
TAMICES	TAMICES				
3/4"	1/2"			2500	
1/2"	3/8"			2500	
CANTIDAD TOTAL DE MATERIAL A ENSAYAR [g] =				5000	
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N.º 12 (1.7 mm) [g] =				3631	
DIFERENCIA, MATERIAL PASA TAMIZ N.º 12 [g] =				1369	
CÁLCULO:					
DESGASTE =	$\frac{1369}{5000} * 100$			27%	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.14: Agregado grueso - grava.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.23: Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8”.

GRADACIÓN:	(" A ")	(" B ")	(" C ")	(" D ")	ESFERAS A 32.5 RPM EJECUCIÓN DE ENSAYO
CARGA ABRASIVA CON:	(" 12 ")	(" 11 ")	(" 8 ")	(" 6 ")	
PORCIONES DE LA MUESTRA:					
PASA	RETIENE			CANTIDAD TOMADA EN GRAMOS	
TAMICES	TAMICES				
3/8"	1/4"			2500	
1/4"	Nº4			2500	
CANTIDAD TOTAL DE MATERIAL A ENSAYAR [g] =				5000	
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N.º 12 (1.7 mm) [g] =				3592	
DIFERENCIA, MATERIAL PASA TAMIZ N.º 12 [g] =				1408	
CÁLCULO:					
DESGASTE =	$\frac{1408}{5000} * 100$			28%	

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.15: Agregado grueso – gravilla y las 8 esferas.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.6. Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración para agregados gruesos (ASTM C-88)

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

Figura 3.16: Método de los sulfatos



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.24: Datos del ensayo de desgaste por sulfatos para el agregado grueso.

ENSAYO DE DURABILIDAD POR EL MÉTODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACIÓN AASHTO T 104 / ASTM C88						
CORTES EN TAMICES SEGÚN ENSAYO		Peso Material Antes Del Ensayo [g]	Peso Material Retiene Tamiz Referencia Después Del Ensayo [g]	% Pasa Material en Tamiz de Referencia	% retenido de aporte por corte, gradación de diseño	% Pérdida por desintegración
$\frac{3}{4}$ " - $\frac{3}{8}$ "	$\frac{3}{4}$ " - $\frac{1}{2}$ ": 670.24 g	1000.66	952.14	4.85	49.78	2.41
	$\frac{1}{2}$ " - $\frac{3}{8}$ ": 330.42 g					
$\frac{3}{8}$ "	N.º 4	300.05	283.59	5.49	46.11	2.53
PÉRDIDA EN PESO SOMETIDO A CINCO CICLOS EN SULFATO DE SODIO = 5%						
OBSERVACIONES. - El ensayo ha sido realizado con material retiene tamiz N°4. El cálculo del porcentaje de la pérdida por desintegración (durabilidad a sulfatos), está referida a los porcentajes de la gradación del agregado según diseño de mezcla asfáltica.						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.25: Datos del ensayo de desgaste por sulfatos para el agregado fino.

ENSAYO DE DURABILIDAD POR EL MÉTODO DE LOS SULFATOS PARA DETERMINAR LA DESINTEGRACIÓN. AGREGADO FINO ASTM C 88						
CORTES EN TAMICES SEGÚN ENSAYO		Peso Material Antes Del Ensayo [g]	Peso Material Retiene Tamiz Referencia Después Del Ensayo [g]	% Pasa Material en Tamiz de Referencia	% retenido de aporte por corte, gradación original	% Pérdida por desintegración
N.º 4	N.º 8	100.22	90.16	10.04	19.38	1.95
N.º 8	N.º 16	100.36	91.24	9.09	15.27	1.39
N.º 16	N.º 30	100.07	90.42	9.64	15.40	1.49
N.º 30	N.º 50	100.79	91.85	8.87	21.00	1.86
PÉRDIDA EN PESO SOMETIDO A CINCO CICLOS EN SULFATO DE SODIO =					7	%
OBSERVACIONES. - El agregado fino Cumple Especificaciones Técnicas, para carpeta asfáltica en caliente, pérdida de peso $\leq 10\%$.						

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.7. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras tanto de grava como de gravilla.

Figura 3.17: Partículas de caras fracturadas.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.26: Datos del ensayo de caras fracturadas.

ENSAYO DE CARAS FRACTURADAS ASTM D 5821						
EVALUACIÓN DE UNA (1) CARA FRACTURADA						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	[g]	[g]	$\left[\frac{B}{A} \cdot 100 \right]$	[%]	[%]
1"	3/4"	1602	1514	94.51	4.11	388.40
3/4"	1/2"	1400	1289	92.07	31.88	2934.83
1/2"	3/8"	521	485	93.09	17.90	1666.60
TOTAL:			3288	280	54	4990
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS = $\frac{4990}{54} = 93 \%$						
REFERENCIAS. - A: Peso muestra, g B: Peso material con caras fracturadas, g C: Porcentaje de caras fracturadas. D: Porcentaje retenido de aporte por corte de gradación original. E: Promedio de caras fracturadas.						

Fuente: Elaboración Propia.

3.6.2.8. Ensayo del índice de las agujas (ALARGAMIENTO) NORMA BRITISH STANDAR 812

Este ensayo determina el índice de alargamiento de una muestra de agregado grueso, de acuerdo a este método se define como índice de alargamiento a una fracción de agregado, el porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión máxima (longitud) es superior a 9/5 (1.8) de la dimensión media de la fracción.

Figura 3.18: Índice de las agujas (ALARGAMIENTO).



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.27: Datos del ensayo de índice de alargamiento.

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE AGUJAS (ALARGAMIENTO)						
NORMA BRITISH STANDAR 812						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	[g]	[g]	$\left[\frac{B}{A} \cdot 100 \right]$	[%]	[%]
1"	$\frac{3}{4}$ "	1602	99	6.16	4.11	25.32
$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	1400	108	7.73	31.88	246.33
$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	521	20	3.82	17.90	68.42
TOTAL:		227		17.71	53.89	340.07
$I. A. = \frac{\sum (IA_i \cdot R_i)}{\sum R_i} = 6.31 \%$						
REFERENCIAS. - A: Peso total de ensayo de la fracción i de la muestra, g. B: Peso de material alargadas de la fracción i de la muestra, g. C: Índice de agujas o alargamiento, de la fracción i de la muestra, IA_i . D: Porcentaje retenido de aporte por corte i, de gradación original, R_i . I.A.: Índice de agujas o alargamiento del agregado.						

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo del ensayo de índice de alargamiento

$$\% \text{ Total de índice de alargamiento} = \frac{\sum (IA_i \cdot R_i)}{\sum R_i}$$

$$\% \text{ Total de índice de alargamiento} = \frac{340.07}{53.89}$$

$$\% \text{ Total de índice de alargamiento} = 6.31\%$$

3.6.2.9. Ensayo del índice de laminaridad NORMA BRITISH STANDAR 812

En este ensayo se va determinar aproximadamente el índice laminar del agregado, si es muy plano o de formas muy alargadas que perjudican en la resistencia de la carpeta asfáltica. Determinar su coeficiente de forma y porcentaje de partículas alargadas en la grava y de esta forma determinar la cantidad de alargadas y redondeadas.

Figura 3.19: Índice laminar.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 3.28: Datos del ensayo de índice de laminaridad.

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE LAMINARIDAD						
NORMA BRITISH STANDAR 812						
TAMAÑO DEL AGREGADO		A	B	C	D	E
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	[g]	[g]	$[\frac{B}{A} \cdot 100]$	[%]	[%]
1"	$\frac{3}{4}$ "	1602	117	7.28	4.11	29.92
$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	1400	63	4.48	31.88	142.92
$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	521	106	20.35	17.90	364.25
TOTAL:		285		32.11	53.89	537.08
$I. L. = \frac{\sum (IL_i \cdot R_i)}{\sum R_i} \cdot 10.0 \%$						
REFERENCIAS. - A: Peso total de ensayo de la fracción i de la muestra, g. B: Peso de material laminar de la fracción i de la muestra, g. C: Índice de laminaridad de la fracción i de la muestra, IL_i . D: Porcentaje retenido de aporte por corte i, de gradación original, R_i . I.L.: Índice de laminaridad del agregado.						

Fuente: Elaboración Propia.

Proceso de cálculo del ensayo de índice de alargamiento

$$\% \text{ Total de índice de alargamiento} = \frac{\sum (IA_i \cdot R_i)}{\sum R_i}$$

$$\% \text{ Total de índice de alargamiento} = \frac{537.08}{53.89}$$

$$\% \text{ Total de índice de alargamiento} = 10.0\%$$

3.6.3. Caracterización del cemento asfáltico

Para caracterizar y evaluar el comportamiento del cemento asfáltico, es necesario realizar los diversos ensayos, para conocer el comportamiento a escala real; en este capítulo realizaremos una breve descripción de los diversos ensayos sobre el cemento asfáltico.

3.6.3.1. Ensayo de penetración (ASTM D-5)

Este método de ensayo cubre la determinación de la penetración de materiales bituminosos

semisólido y sólidos.

La consistencia de un cemento asfáltico se mide mediante un ensayo de penetración. Durante este ensayo se introduce una aguja de dimensiones específicas en una muestra de betún bajo una carga conocida (100 gr) a una temperatura fija (25 °C), durante un plazo de tiempo predeterminado (5 s).

Se denomina penetración a la distancia hasta la cual penetra la aguja, que se mide en décimas de milímetro (0.1 mm). Por lo tanto, cuanto mayor es la penetración de la aguja, más blando es el cemento.

Figura 3.20: Realización del ensayo de penetración del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.29: Datos del ensayo penetración del cemento asfáltico 85-100.

CONTROL DE CALIDAD DEL MATERIAL BITUMINOSO PARA TESIS				
ENSAYO DE PENETRACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO				
NORMA AASHTO T 49 / ASTM D 5				
CONDICIONES DE ENSAYO				
TEMPERATURA =	25	° C		
CARGA TOTAL DEL EQUIPO + AGUJA =	100	g		
DURACIÓN DEL ENSAYO =	5	s		
ENSAYO N.º:	1	2	3	
LECTURA INICIAL [0.1 mm]:	0.00	0.00	0.00	
LECTURA FINAL [0.1 mm]:	91.70	95.60	90.40	
PENETRACIÓN [0.1 mm]:	91.70	95.60	90.40	
				RESULTADOS
PENETRACIÓN [0.1 mm] =				93
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA =				85-100

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.2. Ensayo peso específico del asfalto (ASTM D-70)

Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del betún asfáltico que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando éste se mide a temperaturas elevadas. Se emplea como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactada.

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. El peso específico del betún asfáltico se determina normalmente por el método del picnómetro, descrito en los métodos AASHTO T-43 y ASTM D-70.

Figura 3.21: Realización del ensayo peso específico del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.30: Datos del ensayo peso específico.

ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO		
NORMA AASHTO T 228 / ASTM D 70		
CONDICIONES DE ENSAYO		
TEMPERATURA =	25	° C
PRUEBAS N.º:	1	2
IDENTIFICACIÓN DEL PICNÓMETRO:	P – 1	P - 2
PESO DEL PICNÓMETRO VACÍO, W ₁ [g] =	32.51	32.37
PESO DEL PICNÓMETRO + CEMENTO ASFÁLTICO, W ₂ [g] =	50.78	53.56
PESO DEL PICNÓMETRO + CEMENTO ASFÁLTICO + AGUA, W ₃ [g] =	59.28	60.66
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA, W ₄ [g] =	59.04	60.39
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL Cemento Asfáltico =	1.01	1.01
PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A TEMPERATURA DE ENSAYO [g/cm³] =	1.00	1.00
PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO [g/cm³] =	1.01	1.01
	RESULTADO	
PESO ESPECÍFICO C. A. [g/cm³] =	1.01	
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA =	1.00 - 1.05	
<u>OBSERVACIONES.</u> - El Cemento Asfáltico cumple con Especificaciones Técnicas respecto de su peso específico.		

Fuente: Elaboración propia.

Proceso de cálculo

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = \frac{(50.78-32.51)}{59.04 + (50.78 - 32.51) - 59.28} * 0.997 = 1.01$$

$$\text{Peso específico cemento asfáltico} = 1.01 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

3.6.3.3. Ensayo punto de ablandamiento (ASTM D-36)

Los asfaltos de diferentes tipos se ablandan a temperaturas diferentes. El punto de ablandamiento se determina usualmente por el método de ensayo arbitrario de anillo y bola. Aunque este ensayo no se incluye en las especificaciones para los asfaltos de pavimentación, se emplea frecuentemente para caracterizar los materiales más duros empleados en otras aplicaciones e indica la temperatura a la que estos asfaltos se hacen fluidos.

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 especificados. 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. Esta temperatura se llama punto de ablandamiento del asfalto.

Los procedimientos y aparatos necesarios para la realización del ensayo se describen con detalle en los métodos AASHTO T-53 y ASTM D-36.

Figura 3.22: Ensayo punto de ablandamiento.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.31: Datos y resultado del ensayo de punto de ablandamiento.

ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO DEL ASFALTO		
NORMA AASHTO T 53 / ASTM D 95		
CONDICIONES DE ENSAYO		
TEMPERATURA INICIAL =	5	° C
INCREMENTO DE TEMPERATURA =	5	°C/min.
ENSAYO N.º:	1	2
TEMPERATURA FINAL °C.	51	52
		RESULTADO
TEMPERATURA °C =		52
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:		Mínimo 43°C.
<u>OBSERVACIONES.</u> - La Emulsión Asfáltica, <u>cumple</u> con Especificaciones Técnicas respecto de su punto de ablandamiento para la ejecución del ensayo.		

Fuente: Elaboración propia.

