

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN AL TEMA

1.1 Introducción.

Las mezclas asfálticas son la combinación de agregados pétreos con un ligante asfáltico y conforman una de las partes estructurales más importantes dentro de los pavimentos flexibles que es la capa de rodadura y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda y segura a sus usuarios. Una de las principales causas para el deterioro de los pavimentos es la deficiencia de la calidad de los materiales utilizados, de aquí la necesidad de utilizar materiales que involucren el mejoramiento del comportamiento de las propiedades de la mezcla asfáltica. El filler en mezclas asfálticas aglomera los distintos elementos del árido proporcionando la cohesión necesaria para aumentar la rigidez del material. Dicho filler (material que pasa por el tamiz N° 200) posee ciertas características fundamentales que influyen en su comportamiento dentro de la mezcla asfáltica como su mineralogía, forma y tamaño de sus partículas. La adición de llenante mineral al asfalto es una de las modificaciones que se hace para mejorar las características de este, debido a comportamientos pocos favorables en los pavimentos, su estado normal provoca en ocasiones fallas en carpetas asfálticas. La mineralogía del filler, como la de todos los agregados, es uno de los factores más importantes en el comportamiento de una mezcla asfáltica, es importante conocer los minerales que componen a la llenante para determinar la influencia que tienen en la rigidez de las mezclas. Al igual que el tamaño y forma de las partículas de filler, aunque por facilidad se ha utilizado el suelo que pasa por el tamiz N° 200, es interesante saber cómo influye el cambio de tamaño y forma de las partículas de filler, separándolas con tamices de diferentes diámetros. Este cambio puede ocasionar pequeñas alteraciones en la rigidez del asfalto que son importantes al momento de ser estudiados.

En el departamento de Tarija existen regiones con diferentes climas, por lo que se realizan pavimentos utilizando mezclas asfálticas convencionales como también modificadas con polímeros con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas a temperaturas altas y bajas, ya que al adicionar estos agentes cumplen con lo establecido para su utilización en carreteras, pero así mismo ocasionan elevados costos. Se han venido implementando cada vez nuevas ideas que permitan aumentar el desarrollo del mejoramiento de los

pavimentos, es por esto que surge el estudio de investigación sobre la adición de la masilla plástica como filler para asfaltos, como una forma de mejorar las propiedades del ligante asfáltico y dar solución a ciertos inconvenientes que actualmente se presentan.

Conscientes de este problema, se sustituyen los materiales naturales, este proyecto incursiona en la búsqueda de una nueva alternativa de llenante mineral o filler de la masilla plástica. El filler es un mineral no arcilloso que pasa el tamiz N°200 y es incorporado a la mezcla con el fin de aumentar la estabilidad y disminuir el porcentaje de asfalto necesario para obtener un determinado porcentaje de vacíos en la mezcla. Una pequeña cantidad de llenante mineral puede reducir el contenido óptimo de asfalto.

Debido a que la llenante mineral es un factor importante que afecta a la durabilidad, deberá ser controlado estrictamente en su cantidad y su calidad. En la presente investigación se pretende analizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales, utilizando como filler de la masilla plástica de tal manera se pueda verificar si existe alguna mejora en las propiedades mecánicas de mezcla asfáltica. Dentro del aporte teórico, el trabajo se enfoca en la teoría respecto al diseño de mezclas asfálticas convencionales de sus características y propiedades mecánicas de acuerdo a normas AASHTO y ASTM.

La aplicación práctica será una posible alternativa dentro del campo de los asfaltos modificados y su viable uso en la construcción de pavimentos; la relevancia social de estar orientada al tema de su factibilidad económica.

1.2 Justificación

Considerando que actualmente que el crecimiento poblacional aumentó, por lo cual crece también la necesidad de comunicación y desarrollo, por tanto, es indispensable que nuestras principales carreteras presenten un nivel bueno de servicialidad y transitabilidad. Los materiales empleados en la construcción de la mezcla asfáltica integran un papel fundamental a la hora de obtener una mezcla ideal, es por eso que surge la necesidad de buscar nuevos materiales alternativos que mejoren el comportamiento mecánico en la mezcla, mitiguen el daño ambiental que se produce con la explotación y obtención de agregados pétreos, procurando una reducción de costos en la elaboración y mejor desempeño de nuestros pavimentos flexibles.

Este trabajo de investigación adquirió importancia y su realización se justifica en el hallazgo de nuevos materiales que pueden optimizar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas convencionales mejorando de esta manera la vida útil o de funcionalidad de las infraestructuras viales construidas con este tipo de mezclas. La adición de un diferente tipo de filler a las mezclas asfálticas convencionales es una alternativa para mejorar el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas, para que así estas tengan un periodo de funcionalidad más prolongado disminuyendo los costos de mantenimiento. Es así como se propone la utilización de la masilla plástica como material componente de las mezclas asfálticas, usando como filler. Está plenamente comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adherencia en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito.