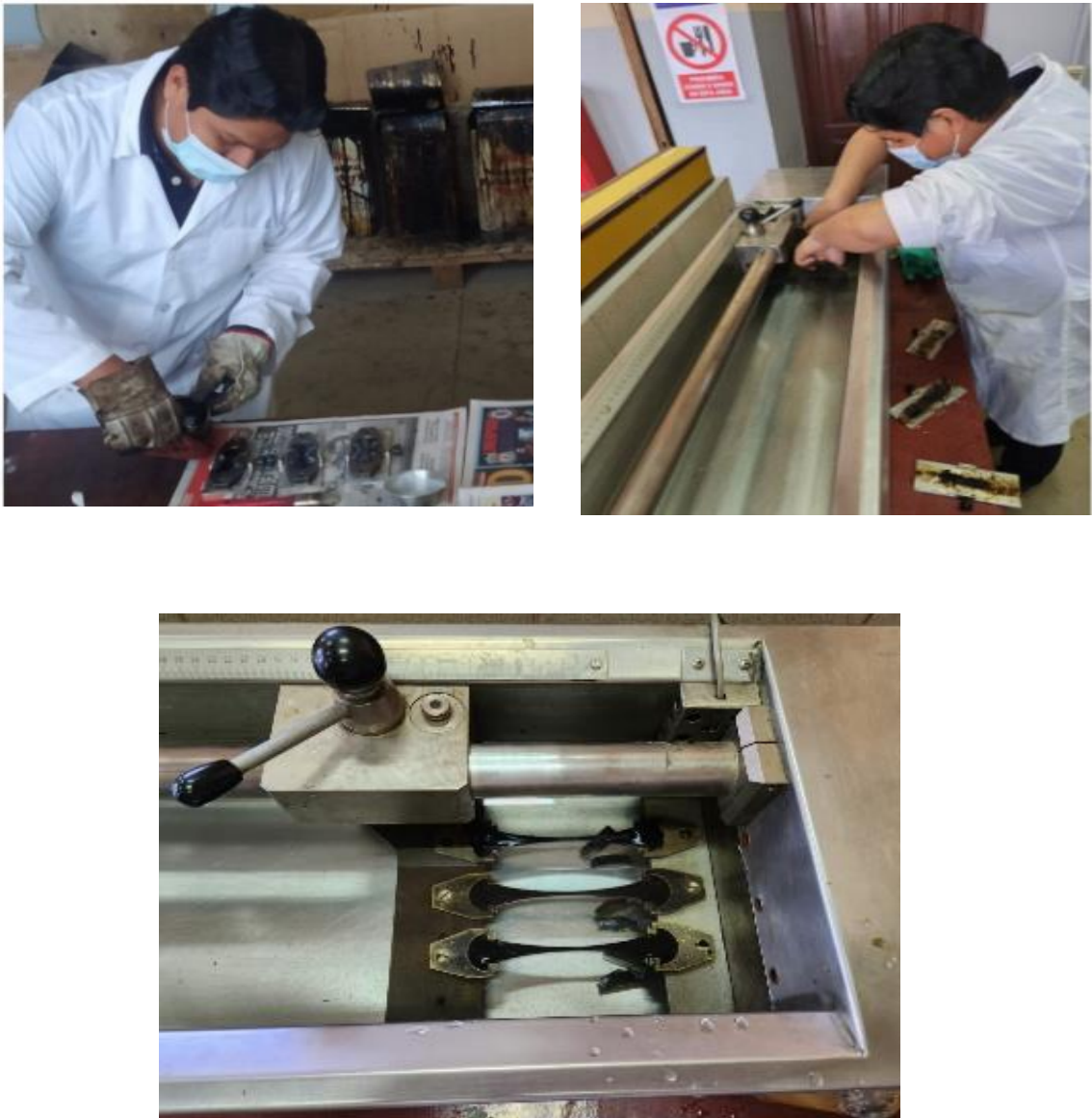
3.6.3.4. Ensayo ductilidad (ASTM D-113)

La ductilidad de un material bituminoso es medida por la distancia en centímetros a la cual se alargará antes de romper cuando se tiran dos extremos de un espécimen de la briqueta del material, estos extremos son separados a una velocidad especificada y a una temperatura especificada. Este ensayo consiste en armar el molde en el plato bajo, y para prevenir que el material de ensayo se pegue, cubrir la superficie del plato con glicerina. Verter el cemento asfáltico en un delgado chorro de un lado a otro, de principio a fin hasta que el material cubra el nivel lleno del molde, dejar que se enfríen por un periodo de 30 a 40 minutos y entonces poner el plato base y el molde lleno en el baño de agua a 25°C, por 30 minutos.

Quitar el plato base y el molde lleno del baño de agua, y con un contemporizador caliente

cortar el exceso del material bituminoso para que el molde simplemente esté lleno a nivel. Posteriormente quitar la briqueta del plato, despegar los pedazos laterales, e inmediatamente realizar el ensayo.

Figura 3.23: Realización del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.32: Datos y resultados del ensayo de ductilidad.

ENSAYO DE DUCTILIDAD SOBRE CEMENTO ASFÁLTICO			
NORMA AASHTO T 51 / ASTM D 113			
CONDICIONES DE ENSAYO			
TEMPERATURA =	25	° C	
VELOCIDAD =	5	min / s	
ENSAYO N.º:	1	2	3
LECTURA INICIAL [cm] =	0.00	0.00	0.00
LECTURA FINAL [cm] =	110.00	107.00	112.00
LECTURA FINAL DE LA PRUEBA O DE RUPTURA [cm] =	110.00	107.00	112.00
		RESULTADO	
LECTURA FINAL DE ENSAYO [cm] =		110	
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:		≥ 100 cm	
<u>OBSERVACIONES.</u> - El Cemento Asfáltico cumple con Especificaciones Técnicas respecto de su ductilidad. Para la ejecución del ensayo.			

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.5. Viscosidad Saybolt- Furol

La finalidad del ensayo de viscosidad es determinar el estado de fluidez de los asfaltos a las temperaturas que se emplean durante su aplicación. La viscosidad o consistencia del cemento asfáltico se mide en el ensayo de viscosidad Saybolt-Furol.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T - 72 y ASTM D - 88.

Figura 3.24: Realización del ensayo de viscosidad de Saybolt-Furol.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.33: Datos y resultados del ensayo de viscosidad Saybolt-Furol.

ENSAYO DE VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL			
NORMA AASHTO T 72 / ASTM D 88			
CONDICIONES DE ENSAYO			
TEMPERATURA =		135	° C
VASOS DE LLENADO =		60	ml
ENSAYO N.º:	1	2	
TIEMPO [seg.] =	137.60	139.70	
		LECTURA FINAL DE ENSAYO	
RESULTADO [sFS] =		138.65	
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:		Mínimo 85 sFS	
<u>OBSERVACIONES.</u> - El Cemento Asfáltico cumple con Especificaciones Técnicas respecto de su viscosidad Saybolt Furol.			

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3.6. Ensayo de la película delgada en horno (TFP)

Es un procedimiento el cual expone una muestra de asfalto a unas condiciones que aproximan a las ocurridas durante las operaciones que se realizan en plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración, efectuados sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de TFO o RTFO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado del material, durante la construcción y durante su servicio.

El procedimiento para la realización de este ensayo se detalla en los métodos AASHTO T - 179 y ASTM D - 1754.

Figura 3.25: Realización del ensayo de la película delgada en horno (TFP).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.34: Datos y resultados del ensayo de la película delgada en horno (TFP).

ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA EN HORNO												
NORMA AASHTO T 179 / ASTM D 1754												
<table><tr><td colspan="3">CONDICIONES DE ENSAYO</td></tr><tr><td>TEMPERATURA =</td><td>163</td><td>° C</td></tr><tr><td>DURACIÓN DEL ENSAYO =</td><td>5</td><td>h</td></tr></table>				CONDICIONES DE ENSAYO			TEMPERATURA =	163	° C	DURACIÓN DEL ENSAYO =	5	h
CONDICIONES DE ENSAYO												
TEMPERATURA =	163	° C										
DURACIÓN DEL ENSAYO =	5	h										
ENSAYO N.º:	1	2	3									
PESO DE PLATILLO VACÍO, W ₁ =	84.73	85.51	89.91									
PESO DE PLATILLO + C. A. ANTES, W ₂ =	134.73	135.52	139.98									
PESO DE PLATILLO + C. A. DESPUÉS, W ₃ =	134.30	135.09	139.80									
% PÉRDIDA DE MASA =	0.86	0.86	0.36									
		<table><tr><td>% PÉRDIDA DE MASA</td></tr><tr><td>RESULTADO = 0.69</td></tr><tr><td>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ≤ 1 %</td></tr></table>		% PÉRDIDA DE MASA	RESULTADO = 0.69	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ≤ 1 %						
% PÉRDIDA DE MASA												
RESULTADO = 0.69												
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ≤ 1 %												
OBSERVACIONES. - El Cemento Asfáltico cumple con Especificaciones Técnicas respecto de su pérdida de masa después de ensayo en horno giratorio.												

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Caracterización del filler

3.6.4.1. Ensayo de determinación de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D-4318)

La plasticidad de un suelo es muy importante al momento de ser utilizado este para diversos fines en pavimentos. Para calcular el índice de plasticidad es necesario determinar el límite líquido del suelo que es el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado al horno, cuando este se halla en el límite entre el estado

líquido y el estado plástico. El ensayo se realiza utilizando una porción de material húmedo disperso en el aparato llamado casa grande y sometida a una serie de golpes hasta obtener la unión del material. Los cálculos se realizan con los determinados pesos de la muestra en estado húmedo, seco y por consiguiente hallar el índice de plasticidad.

El límite plástico de un suelo es el contenido mínimo de agua en el cual el material permanece en estado plástico. Es indispensable establecer este límite para determinar el índice de plasticidad que es el tamaño del intervalo de contenido agua, expresado con un porcentaje de la masa seca de suelo, dentro del cual el suelo está en un estado plástico. El índice de plasticidad sirve para determinar qué tipo de suelo está en un estado plástico. El índice de plasticidad sirve para determinar qué tipo de suelo se está ensayando y que tan compresibles es. Según la norma ASTM-242 donde especifica los requerimientos necesarios para que un suelo pueda ser utilizado como llenante mineral aclara que el índice de plasticidad no puede estar superior a 4 teniendo algunas excepciones como la cal hidratada y el cemento hidráulico. El ensayo es sencillo y se utiliza una pequeña porción de muestra, formando rollitos de masa hasta quebrantarse, pesando la muestra en estado húmedo y seco y calculando el límite y el índice con las fórmulas indicadas por la norma.

Figura 3.26: Aparato de casa grande.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 3.27: Colocado y retiro de la muestra en el aparato de casa grande.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.35. Límites de Atterberg.

	Resultado
Límite Líquido =	25
Límite Plástico =	N.P.
Índice de Plasticidad =	N.P.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4.1. Ensayo de granulometría método del lavado (ASTM C-136)

En este método utilizamos el material que pasa el tamiz N.º 10, en el cual se toma una muestra representativa en total 210.00 gr.

La muestra hay que saturarla con agua completamente, cuya consistencia se asemeje al barro y con mucho cuidado de no perder material se introduce la muestra en la malla N.º 40, y con agua se procede a lavar la muestra hasta que el agua que escurre tome un color más claro. El material retenido en la malla N.º 200, se coloca en un recipiente para secarlo en el horno, y nuevamente proceder a tamizar con las mallas N.º 40 y N.º 200 y pesar lo que retiene en cada tamiz.

Figura 3.28: proceso de lavado del filler.



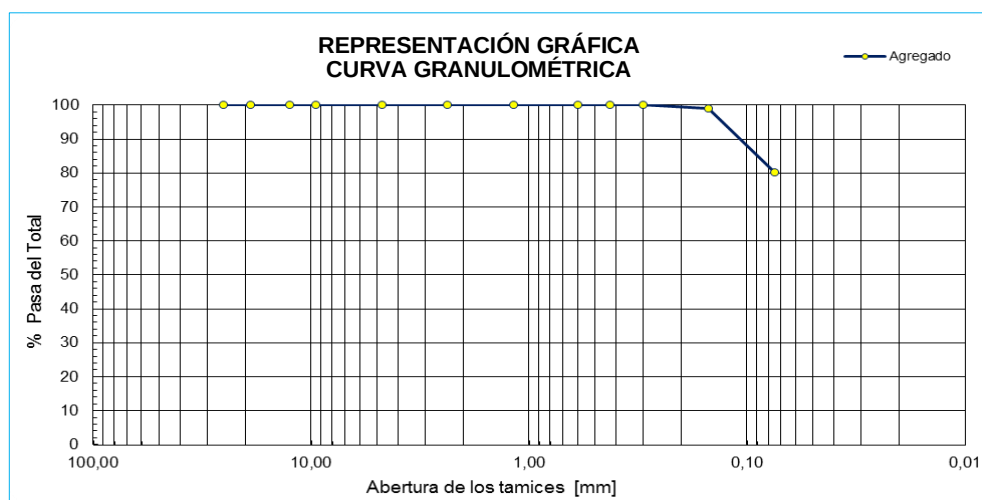
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.36: Datos y resultados de la granulometría del filler

Peso total = 204.55 gr					
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Ret. Acum.	% Ret.	% Que Pasa
	(mm)	(gr)	(gr)		del Total
N.º 40	0.425	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º 50	0.300	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º 80	0.150	2.01	2.01	0.98	99.02
N.º 200	0.075	38.27	40.28	19.69	80.31

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.5: Curva granulométrica del filler.



Fuente: Elaboración propia.

3.6.4.2. Ensayo de peso específico del filler (ASTM D-854)

Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas de suelos compuestos por partículas menores que 5mm. Cuando el suelo se compone de partículas mayores que 5mm, se debe aplicar el rentado de determinación de densidad neta de los gruesos, según el método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.

Cuando el suelo se compone tanto de partículas mayores como menores que 5mm, separe en el tamiz N°4 (4.75mm), determine y registre el porcentaje en masa seca de ambas fracciones y ensáyese con el método correspondiente. El resultado es el procedimiento ponderado de ambas fracciones.

Los aparatos y procedimientos para la realización de estos ensayos se detallan en los métodos AASHO T-100 y ASTM D-854.

Figura 3.29: proceso de lavado del filler.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.37: Datos y resultados del ensayo de peso específico.

PESO ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS					
MÉTODO DEL FRASCO VOLUMÉTRICO AFORADO - AASHTO T 100 / ASTM D 854					
Prueba N. ^a		1	2	3	
Identificación del frasco volumétrico		F- 2	F - 3	F - 4	
Peso suelo seco, w _s	g	75.36	67.63	81.21	
Peso frasco + suelo + agua, w _{fws}	g	715.11	704.00	719.40	
Temperatura de Ensayo, t _x	°C	18.80	18.50	18.60	
Peso frasco + agua, w _{fw}	g	670.58	664.01	671.48	
Peso específico relativo de los sólidos, a t _x ,	$\gamma_s = \frac{W_s}{W_s + W_{fw} - W_{fws}}$	g/cm ³	2.44	2.45	2.44
Factor de conversión, K		1.00	1.00	1.00	
Peso Específico de los Sólidos, a 20 °C, G _s	-	2.44	2.45	2.44	
	RESULTADO				
	Peso Específico de los Sólidos a 20 °C, G _s =		2.44		

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Diseño de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de filler

El diseño de mezclas asfálticas se lo realiza con diferentes porcentajes de filler (ceniza volcánica), que se lo obtiene de la ciudad de Potosí, provincia Sur Lipez del cerro K'alka Punta, y los demás agregados chancados de la chancadora y clasificadora de Garzón: grava gravilla y arena.

3.7.1. Diseño granulométrico

Se realiza el diseño granulométrico con la grava, gravilla, arena y filler (ceniza volcánica), caracterizados previamente, formando una curva granulométrica con diferentes porcentajes de filler (3%, 5% y 7%), dentro del diseño final.

- Para el diseño de las fajas granulométricas se utilizarán los materiales de los que se disponga, tanto para el agregado grueso como para el fino, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 27% de grava de 3/4", 28% de gravilla de 3/8", de 42.3% de arena y de 2.7% de filler, haciendo un total del 50% del agregado grueso y 50% de agregado fino para la granulometría de la mezcla al 3%.

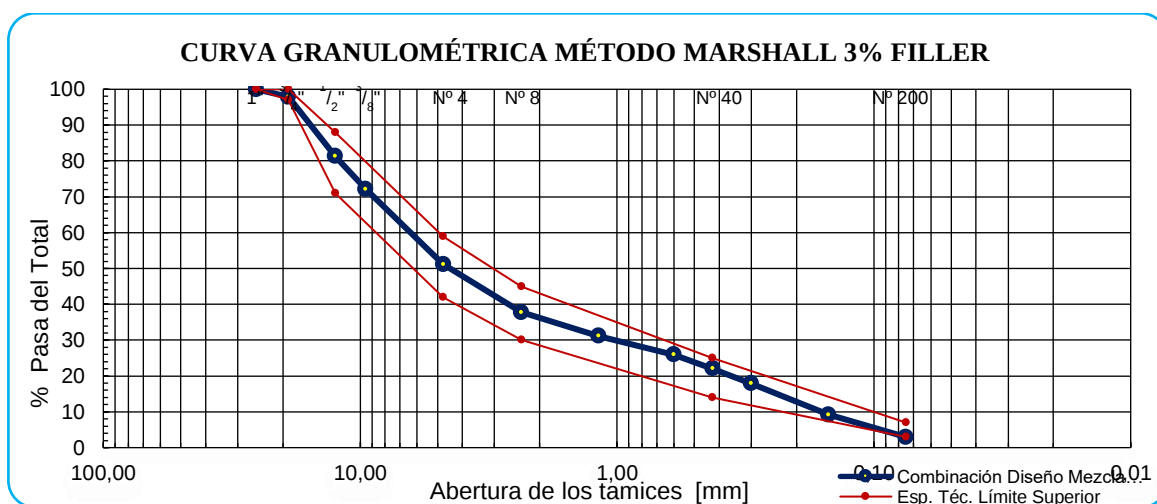
A continuación, se muestra el resumen de las granulometrías formadas a diferentes porcentajes de filler:

Tabla 3.38: Diseño granulométrico para 3% filler.

Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del Total				Dosificación de los agregados					ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA GRADACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA - TAMAÑO NOMINAL 3/4"	
		Agregado 3/4"	Agregado 3/8"	Arena Triturada	Filler	Agregado 3/4"	Agregado 3/8"	Arena Triturada	Filler	% Pasa del Total		
						27%	28%	42.3%	2.7%		Límite Inferior	Límite Superior
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100.00	27.00	28.00	42.30	2.70	100.00	100	100
3/4"	19.05	92.10	100.00	100.00	100.00	24.87	28.00	42.30	2.70	97.87	97	100
1/2"	12.50	30.84	100.00	100.00	100.00	8.33	28.00	42.30	2.70	81.33	71	88
3/8"	9.53	0.00	97.02	100.00	100.00	0.00	27.17	42.30	2.70	72.17		
N.º 4	4.75	0.00	31.66	93.60	100.00	0.00	8.86	39.59	2.70	51.16	42	59
N.º 8	2.36	0.00	7.09	78.10	100.00	0.00	1.99	33.04	2.70	37.72	30	45
N.º 16	1.180	0.00	3.87	64.75	100.00	0.00	1.08	27.39	2.70	31.17		
N.º 30	0.600	0.00	2.98	52.99	100.00	0.00	0.83	22.42	2.70	25.95		
N.º 40	0.425	0.00	2.67	44.00	100.00	0.00	0.75	18.61	2.70	22.06	14	25
N.º 80	0.300	0.00	2.36	34.26	100.00	0.00	0.66	14.49	2.70	17.85		
N.º 100	0.150	0.00	1.67	14.25	99.02	0.00	0.47	6.03	2.67	9.17		
N.º 200	0.075	0.00	1.03	1.20	80.31	0.00	0.29	0.51	2.17	3.0	3	7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.6: Curva de diseño granulométrico para 3% filler.



Fuente: Elaboración propia.

- Para el diseño de las fajas granulométricas se utilizarán los materiales de los que se disponga, tanto para el agregado grueso como para el fino, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 25% de grava de 3/4", 30% de gravilla de 3/8", de 39,8% de arena y de 5,2% de filler, haciendo un total del 50% del agregado grueso y 50% de agregado fino para la granulometría de la mezcla al 5%.

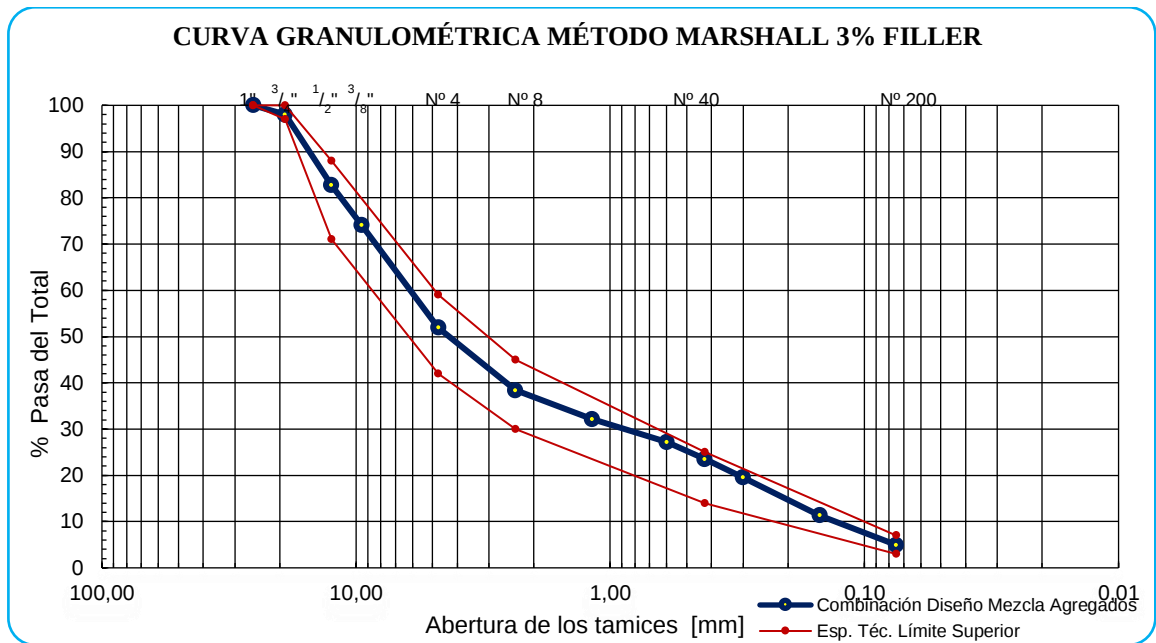
A continuación, se muestra el resumen de las granulometrías formadas a diferentes porcentajes de filler:

Tabla 3.39: Diseño granulométrico para 5% filler.

Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del Total				Dosificación de los agregados					ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA GRADACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA - Tamaño NOMINAL 3/4"	
		Agregado 3/4"	Agregado 3/8"	Arena Triturada	Filler	Agregado 3/4"	Agregado 3/8"	Arena Triturada	Filler	% Pasa del Total		
						25%	30%	39.8%	5.2%		Límite Inferior	Límite Superior
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100.00	25.00	30.00	39.80	5.20	100.00	100	100
3/4"	19.05	92.10	100.00	100.00	100.00	23.03	30.00	39.80	5.20	98.03	97	100
1/2"	12.50	30.84	100.00	100.00	100.00	7.71	30.00	39.80	5.20	82.71	71	88
3/8"	9.53	0.00	97.02	100.00	100.00	0.00	29.11	39.80	5.20	74.11		
N.º 4	4.75	0.00	31.66	93.60	100.00	0.00	9.50	37.25	5.20	51.95	42	59
N.º 8	2.36	0.00	7.09	78.10	100.00	0.00	2.13	31.08	5.20	38.41	30	45
N.º 16	1.180	0.00	3.87	64.75	100.00	0.00	1.16	25.77	5.20	32.13		
N.º 30	0.600	0.00	2.98	52.99	100.00	0.00	0.89	21.09	5.20	27.18		
N.º 40	0.425	0.00	2.67	44.00	100.00	0.00	0.80	17.51	5.20	23.51	14	25
N.º 80	0.300	0.00	2.36	34.26	100.00	0.00	0.71	13.64	5.20	19.54		
N.º 100	0.150	0.00	1.67	14.25	99.02	0.00	0.50	5.67	5.15	11.32		
N.º 200	0.075	0.00	1.03	1.20	80.31	0.00	0.31	0.48	4.18	5.0	3	7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.7: Curva de diseño granulométrico para 5% filler.



Fuente: Elaboración propia.

- Para el diseño de las fajas granulométricas se utilizarán los materiales de los que se disponga, tanto para el agregado grueso como para el fino, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 28% de grava de 3/4", 28% de gravilla de 3/8", de 36.2% de arena y de 7.8% de filler, haciendo un total del 50% del agregado grueso y 50% de agregado fino para la granulometría de la mezcla al 7%.

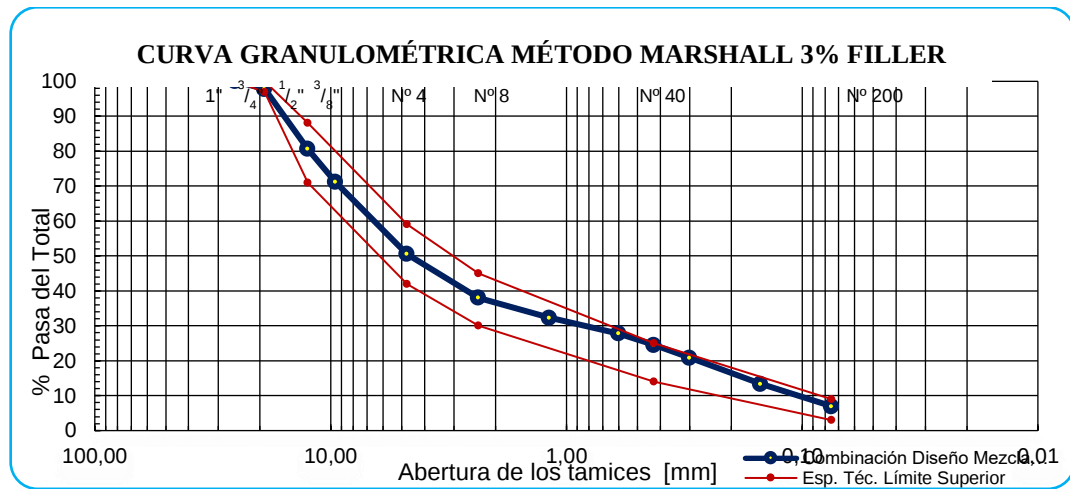
A continuación, se muestra el resumen de las granulometrías formadas a diferentes porcentajes de filler:

Tabla 3.40: Diseño granulométrico para 7% filler.

Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del Total				Dosificación de los agregados					ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA GRADACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA - Tamaño NOMINAL 3/4"	
		Agregado 3/4"	Agregado 3/8"	Arena Triturada	Filler	Agregado 3/4"	Agregado 3/8"	Arena Triturada	Filler	% Pasa del Total		
						28%	28%	36.2%	7.8%		Límite Inferior	Límite Superior
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100.00	28.00	28.00	36.20	7.80	100.00	100	100
3/4"	19.05	92.10	100.00	100.00	100.00	25.79	28.00	36.20	7.80	97.79	97	100
1/2"	12.50	30.84	100.00	100.00	100.00	8.63	28.00	36.20	7.80	80.63	71	88
3/8"	9.53	0.00	97.02	100.00	100.00	0.00	27.17	36.20	7.80	71.17		
N.º 4	4.75	0.00	31.66	93.60	100.00	0.00	8.86	33.88	7.80	50.55	42	59
N.º 8	2.36	0.00	7.09	78.10	100.00	0.00	1.99	28.27	7.80	38.06	30	45
N.º 16	1.180	0.00	3.87	64.75	100.00	0.00	1.08	23.44	7.80	32.32		
N.º 30	0.600	0.00	2.98	52.99	100.00	0.00	0.83	19.18	7.80	27.82		
N.º 40	0.425	0.00	2.67	44.00	100.00	0.00	0.75	15.93	7.80	24.48	14	25
N.º 80	0.300	0.00	2.36	34.26	100.00	0.00	0.66	12.40	7.80	20.86		
N.º 100	0.150	0.00	1.67	14.25	99.02	0.00	0.47	5.16	7.72	13.35		
N.º 200	0.075	0.00	1.03	1.20	80.31	0.00	0.29	0.43	6.26	7.0	3	9

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.8: Curva de diseño granulométrico para 7% filler.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Dosificación de mezclas asfálticas

Con las granulometrías de los agregados se tiene una dosificación tentativa, con la cual se procederá a preparar 3 briquetas para distintos porcentajes de cemento asfáltico variando de 0,5% con respecto del porcentaje aproximado de cemento asfáltico calculado; de igual manera varían el porcentaje de agregados en la mezcla, de la cual se obtendrá el porcentaje óptimo de cemento asfáltico a utilizar en los cálculos. En la siguiente tabla se muestra las cantidades:

Tabla 3.41: Variaciones del porcentaje del cemento asfáltico para obtener el porcentaje óptimo de cada diseño granulométrico.

Porcentajes de cemento asfáltico	Cantidad de briquetas a realizar
5.00%	3
5.50%	3
6.00%	3
6.50%	3
7.00%	3
Total, briquetas elaboradas para cada diseño	15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.42: Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 3% filler.

Agregado 3/4" =	27%	Peso Mezcla =	1200	g
Agregado 3/8" =	28%	Contenido Asfalto =	5.0	%
Arena Triturada =	42.3%	Peso Asfalto =	60.00	g
Filler=	2.7%	Peso Agregado =	1140.00	g
Cortes de Tamices	Peso en gr. del Agregado 3/4"	Peso en gr. del Agregado 3/8"	Peso en gr. del Arena Triturada	Peso en gr. del Filler
1" - 3/4"	24.31	0.00	0.00	0.00
3/4" - 1/2"	188.57	0.00	0.00	0.00
1/2" - 3/8"	94.92	9.50	0.00	0.00
3/8" - N.º 4	0.00	208.66	30.84	0.00
N.º 4 - N.º 8	0.00	78.40	74.76	0.00
Pasa N.º 8	0.00	22.64	376.61	30.78
Agregado 3/4" Ret. 1/2":	212.88			
Agregado 3/4" Pasa N.º 4:	0.00			
Arena triturada Ret. N.º 8:			105.61	
Peso agregado =	307.80	319.20	482.22	30.78
Peso Total agregado =		1140.00	g	
Peso Total Mezcla =		1200.00	g	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.43: Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 5% filler.

Agregado 3/4" =	25%	Peso Mezcla =	1200	g
Agregado 3/8" =	30%	Contenido Asfalto =	5.0	%
Arena Triturada =	39.8%	Peso Asfalto =	60.00	g
Filler=	5.2%	Peso Agregado =	1140.00	g
Cortes de Tamices	Peso en gr. del Agregado 3/4"	Peso en gr. del Agregado 3/8"	Peso en gr. del Arena Triturada	Peso en gr. del Filler
1" - 3/4"	22.51	0.00	0.00	0.00
3/4" - 1/2"	174.60	0.00	0.00	0.00
1/2" - 3/8"	87.89	10.18	0.00	0.00
3/8" - N.º 4	0.00	223.56	29.02	0.00
N.º 4 - N.º 8	0.00	84.00	70.34	0.00
Pasa N.º 8	0.00	24.26	354.36	59.28
Agregado 3/4" Ret. 1/2":	197.11			
Agregado 3/4" Pasa N.º 4:	0.00			
Arena triturada Ret. N.º 8:			99.36	
Peso agregado =	285.00	342.00	453.72	59.28
Peso Total agregado =		1140.00	g	
Peso Total Mezcla =		1200.00	g	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.44: Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 7% filler.

Agregado 3/4" =	28%	Peso Mezcla =	1200	g
Agregado 3/8" =	28%	Contenido Asfalto =	5.0	%
Arena Triturada =	36.2%	Peso Asfalto =	60.00	g
Filler=	7.8%	Peso Agregado =	1140.00	g
Cortes de Tamices	Peso en gr. del Agregado 3/4"	Peso en gr. del Agregado 3/8"	Peso en gr. del Arena Triturada	Peso en gr. del Filler
1" - 3/4"	25.21	0.00	0.00	0.00
3/4" - 1/2"	195.55	0.00	0.00	0.00
1/2" - 3/8"	98.43	9.50	0.00	0.00
3/8" - N.º 4	0.00	208.66	26.40	0.00
N.º 4 - N.º 8	0.00	78.40	63.98	0.00
Pasa N.º 8	0.00	22.64	322.30	88.92
Agregado 3/4" Ret. 1/2":	220.77			
Agregado 3/4" Pasa N.º 4:	0.00			
Arena triturada Ret. N.º 8:			90.38	
Peso agregado =	319.20	319.20	412.68	88.92
Peso Total agregado =		1140.00	g	
Peso Total Mezcla =		1200.00	g	

Fuente: Elaboración propia.

3.7.3. Elaboración de briquetas

A partir de las dosificaciones se procede a realizar las briquetas en laboratorio de la siguiente manera.

Equipo: Martillo de compactación, dispositivo para moldear probetas, extractor de probetas, balanza $\pm 0.1\text{gr}$, bandejas metálicas, termómetro, espátula.