Sin embargo, el creciente incremento de volumen de tránsito, la magnitud de las cargas y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que, en algunos casos las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes, por ejemplo, con los asfaltos convencionales no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado, especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Es necesario conocer los parámetros que caracterizan a la mezcla asfáltica y definir sus límites de fallo, tanto por fatiga, como por fisuración térmica o deformación plástica para conocer el deterioro que se produce en una estructura de pavimento cuando está sometido al paso de cargas y a los agentes climáticos, por tanto, es importante saber que ensayo debe utilizarse para caracterizar la mezcla y que análisis se debe realizar a partir de los datos obtenidos. Son tantas variables que intervienen y que hay que controlar, tanto en el proceso de diseño de mezclas como en el proceso de construcción de una carpeta asfáltica que es obligación de los investigadores proporcionar herramientas de fácil manejo para el ingeniero y el constructor, que permitan verificar sobre la marcha, la correcta ejecución de los trabajos de fabricación de mezclas asfálticas y sobre todo de construcción de pavimentos, que garantice en todo momento el cumplimiento de las especificaciones bolivianas vigentes.

Como aporte social de la investigación trataremos de demostrar la influencia que tiene la masilla plástica mediante una experimentación práctica en laboratorio que arroje como

resultados las características de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica como la estabilidad y la fluencia, estableciendo su dosificación óptima para diseño generando otra alternativa para aumentar la calidad de servicio de las carreteras.

1.3 Diseño teórico

1.3.1 Planteamiento al problema

1.3.1.1 Situación problemática

El comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica, se refiere a aquellas propiedades que se manifiestan cuando aplicamos una carga (carga de servicio) y nos define la calidad, resistencia y durabilidad de una mezcla asfáltica. Su comportamiento depende de varios factores como son los materiales que la componen, la sollicitación de carga de tránsito aplicada, el tiempo donde esta actúa y la temperatura del ambiente en que se encuentra.

Hoy en día se adicionan agentes modificadores para la mezcla asfáltica con el objeto de mejorar su comportamiento mecánico a diferentes temperaturas de servicio, ya que al adicionar estos agentes cumplen con lo requerido para su utilización en carreteras, pero así mismo ocasionan elevados costos.

Con la presente investigación usando la masilla plástica como filler, se pretende detectar posibles variaciones favorables en el comportamiento mecánico de las propiedades de las mezclas asfálticas, para así mitigar los problemas que tienen las mezclas asfálticas convencionales, mejorando sus propiedades como su durabilidad, resistencia a deformaciones, al deterioro por las cargas de tránsito y así obtener un producto final más duradero y seguro.

1.3.1.2 Planteamiento al problema

¿Cuál es el efecto que tiene la incorporación de filler de la masilla plástica en la propiedad de estabilidad Marshall y fluencia en una mezcla asfáltica convencional?

1.3.2 Objetivos

1.3.2.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento de una mezcla asfáltica caliente convencional con agregados triturados, mediante la metodología Marshall con la adición de masilla plástica como filler, para mejorar las propiedades mecánicas estabilidad y fluencia.

1.3.2.2 Objetivos específicos

- Recopilar la bibliografía necesaria e información científica sobre mezclas asfálticas incorporando filler como relleno mineral.
- Caracterizar los agregados y el cemento asfáltico con las normativas ASTM, AASTHHO 93 e Instituto del Asfalto utilizando sus rangos especificados para poder elaborar la mezcla asfáltica.
- Caracterizar la masilla plástica como filler en mezclas asfálticas con las normativas ASTM, AASTHHO 93 e Instituto del Asfalto para mejorar las propiedades asfálticas.
- Realizar la combinación a distintos porcentajes de contenido de filler entre los rangos (5%-0%), (4%-1%), (3%-2%), (2%-3%), (1%-4%) y (0%-5%) con la metodología Marshall para encontrar el contenido óptimo de filler natural en combinación con el filler de masilla plástica.
- Analizar los resultados obtenidos desde el contenido óptimo y el comportamiento de sus propiedades de las distintas dosificaciones.
- Comparar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional con el filler de masilla plástica identificando que porcentaje es más óptimo.
- Analizar el costo de la mezcla asfáltica con filler natural y la mezcla asfáltica con filler de masilla plástica identificando su porcentaje diferencial.

1.3.3 Hipótesis

La incorporación de masilla plástica como filler en una mezcla asfáltica caliente con agregados triturados contribuirá a mejorar significativamente sus propiedades de estabilidad y fluencia, optimizando así su rendimiento y durabilidad.

1.3.4 Definición de variables independientes y dependientes.

Figura 1.1 Definición de variables



Fuente: Elaboración propia

1.3.4.1 Variables independientes

- **% de filler de masilla plástica:** Filler de la masilla plástica que pasa por el tamiz N°200.

1.3.4.2 Variables dependientes

- Propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica convencional (estabilidad Marshall y fluencia).

Estabilidad: (Marshall) de una probeta, es la carga máxima en kg que soporta una probeta, cuando se la ensaya a una temperatura dada, cargándola en sentido diametral a una cierta velocidad. La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo cargas de tránsito.

Fluencia: (Marshall), 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, en el momento de producirse la falla. Es una de las características deseables en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las sub-rasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden por (expansión del suelo).

1.4 Conceptualización y operacionalización de las variables

1.4.1 Variable dependiente

Tabla N° 1.1 Variables dependientes

Variable dependiente	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas modificando el filler.	Comportamiento mecánico	Estabilidad	Carga máxima que soporta la mezcla asfáltica en (kg)
		Fluencia	Deformación (mm)

Fuente: Elaboración propia.

1.4.2 Variable independiente

Tabla N° 1.2 Variables independientes

Variable independiente	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Filler de la masilla plástica.	Caracterización en laboratorio.	Se hace variar los tipos y porcentajes de filler.	Realizando la dosificación en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

1.5 Diseño metodológico

1.5.1 Unidad de estudio y decisión muestral

1.5.1.1 Unidad de estudio

Comportamiento mecánico de las propiedades de mezclas asfálticas a causa y efecto cuando se usa la masilla plástica como filler.

- Estabilidad.
- Fluencia.

1.5.1.2 Unidad de observación (UO)

En este trabajo la unidad de estudio se centrará en el efecto que tendrá el filler de la masilla plástica, en una mezcla asfáltica, de esta manera saber cómo influirá en sus propiedades mecánicas

1.5.1.3 Población

Mezclas asfálticas modificadas con filler de la masilla plástica (porcentajes de masilla plástica (1%, 2%, 3%, 4% y 5%).

1.5.1.4 Muestra

Muestra estratificada por fijación proporcional

Tabla N° 1.3 Nivel de confianza

Nivel de confianza %	valor del nivel de confianza
50	0,574
80	1,28
85	1,44
90	1,64
95	1,96
99	2,68

Fuente: Elaboración de propia

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot p_i \cdot q_i}{(N \cdot D) + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n N_i \cdot p_i \cdot q_i \right)}$$

Donde:

Ni= Población inicial.

N= Muestra.

P= Probabilidad de que ocurra = 50%= 0,5

Qi= Probabilidad de que no ocurra 50%= 0,5

E= Error 5%= 0,05.

Z= Valor de significancia 1,96

NC= Nivel de confianza 95%.

Tabla N° 1.4 Muestra estratificada por afijación proporcional

Ensayos	Cantidad (Ni)	pi	qi	pi*qi	Ni*Pi** qi	Wi	ni	Valor adop.
Granulometría de áridos	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0	2,97	3
Desgaste mediante la máquina de los ángeles.	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0	0,99	1
Peso específico y absorción de agua en agregados	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0	2,97	3
Peso específico y absorción de agua en agregados finos	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0	2,97	3
Peso unitario	6	0,5	0,5	0,25	1,5	0	2,97	3
Equivalente de arena	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0	0,99	1
Porcentaje de cara fracturadas	2	0,5	0,5	0,25	0,5	0	0,99	1
Caracterización del Cemento Asfáltico								
Penetración	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0	1,48	2
Peso específico	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0	1,48	2
Punto de ablandamiento	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0	1,48	2
Punto de inflamación	3	0,5	0,5	0,25	0,75	0	1,48	2
Propiedades Mecánicas								
Estabilidad	68	0,5	0,5	0,25	17	0,2	33,7	34
Fluencia	68	0,5	0,5	0,25	17	0,2	33,7	34
% de vacíos de aire	68	0,5	0,5	0,25	17	0,2	33,7	34
TOTALES	246				62	1		125

Fuente: Elaboración de propia

Total número de ensayos a realizar en todo el estudio 125 ensayos, el valor del número de briquetas total puede variar lo que se verá en el desarrollo de la investigación

1.5.2 Técnicas de muestreo

1.5.2.1 Selección de las técnicas de muestreo

Se realizará el análisis de las propiedades mecánicas mediante el ensayo de laboratorio Marshall observando los cambios producidos cuando agregamos el nuevo filler de la masilla plástica adicionadas en varios porcentajes en una mezcla asfáltica convencional.