Procedimiento:

Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C. Por un lado, se pesan en bandejas previamente calibradas y separadas con los diferentes tipos de agregados calculados en los porcentajes propuestos en el presente estudio para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada al horno para calentar a una temperatura de 170 a 180°C. Por otro lado, se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 155°C. Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.

Se pesan luego sobre una ollita de igual manera calibrada, las diversas fracciones de áridos de acuerdo con los pesos acumulativos. Se mezclan perfectamente los agregados y se forma un cráter en la mezcla, se coloca la ollita sobre la balanza y se vierte sobre los agregados el asfalto caliente, hasta completar el peso total de agregados más el asfalto calculado para un porcentaje de la mezcla total.

Figura 3.30: Pesado de los materiales.



Fuente: Elaboración propia.

Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla y compactado es 135°C en ningún caso someterse a recalentamiento.

Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro interior y 3" de altura. La compactación se hace usando un martillo especial compuesto de: un disco circular 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 esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briqueta en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 15 briquetas. El molde, conteniendo la briqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante media hora y luego se extrajo la briqueta mediante un gato hidráulico.

Figura 3.31: Elaboración y compactado de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.4. Rotura de briquetas

Para la rotura de briquetas, se procede a realizar dos pasos previos, el primero para determinar las propiedades volumétricas Marshall (densidad, vacíos de la mezcla, vacíos del agregado mineral y la relación betún vacíos) y la segunda para determinar la estabilidad y fluencia de la mezcla.

Procedimiento

Una vez extraídas las briquetas de los moldes y dejado enfriar 24 horas, se procede primero a 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.

Figura 3.32: Medición de las alturas de la briqueta.



Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el ensayo de propiedades volumétricas la muestra se debe eliminar con una lija metálica todas las impurezas aristas sueltas para poder tener una briqueta homogénea y casi lisa y luego pesar en seco, luego sumergir en agua a 25°C para obtener el dato del peso saturado superficialmente seco con un intervalo de 5 minutos de briqueta en briqueta. Luego se obtiene un peso sumergido en agua a 25 °C, antes de su ruptura debe ser sumergida en baño de agua a $60^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 1,8^{\circ}\text{F}$) durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

Figura 3.33: Briqueta sumergida en agua.



Fuente: Elaboración propia.

Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas. La temperatura de las mismas se debe mantener entre 21°C y 38°C (70 a 100°F). 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 se deslice fácilmente sin pegarse. Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que el 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 50.8mm por minuto hasta que se produce 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°C (150°F) se anota como valor de 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 3.34: Ensayo de Estabilidad y Fluencia.



Fuente: Elaboración propia.

3.7.5. Datos y resultados de propiedades Marshall

Del proceso de rotura de briquetas se obtuvieron los siguientes datos y resultados de propiedades volumétricas, estabilidad y fluencia para diferentes porcentajes de filler, como se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 3.45: Propiedades volumétricas de la mezcla con 3% filler.

IDENTIFICACIÓN	Altura de briqueta (cm)	% Asfalto		Peso Específico Bulk Mezcla Bituminosa Compactada ASTM D 2726						Peso Específico Máximo Teórico de la Mezcla (g/cm³)	% Vacíos		
		Base mezcla	Base agregado	Peso Briqueta Aire (g)	Peso Briqueta Sumergida (g)	Peso Briqueta S.S.S. (g)	Volumen (cm³)	Densidad Bulk Briquetas (g/cm³)	Densidad Bulk Promedio (g/cm³)		Mezcla	Agregado Mineral (VAM)	Llenos de asfalto (RBV)
1	6.56	5.0	5.26	1161.16	657.97	1165.69	507.72	2.287	2.287	2.441	6.3	16.0	60.6
2	6.59			1179.37	668.73	1183.74	515.01	2.290					
3	6.54			1181.36	664.78	1182.01	517.23	2.284					
4	6.47	5.5	5.82	1180.56	672.85	1182.15	509.30	2.318	2.313	2.423	4.5	15.5	70.8
5	6.53			1181.67	673.00	1183.66	510.66	2.314					
6	6.50			1182.04	670.80	1182.95	512.15	2.308					
7	6.43	6.0	6.38	1178.67	673.52	1180.69	507.17	2.324	2.325	2.405	3.4	15.6	78.4
8	6.55			1177.07	674.20	1179.81	505.61	2.328					
9	6.45			1186.25	676.45	1187.32	510.87	2.322					
10	6.38	6.5	6.95	1179.71	677.10	1181.03	503.93	2.341	2.339	2.388	2.1	15.5	86.7
11	6.35			1180.14	675.50	1180.91	505.41	2.335					
12	6.42			1179.62	676.43	1180.54	504.11	2.340					
13	6.36	7.0	7.53	1180.75	674.85	1180.52	505.67	2.335	2.331	2.371	1.7	16.2	89.7
14	6.44			1179.47	673.89	1180.54	506.65	2.328					
15	6.40			1178.42	673.69	1179.45	505.76	2.330					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.46: Propiedades volumétricas con el diseño optimo al 3% filler.

IDENTIFICACIÓN	Altura de briqueta (cm)	% Asfalto		Peso Específico Bulk Mezcla Bituminosa Compactada ASTM D 2726						Peso Específico Máximo Teórico de la Mezcla (g/cm³)	% Vacíos		
		Base mezcla	Base agregado	Peso Briqueta Aire (g)	Peso Briqueta Sumergida (g)	Peso Briqueta S.S.S. (g)	Volumen (cm³)	Densidad Bulk Briquetas (g/cm³)	Densidad Bulk Promedio (g/cm³)		Mezcla	Agregado Mineral (VAM)	Llenos de asfalto (RBV)
1	6.53	6.19	6.60	1187.42	683.05	1191.80	508.75	2.334					
2	6.57			1184.57	680.90	1188.98	508.08	2.331					
3	6.59			1185.81	682.24	1190.74	508.50	2.332	2.332	2.399	2.8	15.5	82.1
ESTABILIDAD PERMANENTE, DESPUÉS DE 24 HORAS DE INMERSIÓN A 60°C													
4	6.58	6.19	6.60	1188.46	680.08	1190.95	510.87	2.326					
5	6.56			1185.43	680.03	1188.13	508.10	2.333					
6	6.54			1186.85	680.07	1189.89	509.82	2.328	2.330	2.399	2.9	15.6	81.5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.47: Estabilidad y fluencia de la mezcla con 3% filler.

IDENTIFICACIÓN	Estabilidad Marshall					Fluencia (1/100")	
	Lectura Dial	Real (Lb)	Factor de corrección	Corregida (Lb)	Corregida Media (Lb)	Briquetas	Promedio
1	1094	2934	0.948	2782	2754	9.0	9.3
2	1080	2896	0.941	2726		9.0	
3	1075	2883	0.953	2747		10.0	
4	1204	3231	0.970	3134	2681 3095	9.0	10.0
5	1192	3198	0.955	3056		10.0	
6	1198	3214	0.963	3094		11.0	
7	1249	3352	0.980	3285	3031 3231	10.0	11.0
8	1245	3341	0.951	3176		11.0	
9	1238	3322	0.975	3239		12.0	
10	1224	3285	0.993	3261	3306	12.0	12.7
11	1248	3349	1.001	3351		13.0	
12	1250	3355	0.983	3296		13.0	
13	1135	3044	0.998	3038	3018	13.0	14.0
14	1143	3066	0.977	2997		15.0	
15	1139	3055	0.988	3017		14.0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.48: Estabilidad y fluencia para el diseño optimo al 3% filler.

IDENTIFICACIÓN	Estabilidad Marshall					Fluencia (1/100 cm)	
	Lectura Dial	Real (kg)	Factor de corrección	Corregida (kg)	Corregida Media (kg)	Briquetas	Promedio
1	1297	3482	0.955	3326		11.5	
2	1302	3495	0.946	3306		12.1	
3	1295	3476	0.941	3272	3301	11.3	11.6
ESTABILIDAD PERMANENTE, DESPUÉS DE 24 HORAS DE INMERSIÓN A 60°C							
4	1127	3023	0.944	2852		11.4	
5	1119	3001	0.948	2846		11.3	
6	1110	2977	0.953	2837	2849	11.7	11.5

ESTABILIDAD A LOS 30 MINUTOS DE INMERSIÓN EN AGUA 60 °C =	3301	kg	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:
ESTABILIDAD A LAS 24 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA 60 °C =	2849	kg	Mínimo 85 %
ESTABILIDAD REMANENTE CON RESPECTO A LA ESTABILIDAD MARSHALL =	86.3	%	CUMPLE ESPEC. TÉC.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.49: Propiedades volumétricas de la mezcla con 5% filler.

IDENTIFICACIÓN	Altura de briqueta (cm)	% Asfalto		Peso Específico Bulk Mezcla Bituminosa Compactada ASTM D 2726							% Vacíos		
		Base mezcla	Base agregado	Peso Briqueta Aire (g)	Peso Briqueta Sumergida (g)	Peso Briqueta S.S.S. (g)	Volumen (cm ³)	Densidad Bulk Briquetas (g/cm ³)	Densidad Bulk Promedio (g/cm ³)	Peso Específico Máximo Teórico de la Mezcla (g/cm ³)	Mezcla	Agregado Mineral (VAM)	Llenos de asfalto (RBV)
1	6.43	5.0	5.26	1182.27	673.35	1184.05	510.70	2.315	2.313	2.437	5.1	14.98	66.09
2	6.42			1183.93	673.58	1185.22	511.64	2.314					
3	6.48			1181.42	671.30	1182.52	511.22	2.311					
4	6.41	5.5	5.82	1178.66	671.16	1179.64	508.48	2.318	2.320	2.419	4.1	15.19	73.00
5	6.49			1181.34	674.55	1183.75	509.20	2.320					
6	6.54			1179.80	674.11	1182.21	508.10	2.322					
7	6.43	6.0	6.38	1154.46	662.45	1158.57	496.12	2.327	2.327	2.401	3.1	15.39	79.77
8	6.25			1162.93	662.93	1163.11	500.18	2.325					
9	6.37			1167.32	667.41	1168.84	501.43	2.328					
10	6.38	6.5	6.95	1183.58	674.64	1183.93	509.29	2.324	2.323	2.384	2.5	15.96	84.06
11	6.24			1158.96	659.58	1159.13	499.55	2.320					
12	6.34			1180.87	673.31	1180.99	507.68	2.326					
13	6.29	7.0	7.53	1179.04	670.34	1179.20	508.86	2.317	2.319	2.367	2.0	16.56	87.89
14	6.27			1166.44	663.95	1166.51	502.56	2.321					
15	6.36			1181.01	672.00	1181.06	509.06	2.320					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.50: Propiedades volumétricas con el diseño optimo al 5% filler.

IDENTIFICACIÓN	Altura de briqueta (cm)	% Asfalto		Peso Específico Bulk Mezcla Bituminosa Compactada ASTM D 2726						Peso Específico Máximo Teórico de la Mezcla (g/cm³)	% Vacíos		
		Base mezcla	Base agregado	Peso Briqueta Aire (g)	Peso Briqueta Sumergida (g)	Peso Briqueta S.S.S. (g)	Volumen (cm³)	Densidad Bulk Briquetas (g/cm³)	Densidad Bulk Promedio (g/cm³)		Mezcla	Agregado Mineral (VAM)	Lleno de asfalto (RBV)
1	6.57	5.93	6.30	1184.48	679.10	1188.78	509.68	2.324					
2	6.55			1184.63	680.88	1189.97	509.09	2.327					
3	6.61			1185.37	679.10	1188.94	509.84	2.325	2.325	2.404	3.3	15.4	78.7
ESTABILIDAD PERMANENTE, DESPUÉS DE 24 HORAS DE INMERSIÓN A 60°C													
4	6.55	5.93	6.30	1187.47	679.81	1190.34	510.53	2.326					
5	6.51			1184.47	677.33	1186.78	509.45	2.325					
6	6.54			1186.41	678.92	1188.99	510.07	2.326	2.326	2.404	3.3	15.4	78.8

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.51: Estabilidad y fluencia de la mezcla con 5% filler.

IDENTIFICACIÓN	Estabilidad Marshall					Fluencia (1/100")	
	Lectura Dial	Real (Lb)	Factor de corrección	Corregida (Lb)	Corregida Media (Lb)	Briquetas	Promedio
1	1212	3252	0.980	3187	3185	10.0	8.3
2	1215	3260	0.983	3203		8.0	
3	1219	3271	0.968	3165		7.0	
4	1314	3528	0.985	3475	3415	8.0	9.7
5	1319	3541	0.965	3417		12.0	
6	1310	3517	0.953	3351		9.0	
7	1320	3544	0.980	3473	3560	13.0	12.3
8	1330	3571	1.028	3669		12.0	
9	1324	3554	0.995	3538		12.0	
10	1328	3565	0.993	3540	3470	14.0	13.3
11	1250	3355	1.030	3457		12.0	
12	1268	3403	1.003	3414		14.0	
13	1216	3263	1.017	3317	3306	15.0	17.3
14	1230	3301	1.022	3374		18.0	
15	1205	3233	0.998	3227		19.0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.52: Estabilidad y fluencia para el diseño optimo al 5% filler.

IDENTIFICACIÓN	Estabilidad Marshall					Fluencia (1/100 cm)	
	Lectura Dial	Real (kg)	Factor de corrección	Corregida (kg)	Corregida Media (kg)	Briquetas	Promedio
1	1400	3760	0.946	3556		13.3	
2	1417	3805	0.951	3618		13.0	
3	1395	3746	0.937	3509	3561	13.4	13.2
ESTABILIDAD PERMANENTE, DESPUÉS DE 24 HORAS DE INMERSIÓN A 60°C							
4	1246	3344	0.951	3179		13.5	
5	1254	3366	0.960	3232		13.1	
6	1239	3325	0.953	3169	3193	12.7	13.1

ESTABILIDAD A LOS 30 MINUTOS DE INMERSIÓN EN AGUA 60 °C =	3561	kg	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:
ESTABILIDAD A LAS 24 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA 60 °C =	3193	kg	Mínimo 85 %
ESTABILIDAD REMANENTE CON RESPECTO A LA ESTABILIDAD MARSHALL =	89.7	%	CUMPLE ESPEC. TÉC.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.53: Propiedades volumétricas de la mezcla con 7% filler.

IDENTIFICACIÓN	Altura de briqueta (cm)	% Asfalto		Peso Específico Bulk Mezcla Bituminosa Compactada ASTM D 2726						Peso Específico Máximo Teórico de la Mezcla (g/cm³)	% Vacíos		
		Base mezcla	Base agregado	Peso Briqueta Aire (g)	Peso Briqueta Sumergida (g)	Peso Briqueta S.S. (g)	Volumen (cm³)	Densidad Bulk Briquetas (g/cm³)	Densidad Bulk Promedio (g/cm³)		Mezcla	Agregado Mineral (VAM)	Llenos de asfalto (RBV)
1	6.39	5.0	5.26	1170.97	670.77	1173.98	503.21	2.327	2.331	2.432	4.15	14.16	70.68
2	6.41			1182.32	677.43	1183.99	506.56	2.334					
3	6.35			1174.12	672.47	1175.74	503.27	2.333					
4	6.38	5.5	5.82	1181.80	678.62	1183.66	505.04	2.340	2.339	2.414	3.14	14.34	78.12
5	6.45			1189.50	681.89	1191.31	509.42	2.335					
6	6.52			1178.08	682.70	1185.94	503.24	2.341					
7	6.45	6.0	6.38	1181.65	676.76	1182.82	506.06	2.335	2.338	2.397	2.45	14.82	83.45
8	6.39			1183.93	679.99	1185.73	505.74	2.341					
9	6.43			1183.13	678.17	1184.21	506.04	2.338					
10	6.32	6.5	6.95	1183.38	675.94	1183.61	507.67	2.331	2.329	2.379	2.10	15.58	86.50
11	6.30			1188.66	683.21	1193.36	510.15	2.330					
12	6.25			1181.16	673.64	1181.23	507.59	2.327					
13	6.32	7.0	7.53	1177.63	670.17	1177.77	507.60	2.320	2.321	2.362	1.75	16.34	89.31
14	6.34			1183.13	674.43	1183.52	509.09	2.324					
15	6.29			1179.61	671.16	1179.83	508.67	2.319					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.54: Propiedades volumétricas con el diseño optimo al 7% filler.