Se realizará un muestreo estratificado, aplicando la formula

$$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

N= Población.

p= Probabilidad= 50%= 0,5

q= 100-p= 50%= 0,5

e= error.

n= muestra.

NC= Nivel de confianza.

Z= Valor de confianza.

1.6 Procedimiento para el análisis y resultados

1.6.1 Tratamiento estadístico

1.6.1.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva es la técnica matemática que obtiene; organiza, presenta y describe un conjunto de datos con el propósito de facilitar su uso generalmente con el apoyo de tablas, medidas numéricas o gráficas (polígonos de frecuencia). Además, calcula parámetros estadísticos como las medidas de centralización como son la moda, mediana, media y de dispersión como el rango, la desviación estándar o típica, y la varianza que describen el conjunto estudiado.

Todos estos factores de medidas tanto las medidas de tendencia central como las de dispersión será afectadas a cada una de las variables en estudio para recién poder realizar un análisis del comportamiento de los resultados.

1.6.1.2 Estadística inferencial seleccionada para comprobar la hipótesis formulada.

Rama de la estadística que estudia el comportamiento y propiedades de las muestras y la posibilidad, y límites de la generalización de los resultados obtenidos a partir de aquellas a las poblaciones que representan. Esta generalización de tipo inductivo, se basa en la probabilidad. Tiene como objetivo generalizar las propiedades de la población bajo en estudio, basado en los resultados de una muestra representativa de la población. Es de gran utilidad para poder comprobar nuestra hipótesis planteada, a través de pruebas planteadas como son la regresión lineal, análisis de varianza, covarianza y correlaciones. En el caso de que no fuera de tendencia lineal los datos se pensarían en la correlación de Spearman y el Chi cuadrado.

1.7 Resultados esperados con el procedimiento de la perspectiva

Tabla N° 1.5 Productos esperados

N°	Actividad	Productos esperados
1	Diseño del marco teórico y metodológico.	Establecer la teoría y metodología de acuerdo al estudio concluido.
2	Ensayo de los agregados.	Cumplir con lo establecido en la Norma AASHTO, ASTM.
3	Ensayo de los Ligante.	Cumplir con lo establecido en la Norma AASHTO, ASTM.
4	Diseño de mezclas a asfálticas.	Diseño de mezcla con filler natural y con filler adicional de la masilla plástica.
5	Comportamiento mecánico	Observar cambios producidos en densidad % de vacíos de la mezcla asfáltica %VAM, %RBV. Estabilidad y fluencia mediante el ensayo de laboratorio Marshall.
6	Tratamiento estadístico.	Garantizar el nivel de confianza a nuestros resultados.
7	Análisis y Resultados.	Validar nuestra hipótesis planteada.
8	Conclusiones.	Indicar si se cumplen con los objetivos planteados una vez concluido el estudio.

Fuente: Elaboración propia

1.7.1 Resultados esperados

Dado el caso que las propiedades de la mezcla asfáltica resulten optimizadas por la adición del nuevo filler, esta investigación podría dar pie para que se hagan otro tipo de evaluaciones a esta mezcla asfáltica modificada; para que surja la posibilidad de que se generalice su producción y uso dentro de la infraestructura vial en el departamento de Tarija.

1.8 Alcance de la investigación

Se trata de una investigación descriptiva cuasi experimental correlacional, donde se realizarán ensayos de laboratorio para analizar las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas. Se emplearán diferentes porcentajes de masilla plástica para evaluar su efecto en características como la resistencia a la compresión, la estabilidad y la fluencia. Además, se llevará a cabo un análisis comparativo con mezclas asfáltica convencional con filler natural polvo de roca.

El alcance de esta investigación es significativo, ya que busca contribuir al desarrollo de mezclas asfálticas más sostenibles y eficientes, promoviendo el uso de materiales innovadores (masilla plástica) en la construcción de infraestructuras viales. Los resultados obtenidos permitirán establecer pautas para mejorar la calidad de las pavimentaciones. La presente investigación considera el estudio de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica convencional con agregados triturados con cemento asfáltico (85-100) creando una mezcla asfáltica utilizando la masilla plástica como filler (relleno natural polvo de roca natural).