IDENTIFICACIÓN	Altura de briqueta (cm)	% Asfalto		Peso Específico Bulk Mezcla Bituminosa Compactada ASTM D 2726						Peso Específico Máximo Teórico de la Mezcla (g/cm³)	% Vacíos		
		Base mezcla	Base agregado	Peso Briqueta Aire (g)	Peso Briqueta Sumergida (g)	Peso Briqueta S.S.S. (g)	Volumen (cm³)	Densidad Bulk Briquetas (g/cm³)	Densidad Bulk Promedio (g/cm³)		Mezcla	Agrega do Mineral (VAM)	Llenos de asfalto (RBV)
1	6.57	5.46	5.78	1186.70	683.10	1190.68	507.58	2.338					
2	6.55			1183.51	680.29	1186.93	506.64	2.336					
3	6.61			1187.45	680.08	1188.19	508.11	2.337	2.337	2.416	3.3	14.4	77.3
ESTABILIDAD PERMANENTE, DESPUÉS DE 24 HORAS DE INMERSIÓN A 60°C													
4	6.55	65.46	5.78	1184.38	681.78	1188.58	506.80	2.337					
5	6.51			1185.99	681.20	1188.91	507.71	2.336					
	6.54			1183.50	683.60	1190.67	507.07	2.334	2.336	2.416	3.3	14.4	77.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.55: Estabilidad y fluencia de la mezcla con 7% filler.

IDENTIFICACIÓN	Estabilidad Marshall					Fluencia (1/100")	
	Lectura Dial	Real (Lb)	Factor de corrección	Corregida (Lb)	Corregida Media (Lb)	Briquetas	Promedio
1	1245	3341	0.990	3309	3214	8.0	8.7
2	1121	3007	0.985	2962		10.0	
3	1256	3371	1.001	3373		8.0	
4	1437	3859	0.993	3832	3760	10.0	9.3
5	1429	3838	0.975	3742		8.0	
6	1441	3870	0.958	3707		10.0	
7	1431	3843	0.975	3747	3564	11.0	11.3
8	1357	3644	0.990	3608		12.0	
9	1269	3406	0.980	3338		11.0	
10	1208	3241	1.009	3269	3285	14.0	14.7
11	1239	3325	1.014	3371		16.0	
12	1166	3128	1.028	3214		14.0	
13	1191	3196	1.009	3223	3240	17.0	17.3
14	1203	3228	1.003	3238		17.0	
15	1195	3206	1.017	3260		18.0	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.56: Estabilidad y fluencia para el diseño optimo al 7% filler.

IDENTIFICACIÓN	Estabilidad Marshall					Fluencia (1/100 cm)	
	Lectura Dial	Real (kg)	Factor de corrección	Corregida (kg)	Corregida Media (kg)	Briquetas	Promedio
1	1500	4029	0.946	3811		16.8	
2	1478	3970	0.951	3774		16.9	
3	1460	3921	0.937	3673	3753	17.1	16.9
ESTABILIDAD PERMANENTE, DESPUES DE 24 HORAS DE INMERSIÓN A 60°C							
4	1372	3684	0.951	3502		17.2	
5	1365	3665	0.960	3519		17.0	
6	1350	3625	0.953	3454	3492	16.8	17.0

ESTABILIDAD A LOS 30 MINUTOS DE INMERSIÓN EN AGUA 60 °C =	3753	kg	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA:
ESTABILIDAD A LAS 24 HORAS DE INMERSIÓN EN AGUA 60 °C =	3492	kg	Mínimo 85 %
ESTABILIDAD REMANENTE CON RESPECTO A LA ESTABILIDAD MARSHALL =	93.0	%	CUMPLE ESPEC. TÉC.

Fuente: Elaboración propia.

Observaciones:

TEMPERATURA DEL ASFALTO PARA EL MEZCLADO: 155 °C

TEMPERATURA DE LA MEZCLA COMPACTADO BRIQUETAS: 135 °C

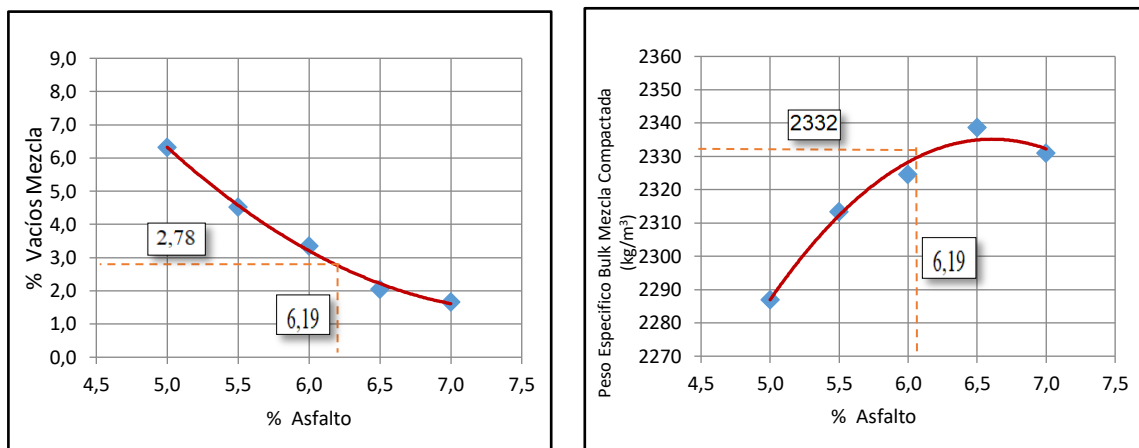
DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA N.º: 1

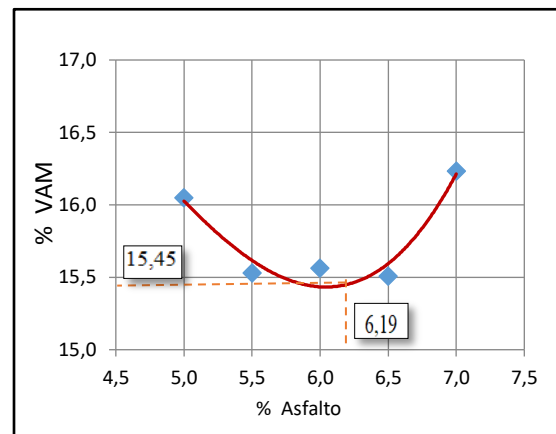
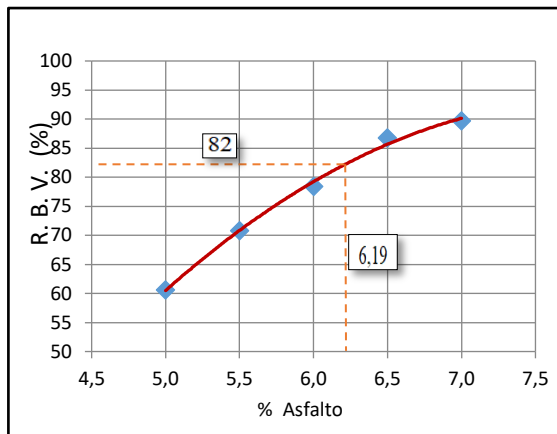
N.º de Golpes de briquetas/Lado: 75

3.7.6. Determinación de porcentaje óptimo de cemento asfáltico

Según los resultados obtenidos de las tablas de propiedades Marshall, se procede a graficar en el eje X, los porcentajes de cemento asfáltico y en el eje Y, los valores de las propiedades Marshall, para cada porcentaje de filler, como se muestra a continuación:

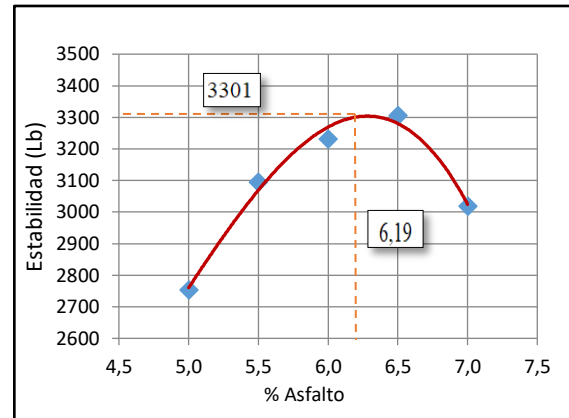
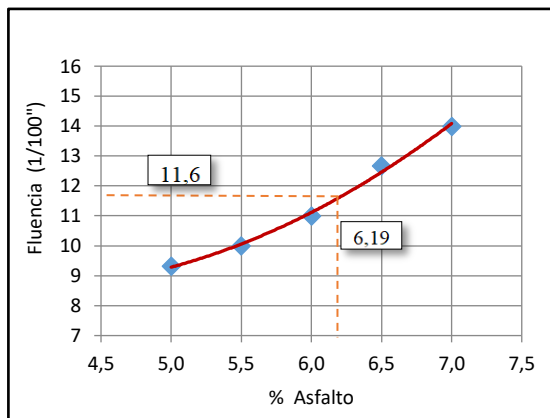
Gráfico 3.9: Curvas de propiedades volumétricas Marshall para 3 % filler.





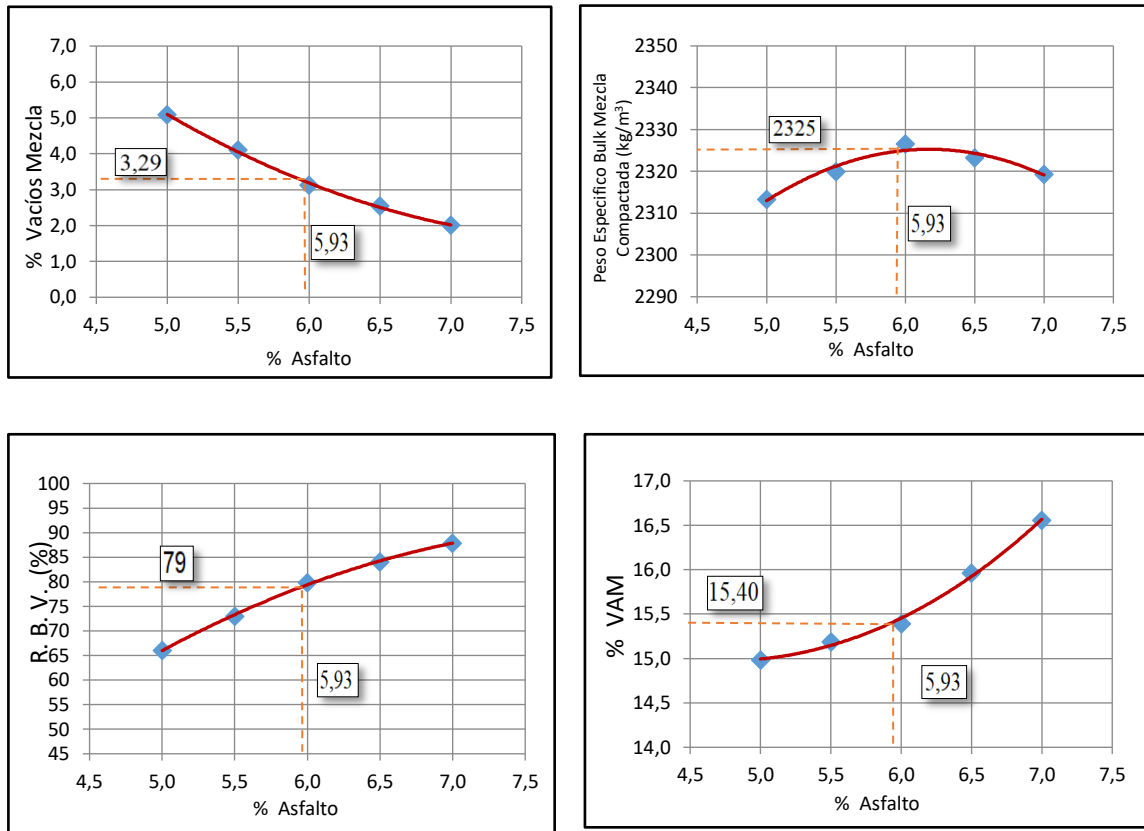
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.10: Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 3 % filler.



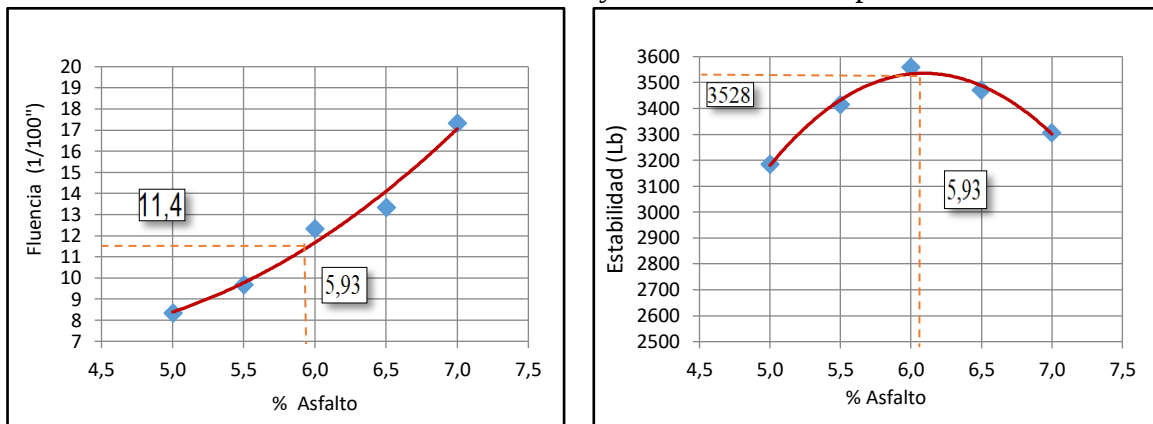
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.11: Curvas de propiedades volumétricas Marshall para 5 % filler.