La investigación contempla realizar una comparación de una mezcla convencional de una mezcla modificada con el filler en diferentes porcentajes de masilla, porcentajes de (1%,2%,3%,4%y 5%) hasta encontrar el porcentaje óptimo, de igual manera la selección de materiales que componen la mezcla verificar que cumplan con ciertas exigencias establecidas en la norma, para así poder elaborar briquetas y diseñar mediante el método Marshall su dosificación optima, obteniendo su propiedades mecánicas para analizarlas y dar validez a los resultados mediante un tratamiento estadístico.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES Y DEFINICIONES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1 Mezcla asfáltica convencional

2.1.1 Definición

Las mezclas asfálticas son sistemas cohesivos compuesto por tres fases: una sólida (agregados filler, etc.), un líquido de elevada viscosidad (asfalto) y por último una gaseosa (aire). Las proporciones relativas en que se combinan estos, determinan las características físicas mecánicas de las mezclas y el comportamiento posterior como pavimento terminado. La mezcla asfáltica tiene que ser duradera, es decir, debe ser resistente a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, elevadas temperaturas, etc. Debe ser resistente a las sollicitaciones de tránsito a través de su estabilidad. Una mezcla debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.

2.2 Materiales utilizados para mezclas asfálticas en caliente

2.2.1 Asfalto

El asfalto realiza la función de ligante en la mezcla asfáltica, este puede ser de origen natural o modificado y su función es aglutinar las partículas de agregados. Son considerados como los ideales en la pavimentación debido a sus propiedades físicas como la durabilidad, flexibilidad y alta resistencia con los ácidos, sales y alcoholes. Existe una serie de asfaltos clasificados de acuerdo a su aplicación, entre los que se encuentran los modificados, los cuales se alteran con el fin de obtener mayor durabilidad y elasticidad en las mezclas. Un ejemplo de asfalto modificado son los masticos o mastics bituminosos.

2.2.1.1 Propiedades físicas del asfalto

El asfalto es un líquido viscoso constituido esencialmente por hidrocarburos o sus derivados, a continuación, enlistamos algunas de sus características: Para los estudios técnicos y la construcción se consideran deseables las siguientes propiedades o características del asfalto.

- **Consistencia:**

Se refiere a la dureza del material, la cual depende de la temperatura. A altas temperaturas se considera el concepto de viscosidad para definirla. Si el cemento asfáltico se expone al

aire en películas delgadas, y se somete a un calentamiento prolongado, como por ejemplo durante el mezclado con el agregado, el asfalto tiende a endurecerse, a aumentar de consistencia. El aumento de esta característica es limitado, por lo tanto, un control no adecuado de la temperatura y del mezclado puede provocar mayor daño al cemento asfáltico por endurecimiento que por muchos años de servicio en el camino terminado. Comúnmente, para especificar y medir la consistencia de un asfalto para pavimento, se usan ensayos de viscosidad o ensayos de penetración.

- **Durabilidad:**

Es la capacidad para mantener sus propiedades con el paso del tiempo y la acción de agentes envejecedores. Es juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

- **Susceptibilidad Térmica:**

Es el cambio que experimenta el asfalto en sus propiedades por efecto de la temperatura. El asfalto es un material termoplástico, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica es conocida como susceptibilidad a la temperatura. La susceptibilidad térmica varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aun si estos tienen el mismo grado de consistencia. Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que estas se desplacen unas con respecto de otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal para mantener unidas las partículas del agregado.

- **Pureza:**

El cemento asfáltico se compone, casi enteramente, de betunes, los cuales, por definición son solubles en bisulfuro de carbono. Los asfaltos refinados son, generalmente, más de 99.5 % solubles en bisulfuro de carbono y por lo tanto casi betunes puros. Las impurezas, si las hay, son inertes. Normalmente, el cemento asfáltico, cuando deja la refinería, está libre de agua o humedad, pero puede haber humedad en los tanques de transporte. Si hay

agua inadvertida, puede causar un asfalto espumoso cuando se calienta por encima de los 100°C.

- **Seguridad**

Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación. Si se somete el cemento asfáltico a temperaturas suficientemente elevadas, despiden vapores que arden en presencia de una chispa o una llama. La temperatura a la que esto ocurre es más elevada que la temperatura que normalmente es usada en las operaciones de pavimentación. Sin embargo, para fines de transporte y almacenamiento, se suele diluir el asfalto a temperaturas en las que adquiere la suficiente fluidez para bombearlo; este proceso puede generar vapores volátiles altamente riesgosos, por eso es necesario tener la certeza de que existe un adecuado margen de seguridad. Por este motivo se hace indispensable conocer el punto de inflamación del asfalto.

2.2.2 Agregados

Los agregados en mezclas asfálticas, tanto en su calidad y gradación constituyen un valor importante en las propiedades de estas. Se debe elegir cuidadosamente el tipo de agregado, ya que sus propiedades varían según el lugar de producción.

Es muy importante el manipuleo de los agregados, ya que cuando el acopio de los materiales es malo puede llegar a producirse segregación, separación de materiales, entonces se debe tomar precauciones para evitar este comportamiento. La calidad y gradación del agregado que se obtienen en ensayos de laboratorio nos indican los niveles recomendables de su uso. Así, la selección apropiada del agregado depende esencialmente del propósito de su aplicación.