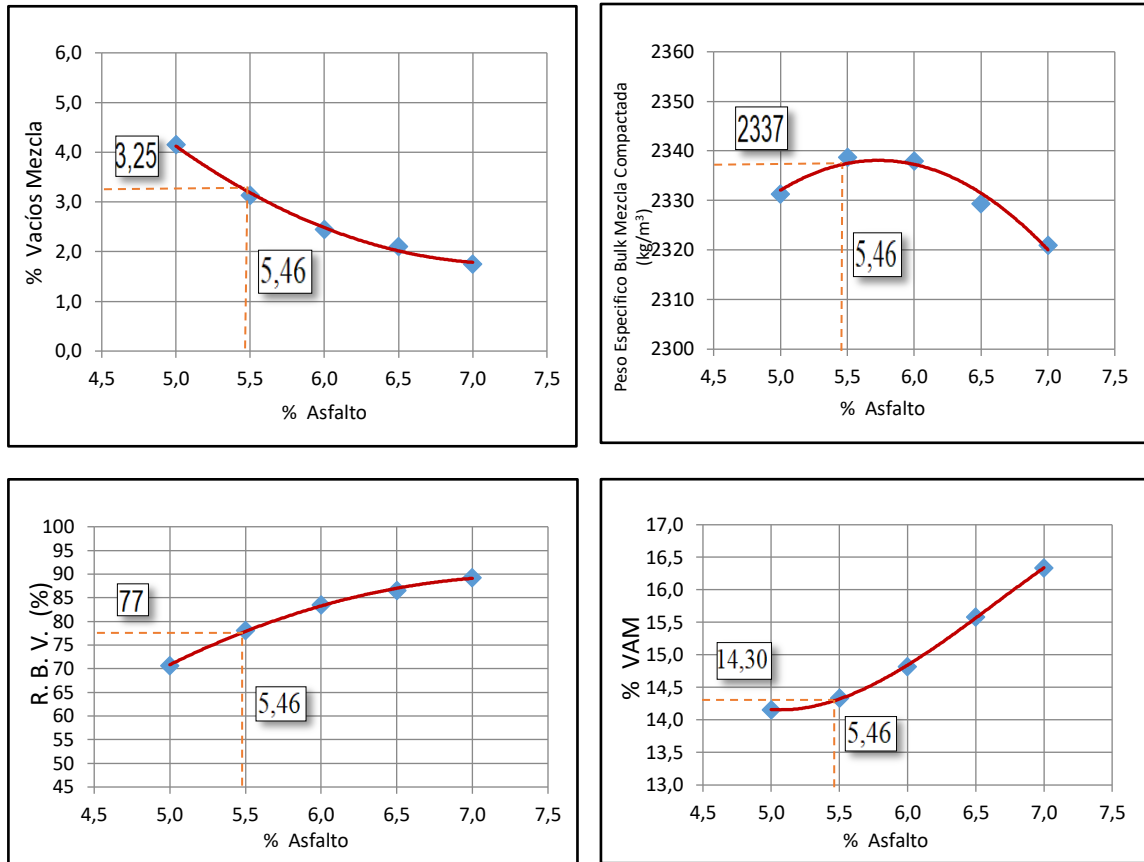
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.12: Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 5 % filler.



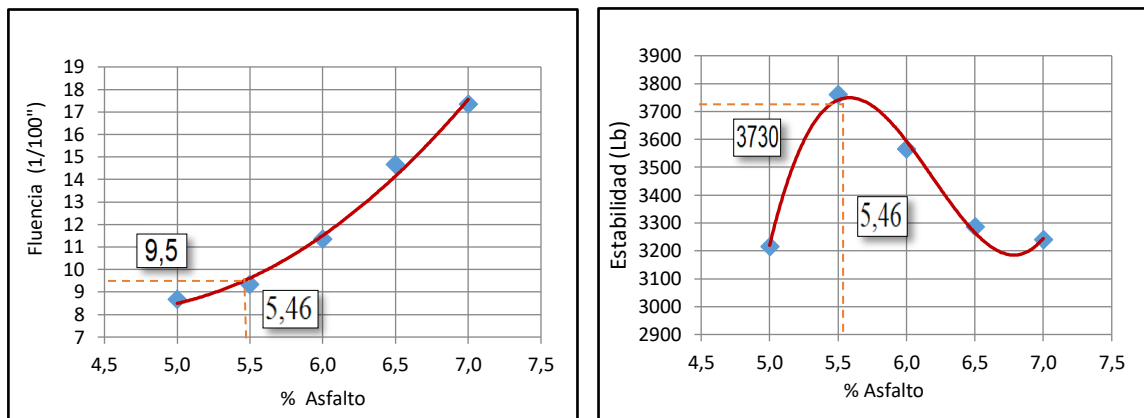
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.13: Curvas de propiedades volumétricas Marshall para 7 % filler.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.14: Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 7 % filler.



Fuente: Elaboración propia.

Se procede a calcular el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para cada variación de filler, cumpliendo los siguientes criterios:

- Porcentaje de cemento asfáltico que genere la densidad máxima.
- Porcentaje de cemento asfáltico que genere la estabilidad máxima.
- Porcentaje de cemento asfáltico que genere el promedio de 3 y 5 % de vacíos de la mezcla. Es decir, el contenido de asfalto que genere el 4% de vacíos de la mezcla.

Con estos tres porcentajes, se obtiene un promedio, dicho promedio es el porcentaje óptimo de cemento asfáltico como se muestra en las siguientes tablas para cada porcentaje de filler.

Tabla 3.57: Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 3 % filler.

<u>PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO</u>	
Determinación del contenido óptimo de asfalto, tomando en cuenta criterio del promedio de los contenidos de asfalto a: % Vacíos en la Mezcla del 4 %, densidad máxima de mezcla compactada, y estabilidad máxima	6.19%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.58: Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall.

<u>PARÁMETROS DEL DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA Y MARSHALL</u>		
Porcentaje de vacíos en la mezcla (%)	2.78	NO CUMPLE ESPEC. TÉC.
Relación Bitumen Vacíos RBV (%)	82	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Estabilidad (75 golpes) Lb	3301	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Fluencia (1/100")	11.6	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Vacíos Agregado Mineral (VAM) %	> 14	CUMPLE ESPEC. TÉC.

Densidad Bulk de Mezcla Compactada (kg/m3)	2332	
--	------	--

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.59: Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 5 % filler.

<u>PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO</u>	
Determinación del contenido óptimo de asfalto, tomando en cuenta criterio del promedio de los contenidos de asfalto a: % Vacíos en la Mezcla del 4 %, densidad máxima de mezcla compactada, y estabilidad máxima	5.93%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.60: Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall.

<u>PARÁMETROS DEL DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA Y MARSHALL</u>		
Porcentaje de vacíos en la mezcla (%)	3.29	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Relación Bitumen Vacíos RBV (%)	79	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Estabilidad (75 golpes) Lb	3528	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Fluencia (1/100")	11.4	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Vacíos Agregado Mineral (VAM) %	> 14	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Densidad Bulk de Mezcla Compactada (kg/m3)	2325	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.61: Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 7 % filler.

<u>PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO</u>	
Determinación del contenido óptimo de asfalto, tomando en cuenta criterio del promedio de los contenidos de asfalto a: % Vacíos en la Mezcla del 4%, densidad máxima de mezcla compactada, y estabilidad máxima	5.46%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.62: Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall.

<u>PARÁMETROS DEL DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA Y MARSHALL</u>		
Porcentaje de vacíos en la mezcla (%)	3.25	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Relación Bitumen Vacíos RBV (%)	77	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Estabilidad (75 golpes) Lb	3730	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Fluencia (1/100")	9.5	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Vacíos Agregado Mineral (VAM) %	> 14	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Densidad Bulk de Mezcla Compactada (kg/m3)	2337	

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, los porcentajes óptimos para cada diseño de mezcla asfáltica son los siguientes:

Tabla 3.63: Resumen porcentaje óptimos de cemento asfáltico para cada mezcla.

Diseño de mezcla según % de filler	% óptimo de cemento asfáltico
3 %	6.19
5 %	5.93
7 %	5.46

Fuente: Elaboración propia

3.8. Datos y resultados de propiedades Marshall convencional

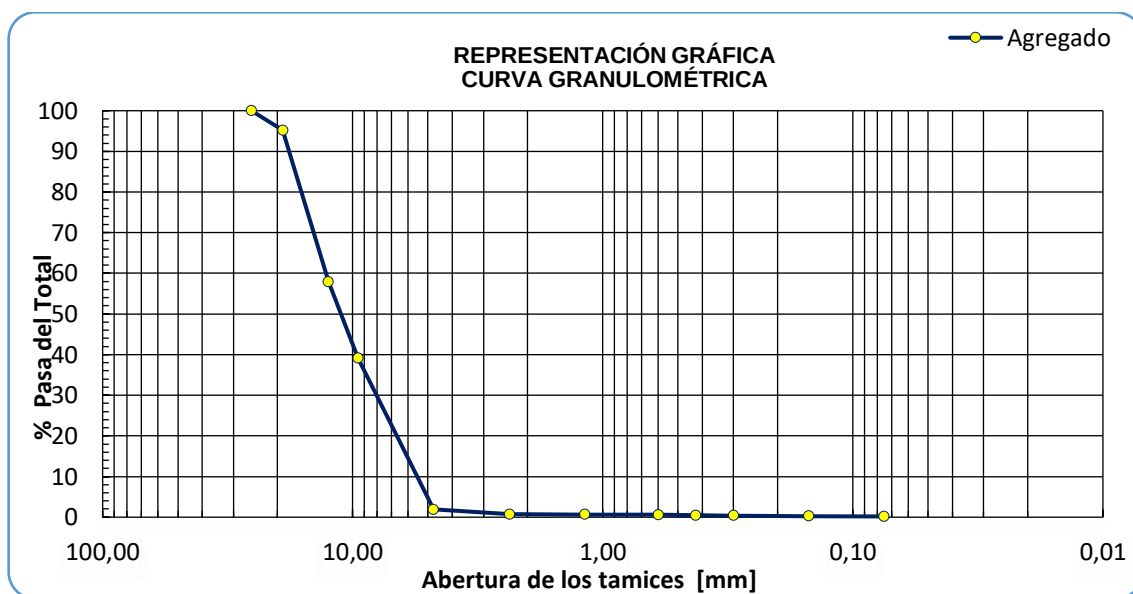
3.8.1. Ensayos de granulometría para realización de Marshall convencional

Tabla 3.64: agregado para carpeta asfáltica en caliente / agregado de 3/4".

Peso Total Seco (g) =		7595			
Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido Acumulado		% Pasa del Total
			(g)	(%)	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	365.00	365.00	4.81	95.19
1/2"	12.50	2831.00	3196.00	42.08	57.92
3/8"	9.53	1425.00	4621.00	60.84	39.16
N.º 4	4.75	2832.00	7453.00	98.13	1.87
N.º 8	2.36	85.00	7538.00	99.25	0.75
N.º 16	1.180	9.00	7547.00	99.37	0.63
N.º 30	0.600	5.00	7552.00	99.43	0.57
N.º 40	0.425	6.00	7558.00	99.51	0.49
N.º 50	0.300	9.00	7567.00	99.63	0.37
N.º 100	0.150	8.00	7575.00	99.74	0.26
N.º 200	0.075	6.00	7581.00	99.82	0.18

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.15: Curva granulométrica de agregado de 3/4".



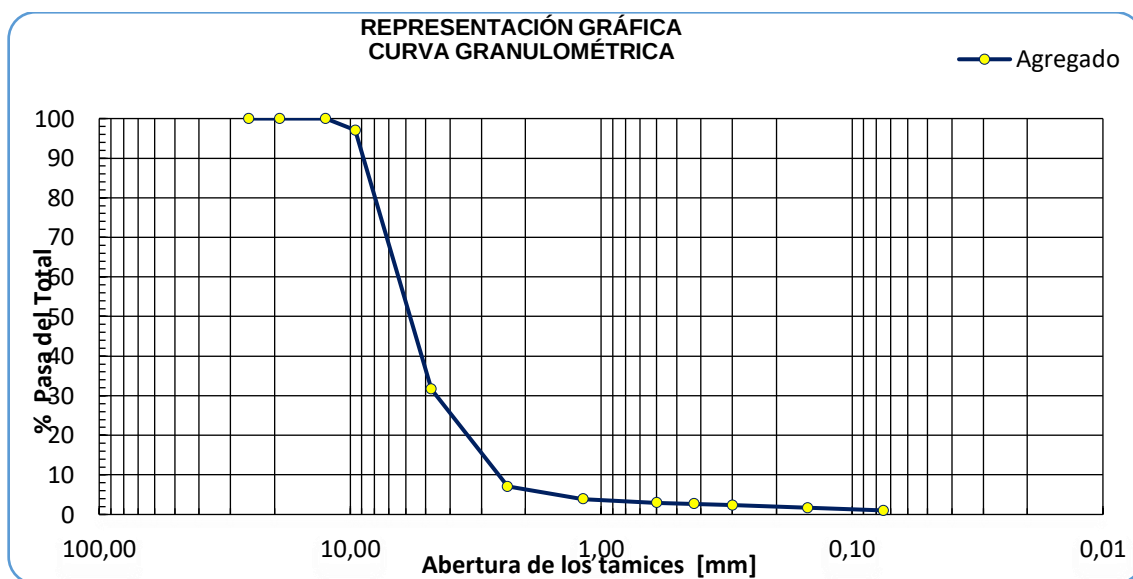
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.65: Agregado para carpeta asfáltica en caliente / agregado de 3/8".

Peso Total Seco (g) =		3595			
Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido Acumulado		% Pasa del Total
			(g)	(%)	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	107.00	107.00	2.98	97.02
N.º 4	4.75	2350.00	2457.00	68.34	31.66
N.º 8	2.36	883.00	3340.00	92.91	7.09
N.º 16	1.180	116.00	3456.00	96.13	3.87
N.º 30	0.600	32.00	3488.00	97.02	2.98
N.º 40	0.425	11.00	3499.00	97.33	2.67
N.º 50	0.300	11.00	3510.00	97.64	2.36
N.º 100	0.150	25.00	3535.00	98.33	1.67
N.º 200	0.075	23.00	3558.00	98.97	1.03

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.16: Curva granulométrica de agregado de 3/8".



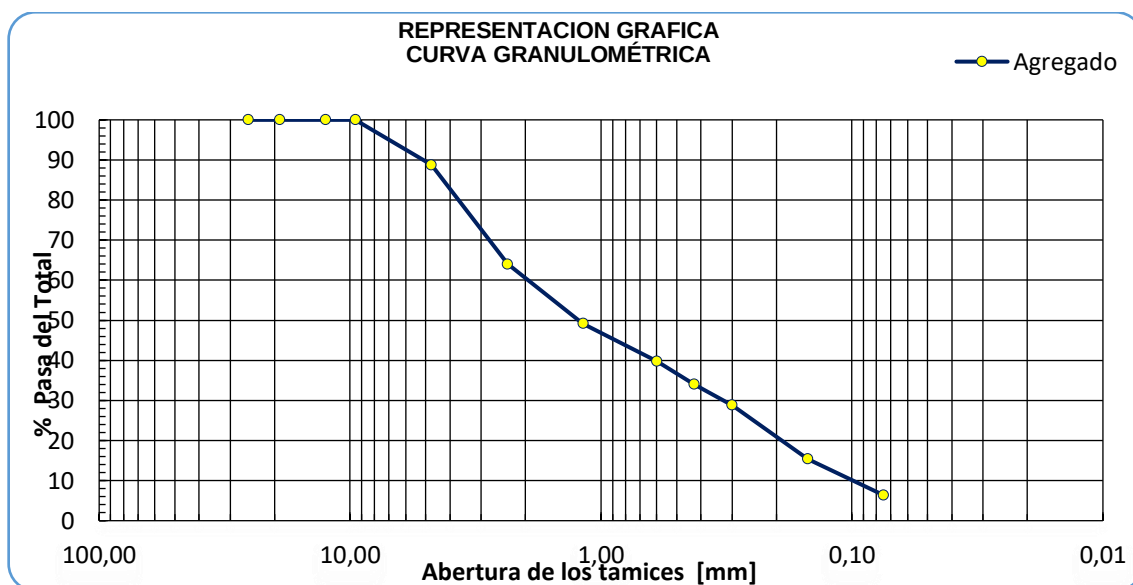
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.66: Agregado para carpeta asfáltica en caliente / arena triturada.

Peso Total Seco (g) =		1046.27			
Tamices	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	Retenido Acumulado		% Pasa del Total
			(g)	(%)	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º 4	4.75	117.46	117.46	11.23	88.77
N.º 8	2.36	259.01	376.47	35.98	64.02
N.º 16	1.180	155.22	531.69	50.82	49.18
N.º 30	0.600	98.14	629.83	60.20	39.80
N.º 40	0.425	60.58	690.41	65.99	34.01
N.º 50	0.300	54.68	745.09	71.21	28.79
N.º 100	0.150	140.00	885.09	84.59	15.41
N.º 200	0.075	94.16	979.25	93.59	6.41

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.17: Curva granulométrica de arena triturada.



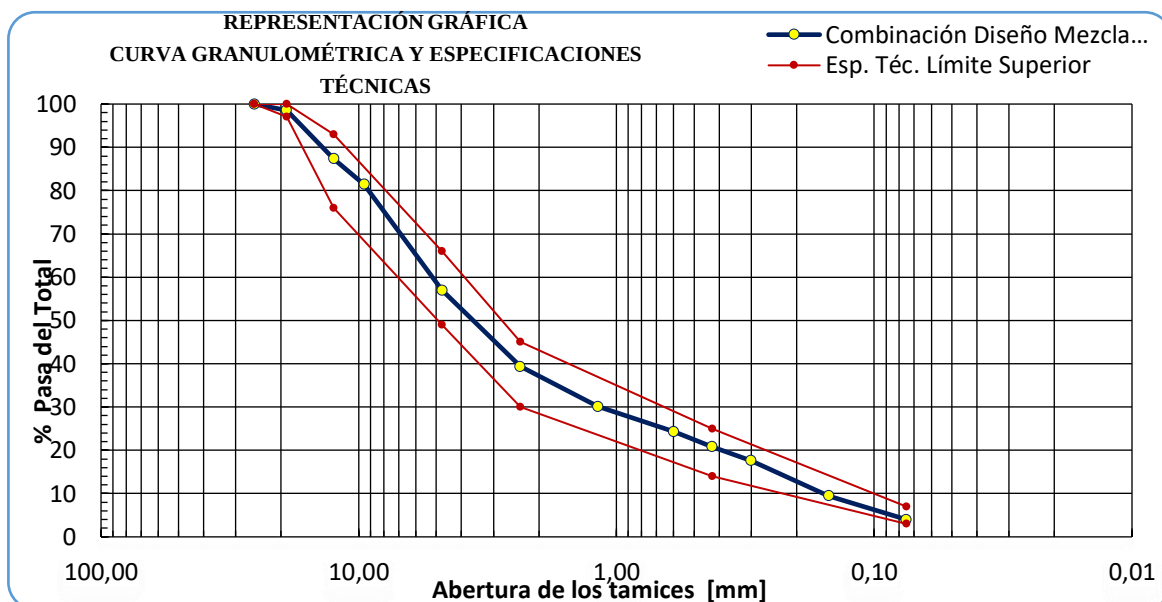
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.67: Análisis granulométrico dosificación de materiales diseño mezcla asfáltica.

Tamices	Abertura (mm)	% Pasa del Total			Dosificación de los agregados				ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LA GRADACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA - Tamaño NOMINAL 3/4"	
		Agregado 3/4"	Agregado 3/8"	Arena Triturada	Agregado 3/4" 30%	Agregado 3/8" 10%	Arena Triturada 60%	% Pasa del Total	Límite Inferior	Límite Superior
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	30.00	10.00	60.00	100.00	100	100
3/4"	19.05	95.19	100.00	100.00	28.56	10.00	60.00	98.56	97	100
1/2"	12.50	57.92	100.00	100.00	17.38	10.00	60.00	87.38	76	93
3/8"	9.53	39.16	97.02	100.00	11.75	9.70	60.00	81.45		
N.º 4	4.75	1.87	31.66	88.77	0.56	3.17	53.26	56.99	49	66
N.º 8	2.36	0.75	7.09	64.02	0.23	0.71	38.41	39.35	30	45
N.º 16	1.180	0.63	3.87	49.18	0.19	0.39	29.51	30.09		
N.º 30	0.600	0.57	2.98	39.80	0.17	0.30	23.88	24.35		
N.º 40	0.425	0.49	2.67	34.01	0.15	0.27	20.41	20.82	14	25
N.º 50	0.300	0.37	2.36	28.79	0.11	0.24	17.27	17.62		
N.º 100	0.150	0.26	1.67	15.41	0.08	0.17	9.24	9.49		
N.º 200	0.075	0.18	1.03	6.41	0.06	0.10	3.84	4.00	3	7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.18: Curva granulométrica de diseño convencional.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.68: Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico convencional.

Agregado 3/4" =	30%	Peso Mezcla=	1200	g
Agregado 3/8" =	10%	Contenido	5	%
		Asfalto =		
Arena Triturada =	60.00%	Peso Asfalto =	60.00	g
		Peso en gr. del	Peso en gr. del	Peso en gr. del
Cortes de Tamices		Agregado 3/4"	Agregado 3/8"	Arena Triturada
1" - 3/4"		16.44	0.00	0.00
3/4" - 1/2"		127.48	0.00	0.00
1/2" - 3/8"		64.17	3.39	0.00
3/8" - N.º 4		127.52	74.52	76.79
N.º 4 - N.º 8		3.83	28.00	169.33
Pasa N.º 8		2.57	8.09	437.88
Agregado 3/4" Pasa N.º 4:		6.39		
Peso agregado =		342.00	114.00	684.00
Peso Total agregado =			1140.00	g
Peso Total Mezcla =			1200.00	g

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Datos y resultados de propiedades Marshall

Tabla 3.69: Propiedades volumétricas de la mezcla convencional.

IDENTIFICACIÓN	Altura de briqueta (cm)	% Asfalto		Peso Específico Bulk Mezcla Bituminosa Compactada ASTM D 2726						Peso Específico Máximo Teórico de la Mezcla (g/cm³)	% Vacíos		
		Base mezcla	Base agregado	Peso Briqueta Aire (g)	Peso Briqueta Sumergida (g)	Peso Briqueta S.S.S. (g)	Volumen (cm³)	Densidad Bulk Briquetas (g/cm³)	Densidad Bulk Promedio (g/cm³)		Mezcla	Agregado Mineral (VAM)	Llenos de asfalto (RBV)
1	6.75	5.0	5.26	1187.87	663.34	1190.81	527.47	2.252	2.250	2.439			
2	6.66			1179.88	658.60	1183.46	524.86	2.248					
3	6.70			1185.02	663.18	1189.86	526.68	2.250			7.7	17.0	54.3
4	6.68	5.5	5.82	1179.28	665.71	1183.39	517.68	2.278	2.279	2.421			
5	6.59			1183.59	665.81	1185.16	519.35	2.279					
6	6.64			1184.87	668.21	1187.66	519.45	2.281			5.8	16.3	64.2
7	6.63	6.0	6.38	1183.48	672.65	1185.87	513.22	2.306	2.303	2.403			
8	6.57			1180.90	670.17	1183.60	513.43	2.300					
9	6.49			1183.81	670.57	1184.82	514.25	2.302			4.2	15.9	73.8
10	6.54	6.5	6.95	1179.48	670.79	1180.28	509.49	2.315	2.310	2.385			
11	6.49			1183.48	672.38	1184.71	512.33	2.310					
12	6.47			1175.35	666.40	1176.09	509.69	2.306			3.1	16.1	80.5
13	6.51	7.0	7.53	1178.09	666.29	1179.62	513.33	2.295	2.298	2.368			
14	6.46			1181.94	668.79	1182.68	513.89	2.300					
15	6.48			1185.02	670.59	1186.26	515.67	2.298			3.0	17.0	82.5

Fuente: Elaboración propia.

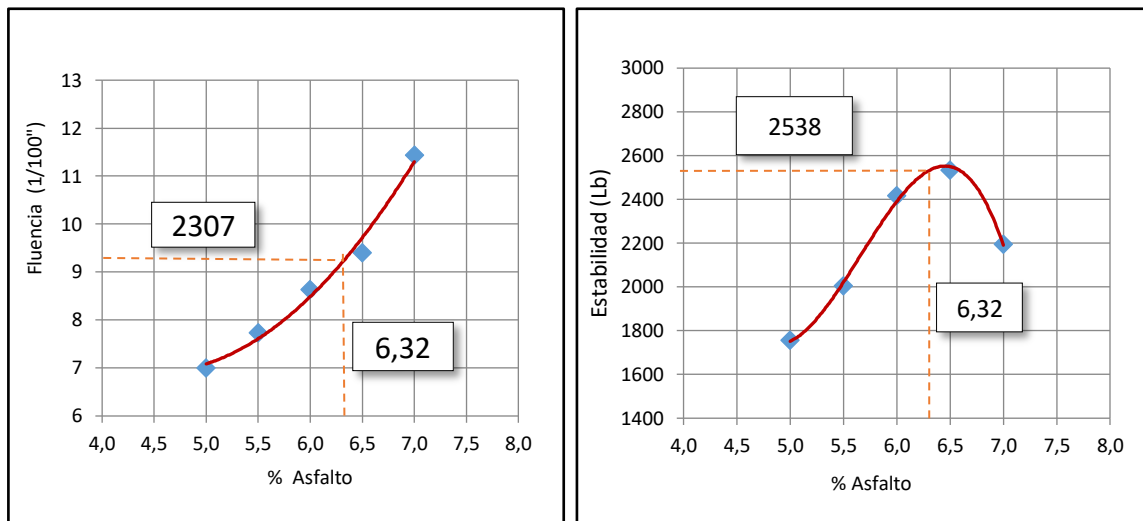
Tabla 3.70: Estabilidad y fluencia de la mezcla convencional.

IDENTIFICACIÓN	Altura de briqueta (cm)	Estabilidad Marshall	Fluencia (1/100")		Corregida (Lb)	Corregida Media (Lb)	Briquetas	Promedio
		Lectura Dial	Real (Lb)	Factor de corrección				
1	6.75	75	1850	0.906	1676		7.2	7.0
2	6.66	80	1974	0.925	1826		6.8	
3	6.70	78	1924	0.917	1764	1755	7.0	
4	6.68	88	2171	0.921	1999		7.7	7.7
5	6.59	81	1998	0.941	1881		7.9	
6	6.64	93	2294	0.930	2133	2004	7.6	
7	6.63	104	2566	0.932	2391		8.4	8.6
8	6.57	105	2590	0.946	2450		9.0	
9	6.49	101	2492	0.965	2405	2415	8.5	
10	6.54	103	2541	0.953	2422		9.6	9.4
11	6.49	112	2763	0.965	2666		9.2	
12	6.47	105	2590	0.970	2513	2534	9.4	
13	6.51	94	2319	0.960	2227		11.0	11.4
14	6.46	92	2270	0.972	2207		11.5	
15	6.48	90	2220	0.968	2148	2194	11.8	

Fuente: Elaboración propia.

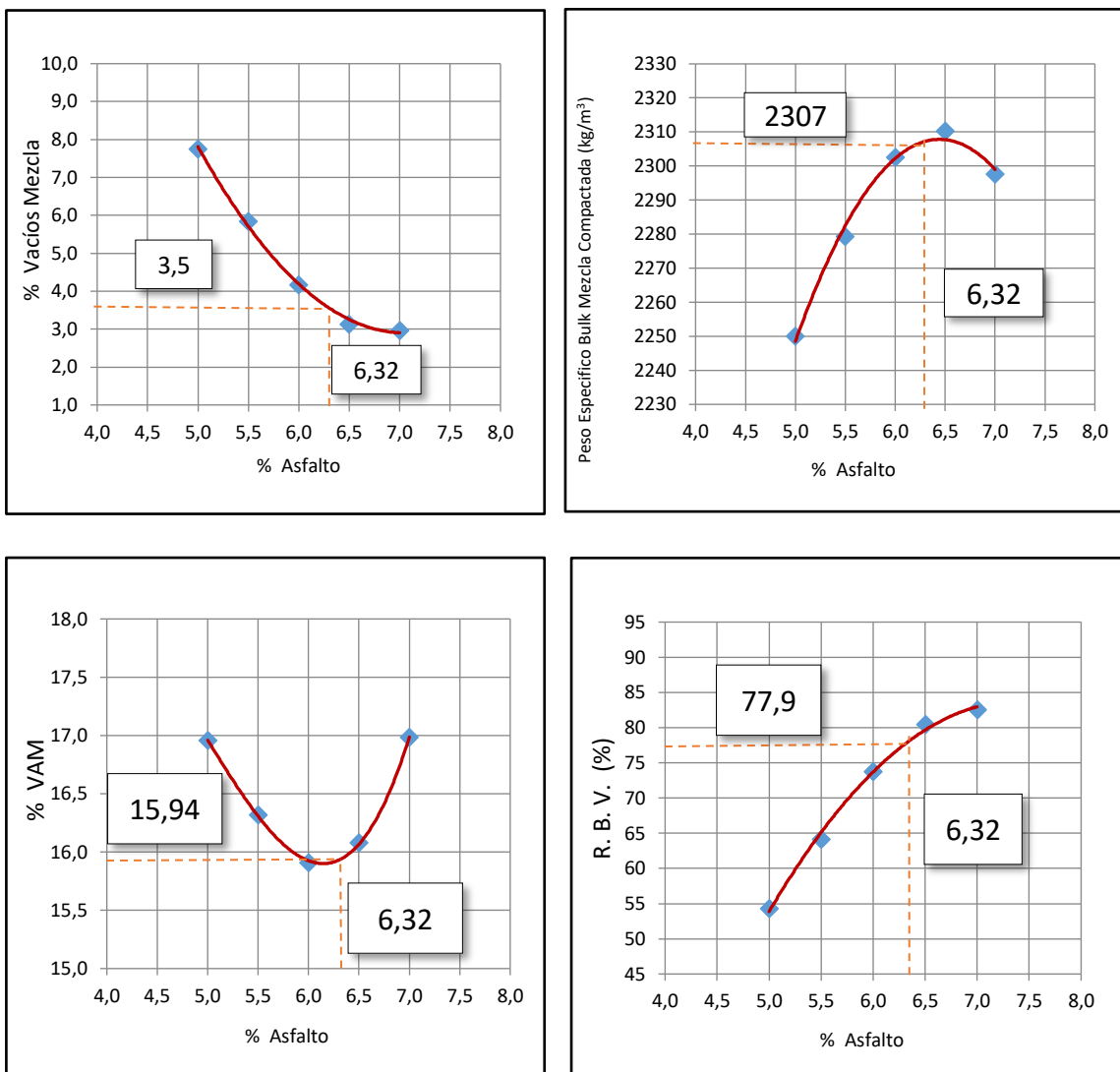
3.8.3. Determinación de porcentaje óptimo de cemento asfáltico

Gráfico 3.19: Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para mezcla convencional.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 3.20: Curvas de propiedades volumétricas Marshall para mezcla convencional.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.71: Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla convencional.

<u>PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO</u>	
Determinación del contenido óptimo de asfalto, tomando en cuenta criterio del promedio de los contenidos de asfalto a: % Vacíos en la Mezcla del 4 %, densidad máxima de mezcla compactada, y estabilidad máxima.	6.32%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.72: Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall.

<u>PARÁMETROS DEL DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA Y MARSHALL</u>		
Porcentaje de vacíos en la mezcla (%)	3.5	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Relación Bitumen Vacíos RBV (%)	77.9	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Estabilidad (75 golpes) Lb	2538	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Fluencia (1/100")	9.2	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Vacíos Agregado Mineral (VAM) %	> 14	CUMPLE ESPEC. TÉC.
Densidad Bulk de Mezcla Compactada (kg/m3)	2307	

Fuente: Elaboración propia.

3.9. Análisis de Precios Unitarios de Concreto Asfáltico Convencional y Modificado

Tabla 3.73: Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla modificada con Poke.