2.2.2.1 Propiedades de los agregados

El agregado, también conocido como roca, material granular o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte (incapaz de reacción), usado en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. Los áridos constituyen un porcentaje, en general superior al noventa por ciento la mayoría de los casos. Obviamente, la naturaleza y calidad del agregado son importantes. En la capa superior de un pavimento asfáltico, donde las cargas de las ruedas son concentradas y las tensiones elevadas, se requiere agregados de alta calidad para lograr

una mezcla fuerte y de buen comportamiento. Por lo tanto, los agregados minerales son los principales responsables de la capacidad de carga del pavimento. Además, el agregado influye notablemente en el comportamiento del pavimento, especialmente si tomamos en cuenta que en una mezcla con agregado densamente graduado éste conforma entre el 90 y 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. La calidad final de los áridos y por tanto su aptitud dependen de la naturaleza petrológica de los mismos, pero también en gran medida de su proceso de preparación. Aunque en fase de proyecto se suelen evaluar las posibles procedencias de áridos, la procedencia definitiva se establece en la fase de construcción. En los áridos gruesos por su principio de funcionamiento (rozamiento interno), las mezclas asfálticas requieren de áridos resistentes y estables, es decir: bajos valores de desgaste de los Ángeles, alta resistencia al pulimento, buena forma (limitación en lascas y agujas) y un alto porcentaje de caras fracturadas.

En los áridos finos la calidad de la fracción fina es muy importante, debido a que por su determinante contenido en la mezcla, sus características son muy críticas en la cohesión del conjunto. Es importante considerar que entre los criterios que definen el uso de un agregado sobre otro está la disponibilidad y el costo; más aún, es necesario considerar otros criterios esenciales para la elaboración de una buena mezcla, como:

- Graduación y tamaño máximo de la partícula
- Limpieza
- Dureza
- Forma de la partícula
- Textura de la superficie
- Capacidad de absorción
- Afinidad con el asfalto
- Peso específico

La importancia técnica y económica de los áridos en la construcción de carreteras es de tal magnitud que el resultado final de la obra estará fuertemente condicionada por la selección de los áridos. En todo proyecto para la construcción de una carretera los volúmenes elevados de agregados condicionan económicamente su selección, limitándose necesariamente las distancias de transporte.

2.2.3 Agregados utilizados en mezclas asfálticas

2.2.3.1 Agregado grueso

Los agregados gruesos son partículas grandes, mayores aproximadamente a 2,5mm, (0,1plg). Normalmente son obtenidos de gravas naturales de lechos de ríos, rocas trituradas o de gravas trituradas y zarandeadas

2.2.3.2 Piedra triturada

El material bruto para piedra triturada debe provenir de roca dura, como la arenisca, basalto, piedra caliza u otra piedra de calidad equivalente, o piedra de canto rodado con un tamaño de partícula de por lo menos tres veces más grande que el tamaño máximo requerido para el producto final. El producto triturado puede ser tamizado para obtener el tamaño del agregado deseado. Algunas veces, por razones de economía, el material triturado es usado tal como se lo produce con un ligero tamizado o sin él. Este agregado se lo denomina agregado “triturado sin cribar”, en muchas oportunidades pueden utilizarse en la construcción de pavimentos asfálticos. Las piedras trituradas deben tener uniformidad, limpieza, dureza y durabilidad suficiente y estar libres de una cantidad perjudicial de partículas planas o alargadas, sucias con barro o con materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

2.2.3.3 Grava triturada

Grava triturada son piezas trituradas de canto rodado o grava para hacerlo más apropiado para su uso en mezclas asfálticas para pavimentación. La calidad puede ser mejorada por medio de la trituración, al cambiar la textura superficial de las partículas redondeadas en partículas angulosas con mejoras, además, en la distribución o rangos de tamaño de las partículas. Las proporciones de las partículas que tienen una o más caras fracturadas, tiene que ser mayor al 75% del peso total de partículas retenidas en un tamiz de 4,75 mm Sin otro procesamiento, este producto de grava triturada o chancada se llama “triturado sin cribar”.

2.2.3.4 Agregado fino

Los agregados finos, presentan tamaños menores de aproximadamente 2,5mm (0,1plg). Son obtenidos de arena natural proveniente de las fracciones finas, obtenidas por zarandeo en las operaciones de trituración de rocas o de gravas trituradas. Los áridos finos son aquellos que pasan el tamiz número 4.