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO PARA CARPETA ASFALTICA MODIFICADA CON POKE									
DATOS GENERALES									
Proyecto :				Proyecto de Grado					
Actividad :				Carpeta Asfaltica					
Cantidad :				1,00					
Unidad :				m3					
Moneda :				Bs					
1. MATERIALES									
DESCRIPCION				UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL		
1	Cemento asfaltico			kg	137,87	8,35	1.151,49		
2	Grava Triturada 3/4" (25%)			m³	0,38	130,00	49,47		
3	Grava Triturada 3/8" (30%)			m³	0,46	130,00	60,15		
4	Arena Triturada (39.8%)			m³	0,59	170,00	100,26		
5	Filler Poke (5.2%)			m³	0,13	15,00	1,90		
6	Diesel			lt	18,00	3,72	66,96		
TOTAL MATERIALES							1.430,22		
2. MANO DE OBRA									
DESCRIPCION				UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL		
1	Capataz			hr	0,80	25,00	20,00		
2	Operador Planta de Asfalto			hr.	0,10	27,50	2,75		
3	Operador Terminadora de Asfalto			hr.	0,09	27,50	2,48		
4	Operador Vibrocompactador Liso			hr.	0,41	27,50	11,28		
5	Operador Compactador Neumatico			hr.	0,41	27,50	11,28		
6	Operador Cargador Frontal			hr.	0,10	22,80	2,28		
7	Chofer			hr.	0,01	16,15	0,16		
8	Ayudante de Maquinaria			hr.	0,09	83,33	7,50		
9	Peon			hr.	0,75	15,62	11,72		
SUBTOTAL MANO DE OBRA						69,43			
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)						60,00%	41,66		
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)						14,94%	16,60		
TOTAL MANO DE OBRA						127,69			
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS									
DESCRIPCION				UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL		
1	Terminadora de asfalto			hr	0,08	400,00	30,00		
2	Cargador frontal de ruedas			hr.	0,10	280,00	28,00		
3	Compactador de rodillo liso autopropulsado			hr.	0,41	304,66	124,91		
4	Compactador de rodillo neumatico autopropulsado			hr.	0,41	332,33	136,26		
5	Escoba mecanica autopropulsada			hr.	0,20	70,60	14,12		
6	Planta concreto asfaltico 50 tn/hr			hr.	0,10	930,00	93,00		
7	Volqueta 12 m3			hr.	0,20	200,00	40,00		
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)						5,00%	6,38		
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS						472,67			
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS									
								COSTO TOTAL	
GASTOS GENERALES = (% DE 1 + 2 + 3)						15,00%	304,59		
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS						304,59			
5. UTILIDAD									
								COSTO TOTAL	
UTILIDAD = (% DE 1 + 2 + 3 + 4)						10,00%	233,52		
TOTAL UTILIDAD						233,52			
6. IMPUESTOS									
								COSTO TOTAL	
IMPUESTOS IT = (% DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5)						3,09%	79,37		
TOTAL IMPUESTOS						79,37			
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)						2.648,06			
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO						2.648,06			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.74: Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla convencional.

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO PARA CARPETA ASFALTICA CONVENCIONAL							
DATOS GENERALES							
Proyecto :		Proyecto de Grado					
Actividad :		Carpeta Asfáltica					
Cantidad :		1,00					
Unidad :		m3					
Moneda :		Bs					
1. MATERIALES							
DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL	
1	Cemento asfaltico		kg	145,34	8,35	1.213,88	
2	Grava Triturada 3/4" (30%)		m³	0,45	130,00	58,67	
3	Grava Triturada 3/8" (10%)		m³	0,15	130,00	19,81	
4	Arena Triturada (60%)		m³	0,88	170,00	149,38	
6	Diesel		lt	18,00	3,72	66,96	
TOTAL MATERIALES						1.508,70	
2. MANO DE OBRA							
DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL	
1	Capataz		hr	0,80	25,00	20,00	
2	Operador Planta de Asfalto		hr.	0,10	27,50	2,75	
3	Operador Terminadora de Asfalto		hr.	0,09	27,50	2,48	
4	Operador Vibrocompactador Liso		hr.	0,41	27,50	11,28	
5	Operador Compactador Neumatico		hr.	0,41	27,50	11,28	
6	Operador Cargador Frontal		hr.	0,10	22,80	2,28	
7	Chofer		hr.	0,01	16,15	0,16	
8	Ayudante de Maquinaria		hr.	0,09	83,33	7,50	
9	Peon		hr.	0,75	15,62	11,72	
SUBTOTAL MANO DE OBRA						69,43	
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA)					60,00%	41,66	
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)					14,94%	16,60	
TOTAL MANO DE OBRA						127,69	
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS							
DESCRIPCION			UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL	
1	Terminadora de asfalto		hr	0,08	400,00	30,00	
2	Cargador frontal de ruedas		hr.	0,10	280,00	28,00	
3	Compactador de rodillo liso autopropulsado		hr.	0,41	304,66	124,91	
4	Compactador de rodillo neumatico autopropulsado		hr.	0,41	332,33	136,26	
5	Escoba mecanica autopropulsada		hr.	0,20	70,60	14,12	
6	Planta concreto asfaltico 50 tn/hr		hr.	0,10	930,00	93,00	
7	Volqueta 12 m3		hr.	0,20	200,00	40,00	
HERRAMIENTAS = (% DEL TOTAL DE MANO DE OBRA)					5,00%	6,38	
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS						472,67	
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS							
						COSTO TOTAL	
GASTOS GENERALES = (% DE 1 + 2 + 3)					15,00%	316,36	
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS						316,36	
5. UTILIDAD							
						COSTO TOTAL	
UTILIDAD = (% DE 1 + 2 + 3 + 4)					10,00%	242,54	
TOTAL UTILIDAD						242,54	
6. IMPUESTOS							
						COSTO TOTAL	
IMPUESTOS IT = (% DE 1 + 2 + 3 + 4 + 5)					3,09%	82,44	
TOTAL IMPUESTOS						82,44	
TOTAL PRECIO UNITARIO (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6)						2.750,40	
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO						2.750,40	

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resumen de resultados de caracterización de los componentes de la mezcla asfáltica

Los resultados obtenidos de la caracterización de los agregados, son comparados con las especificaciones propuestas por la norma ASTM.

Tabla 4.1: Resultados de la caracterización de los agregados pétreos.

Ensayo	Agregados	Especificación		Resultado	ASTM
		Mín.	Máx.		
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos	Grava 3/4"	-	-	2655 kg/m ³	C-127
	Gravilla 3/8"	-	-		
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	Arena	-	-	2737 kg/m ³	C-128
Equivalente de arena	3% de la mezcla	45%	-	70%	D-2419
	5% de la mezcla	45%	-	59%	
	7% de la mezcla	45%	-	51%	
Porcentaje de caras fracturadas	Grava 3/4"	75%	-	93%	D-5821
	Gravilla 3/8"	75%	-	93%	
Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	Grava 3/4"	-	40%	27%	C-131
	Gravilla 3/8"	-	40%	28%	
Determinación de partículas largas y achatadas	Grava 3/4"	-	10%	6.3%	D-4791
	Gravilla 3/8"	-	10%	6.3%	
Índice laminar	Grava 3/4"	-	-	10%	D-854
Peso específico del filler	Poke (ceniza volcánica)	-	-	2.44 gr/cm ³	D-854
Ensayo de determinación de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad	Poke (ceniza volcánica)	25		NP	D-4318

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2: Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico.

Ensayo	Unidades	Especificación		Resultado	Norma
		Mínimo	Máximo		
Peso específico	gr/cm ³	1	1.05	1.01	ASTM D-70
Punto de ablandamiento	°C	43	53	52	ASTM D-95
Punto de ductilidad	cm	100	-	110	ASTM D-113
Penetración	0.1mm	85	100	93	ASTM D-5
Viscosidad Saybolt Furol a 135°C	sFS	85	-	138.7	ASTM D-88
Película delgada	%	-	1%	0.69	ASTM D-1754

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3: Resultados de mezclas asfálticas en caliente adicionando como filler al “Poke” ceniza volcánica.

PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO AL 5%	PARÁMETROS DEL DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA Y MARSHALL AL 5%		
5.93%	Porcentaje de vacíos en la mezcla (%)	3.29	CUMPLE ESPEC. TÉC.
	Relación Bitumen Vacíos RBV (%)	76	CUMPLE ESPEC. TÉC.
	Estabilidad (75 golpes) Lb	3528	CUMPLE ESPEC. TÉC.
	Fluencia (1/100")	13.2	CUMPLE ESPEC. TÉC.
	Vacíos Agregado Mineral (VAM) %	> 14	CUMPLE ESPEC. TÉC.
	Densidad Bulk de Mezcla Compactada (kg/m3)	2325	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4: Resultados de mezclas asfálticas en caliente convencional.

PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO CONVENCIONAL	PARÁMETROS DEL DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA Y MARSHALL CONVENCIONAL		
6.32%	Porcentaje de vacíos en la mezcla (%)	3.5	CUMPLE ESPEC. TÉC.
	Relación Bitumen Vacíos RBV (%)	77.9	CUMPLE ESPEC. TÉC.
	Estabilidad (75 golpes) Lb	2538	CUMPLE ESPEC. TÉC.
	Fluencia (1/100")	9.2	CUMPLE ESPEC. TÉC.
	Vacíos Agregado Mineral (VAM) %	> 14	CUMPLE ESPEC. TÉC.
	Densidad Bulk de Mezcla Compactada (kg/m3)	2307	

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Justificación de la selección del % óptimo

Al hacer una comparación en los resultados obtenidos en el análisis se pone en contexto todas las especificaciones técnicas recomendadas para poder justificar una selección correcta del % óptimo.

Con un diseño del 3%, si bien solamente en el porcentaje de vacíos no cumple con especificaciones técnicas porque se encuentra dentro de rangos establecidos pero una observación específica nos hace dudar de que el diseño al 3% no es el óptimo y esta observación nos lleva a analizar los parámetros de estabilidad y fluencia porque al ser una estabilidad alta pero aceptable la fluencia es muy baja, se considera una mezcla demasiada frágil y rígida para un pavimento en servicio.

Ahora para hacer un análisis al 5% que es justamente el diseño con el cual nos quedamos como óptimo porque no solamente cumple con todos los parámetros en las especificaciones técnicas, sino que los valores de los parámetros se aproximan a la media de cada valor de especificaciones tanto en estabilidad y fluencia.

El análisis que se hace al diseño al 7% si bien cumple con los parámetros de especificaciones técnicas en un parámetro muy importante como lo es la fluencia que tiene un valor considerado bajo con respecto a su estabilidad alta lo cual se considera una mezcla demasiado frágil y rígida para un pavimento en servicio.

4.3. Análisis técnico y económico

En la siguiente tabla se analizará los efectos resultantes del Poke como filler en mezclas asfálticas en caliente comparado con un diseño convencional de mezcla asfáltica:

Tabla 4.5: Análisis técnico y económico

PARÁMETROS	RANGOS SEGÚN ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	DISEÑO CON POKE	DISEÑO CONVENCIONAL
PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO (%)		5.93	6.32
PORCENTAJE DE VACÍOS DE LA MEZCLA	3-5	3.29	3.50
RELACIÓN BITUMEN VACÍOS RBV	75-82	72	77.90
ESTABILIDAD MÍNIMA (75 GOLPES) LB	≥1500	3528	2538
FLUENCIA (1/100")	8 -16	13.2	9.2
% VACÍOS AGREGADO MINERAL VAM	>14	>14	>14
DENSIDAD MÁXIMA BULK DE MEZCLA COMPACTADA	-	2325	2307
PRECIOS UNITARIOS (Bs)		2648.06	2750.40

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N.º 4.5 se realizará una comparación de análisis de diseño, análisis volumétrico, evaluación de resistencia y comparación económica:

Para el análisis de diseño obtuvimos 6.32% de porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de mezcla convencional y 5.93% de porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de mezcla modificada con Poke, dando una diferencia de 0.39% de ahorro de asfalto.

Para el análisis volumétrico se obtuvo una mayor densidad de mezcla asfáltica modificada con Poke, esta densidad es una característica muy importante para el rendimiento duradero de un pavimento terminado.

Los vacíos de las mezclas cumplen especificaciones técnicas, dentro del porcentaje permitido de vacíos toda mezcla solo requiere un pequeño porcentaje, pero valores altos hacen que la mezcla sea más permeable y oxidable debido de la entrada de agua, aire y causar deterioro en la mezcla. Y un bajo contenido de vacíos puede producir exudación de asfalto, esta es una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

Los vacíos de agregado mineral VAM cumplen con especificaciones técnicas, ya que la durabilidad de una mezcla es dependiente de la cantidad de ligante.

Para la evaluación de la resistencia, la estabilidad es un indicador de resistencia mecánica que corresponde a la máxima capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito. La fluencia en el diseño de mezcla es un indicador de deformabilidad contemplando que cada diseño este dentro de los rangos establecidos observamos que en el diseño modificado con Poke entraría en un rango dentro de la media. Análisis de comparación económica entre los dos diseños nos muestra una diferencia no muy relevante en el precio para la producción de 1m³ de carpeta asfáltica ya que utilizamos materiales de la misma cantera para ambos diseños y la única diferencia es la adición del Poke como filler.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Una vez terminada la investigación se tienen las siguientes conclusiones:

- El análisis cumplió con los objetivos planteados, porque se logra realizar una evaluación detallada del comportamiento del Poke (ceniza volcánica) como filler dentro de una mezcla asfáltica en caliente con respecto a un diseño convencional.
- También se logra caracterizar los componentes de la mezcla asfáltica como ser, los agregados pétreos, el cemento asfáltico 85/100.
- Los contenidos óptimos de asfalto determinados para cada porcentaje de filler en estudio son: para el 3% de filler, 6.19 % de asfalto; para 5% de filler, 5.93% de asfalto; para el 7% de filler, 5.46% de asfalto de los cuales se verificó con el armado de nuevas briquetas, de igual manera para el diseño convencional con un 0% de filler, el óptimo de asfalto 6.32% para posteriormente realizar una comparación de datos
- Al obtener briquetas con diferentes porcentajes de filler y cemento asfáltico, se realiza una evaluación y comparación a los resultados obtenidos de las propiedades físico-mecánicas Marshall, de acuerdo a especificaciones de la norma AASHTO, como se observa en la siguiente tabla tanto del diseño convencional y el diseño modificado:

% de filler	Densidad máxima (kg/m ³)	Estabilidad máxima (lb)	Vacíos de la mezcla (%)	Porcentaje óptimo de asfalto (%)
Norma AASHTO	2250	1800	3 – 5	
	mínimo	mínimo		
3	2332	3301	2.78	6.19
5	2325	3528	3.29	5.93
7	2337	3730	3.25	5.46
DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL				
0	2307	2538	3.5	6.32

- Si bien con el diseño convencional se cumple con las especificaciones técnicas de estabilidad, pero con el diseño modificado con el Poke se obtiene estabilidad más alta y genera mayor durabilidad y por lo tanto una mayor vida útil de la carpera asfáltica.

- Finalmente analizando los resultados, se concluye que el Poke (ceniza volcánica), puede ser incluido como una alternativa de filler para futuros diseños en mezclas asfálticas en caliente.

5.2. Recomendaciones

Una vez concluido el trabajo de investigación se tienen las siguientes recomendaciones:

- Se recomienda que, al utilizar al Poke (ceniza volcánica) como filler, tomar muy en cuenta que el material sea extraído de una forma más pura y en el realizar la dosificación de la mezcla con los demás materiales en lo posible evitar pérdidas en su manipulación.
- Cumplir la temperatura de compactado de 135°C para mezclas calientes para evitar el enfriamiento de la mezcla asfáltica que produce desprendimiento de los componentes de la mezcla.
- Compactar en lo posible con el martillo Marshall automático, porque tiene velocidad constante normada, altura de caída estandarizada, mantiene su perpendicularidad, y evita que la mezcla se enfríe rápido, por lo tanto, ahorra tiempo de ejecución.
- Evitar sobrecalentar varias veces el cemento asfáltico debido a que pierde sus propiedades, por lo que se debe calentar el material solo al momento de realizar los ensayos, evitando sobrepasar los 155°C.
- Para la elaboración de la mezcla asfáltica se debe contar con los equipos de protección personal adecuados, debido a que se trabaja a altas temperaturas, como ser guantes de cuero gruesos especiales para manipular temperaturas altas en hornos, barbijo, camisa o guardapolvo con mangas largas, botas, lentes de protección.