- **Arena:**

La arena se clasifica en: arena natural, arena artificial, polvo de trituración y arena especial. La arena natural se clasifica, por el lugar de excavación, en: arena de río, arena de cantera y arena de mar. La arena artificial es producida por la trituración de roca o piedra de canto rodado. Las arenas son partículas rocosas que pasan el tamiz N°4 y quedan retenidas en el N° 200; y dentro de estas se encuentran las arenas finas, que son el material que pasa el tamiz N° 40 y quedan retenidas en el N°200, y el material que pasa el tamiz N°10 y retenidos en el tamiz N°40 se consideran arenas gruesas. Las partículas que pasan el tamiz N° 8 o menos, que se obtienen durante la producción de piedra triturada, se mencionan como “polvo de trituración”.

2.3 Filler

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° 200 (0.075 mm).

El filler empleado en mezclas asfálticas es un material finamente molido o pulverizado, cuyo tamaño de partículas pasan por el tamiz número 200 (0.075 mm).

El término filler proviene del inglés y significa rellenedor 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 rellenedor 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, al observar cualquier mezcla asfáltica, 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.

2.3.1 Importancia y efecto del relleno o polvo mineral

El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y procesados, como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca. Ellos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable, y resistente a la penetración del agua; sin embargo, un pequeño porcentaje de más, o de menos, de relleno o polvo mineral, puede causar que la mezcla parezca excesivamente seca o excesivamente rica (o sea, la mezcla de pavimentación parecerá como si tuviera muy poco asfalto o demasiado asfalto). Dichos cambios en la mezcla pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de relleno o polvo mineral utilizado. Por consiguiente, el tipo y la cantidad de relleno y polvo mineral usados en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación deberán ser cuidadosamente controlados. Las especificaciones para relleno mineral son contenidas en la designación AASHTO M 17:

2.3.2 Propiedades

El filler, como componente de las mezclas bituminosas, juega un papel importante en la determinación de las propiedades y el comportamiento de las mismas. Generalmente, se ha demostrado que el papel del filler en la mezcla es complejo. Por una parte, el filler sirve de material inerte para rellenar los huecos presentes en la mezcla, mientras que, por otro lado, dada su finura y las características superficiales que presenta, el filler también sirve como material activo, actividad que se expresa en las propiedades físico - químicas en el contacto entre el filler y el ligante bituminoso (Craus, Ishai y Sides, 1978).

Un buen conocimiento de las características y propiedades del relleno mineral, así como de las características que éste confiere a las mezclas bituminosas, es fundamental para llevar a cabo una óptima utilización del filler en la composición de las mezclas.

En este sentido, diversos autores (Dorfman y Rivara, 1985; Craus, Ishai y Sides, 1978; Añón y Mazza, 1955) coinciden en señalar que existen tres características fundamentales que el filler otorga a las mezclas bituminosas, en base a las propias características físico-químicas del mismo. Así, el filler en la mezcla proporciona una función rellenor en la mezcla, una modificación del comportamiento reológico y cohesivo del sistema filler-betún, y una acción estabilizante frente al agua, particularmente si se emplean áridos de naturaleza hidrófila.

- **El filler y su función rellenor en la mezcla bituminosa**

El filler, al ocupar parcialmente los espacios libres dejados por la estructura granular compactada y conformada por las partículas mayores, reduce el volumen de huecos de la mezcla evitando un aumento considerable en la demanda de ligante bituminoso.

El filler consigue cumplir con su función rellenor dependiendo del volumen de huecos existentes una vez se ha compactado la estructura granular y en función también de la granulometría y forma de las partículas de mayor tamaño.

2.3.2.1 Iteración filler-asfalto

Las partículas de filler influyen la matriz del asfalto mediante dos mecanismos. En el primero la partícula absorbe una película de asfalto, requerida para cubrir la partícula. El volumen de asfalto absorbido por este mecanismo puede considerarse como volumen de asfalto influenciado. Esto significa que este volumen de asfalto es consumido en cubrir la partícula y que no contribuye a lubricar el flujo de la mezcla. El segundo mecanismo explica que el filler influye sobre un volumen adicional de asfalto que no es absorbido. La influencia del filler se refleja en aumento de la resistencia de la segunda capa no absorbida a través de un gradiente con el aumento de resistencia máximo cercano a la capa absorbida, y la resistencia decrece gradualmente a través del espesor de esta capa hasta casi desaparecer.

2.3.3 Requisitos que debe cumplir el filler

En el momento de aplicación el filler deberá estar seco y exento de grumos.

El material que pasa por el tamiz N° 200, o sea el polvo mineral, deberá cumplir con la siguiente regla: más del 50% deberá hacerlo por tamizado seco con relación a la vía húmeda.

El polvo mineral será no plástico al ser ensayado por el método AASHTO T-91.

Tabla N° 2.1 Requisito de graduación para el material de relleno (filler)

Tamiz	% en peso que pasa por los tamices (AASHTO T-27)
N° 30	100
N° 80	95-100
N° 200	65-100

Fuente: Especificaciones técnicas de la A.B.C.

2.3.4 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:

- **Mejorar el cerrado de la mezcla sin el empleo exagerado de asfalto.** Esto debido a que el filler actúa como relleno de vacíos, lo cual permite disminuir espacios libres existentes entre agregados mayores. Esta actividad además depende de los vacíos de la mezcla, ya que cuando el agregado está bien graduado y la forma de sus partículas, permiten una ajustada distribución, entonces la necesidad de agregar filler es menor, incluso puede llegar a ser inconveniente por disminuir exageradamente espacios libres que deben ser ocupados parcialmente por asfalto y en consecuencia se obtendrían mezclas pobres en ligante de menor durabilidad.
- **Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica.** Esto debido a que el filler aumenta de manera importante la viscosidad del asfalto, mejor dicho la combinación filler-asfalto o mastico es un sistema de alta viscosidad el cual participa de manera importante en la resistencia ante la deformación
- **Incrementar la durabilidad de la mezcla.** Esto debido a que el filler actúa como relleno de vacíos, lo cual permite disminuir la porosidad dificultando la entrada de agentes agresivos como agua y aire; Además de que es el principal aglomerante dentro de la mezcla asfáltica y mantiene unidos a los agregados gruesos.

2.3.5 Características y comportamiento de mezclas asfálticas

Una muestra de pavimentación preparada en laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado principalmente hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que estas pueden tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro principales características son:

2.3.5.1 Peso específico de los agregados

Como el agregado está compuesto por fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino y filler natural, todos con distinto peso específico, los cálculos finales se verán simplificados de gran manera por el cálculo del peso específico bruto del agregado total.

Generalmente, los pesos parciales, se expresan en por cientos del peso total del agregado. Para introducir en la fórmula (que se detalla a continuación) el peso específico del agregado grueso y el agregado fino, se utiliza el peso específico masivo (bulk), y para el filler se usa el peso específico aparente; por lo tanto, la fórmula de peso específico promedio, del agregado mineral es la siguiente:

Ec. 2.1 Peso específico de los agregados

$$G_{agreg} = \frac{PA}{VA} = \frac{100}{\frac{\%AG(a)}{Gag(a)} + \frac{\%AF(b)}{Gag(b)} + \frac{\%F(c)}{GF(c)} + \dots + \frac{\%A(n)}{G(n)}}$$

Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

Donde:

G_{agreg} = Peso específico promedio del agregado mineral combinado.

PA = Peso total expresado en porcentaje.

(a), (b), (c), ..., A (n) = Porcentaje de los agregados a, b, c, ..., n.

Gag = Pesos específicos brutos de los agregados a, b, c, ..., n.

2.3.5.2 Densidad máxima real de la mezcla (gr/cm³)

La densidad de la mezcla compactada está definida como la masa de un volumen específico de la mezcla. La densidad es una característica muy importante en el control de calidad, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento. A veces un exceso de densidad puede producir efectos negativos (reventones).

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. Las mezclas asfálticas cuya densidad real requiere ser determinada, pueden ser moldeadas en laboratorio u obtenerse directamente de un pavimento. El diámetro y longitud de las muestras deben ser no menores a cuatro veces el tamaño máximo del agregado empleado y su altura, por lo menos una vez y medio el tamaño del agregado. La densidad real de la mezcla es comúnmente llamada peso unitario de mezclas asfálticas.

Las muestras obtenidas directamente de un pavimento deben ser representativas de la mezcla empleada y no contener materias extrañas al propio pavimento. Al hacer el ensayo,

las muestras deben cubrirse con parafina derretida, al fin de tapar todos los poros o vacíos de la mezcla y dejar la muestra al aire 30 minutos antes de pesarla.

La fórmula para determinar la densidad real de la mezcla de las briquetas es

Ec. 2.2 Densidad máxima real de la mezcla

$$Dr \left(\frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{PB(gr)}{VP(cm^3)}$$

Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

Donde:

Dr = Densidad real de la mezcla (briqueta)

PB = Peso de la briqueta sin parafina

VP = Volumen de la briqueta sin parafina

2.3.5.3 Vacíos de aire (VA) (%)

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsa de aire, que están presente en 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 por efecto del tráfico y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante esa compactación adicional. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de huecos, 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 aire y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de huecos puede causar exudación del asfalto, condición donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie. Siempre debe haber aire al interior de la muestra, ya que esto permite la flexibilidad de los pavimentos asfálticos. Si las partículas y el asfalto no encuentran espacios vacíos donde acomodarse se produce la exudación. El porcentaje permitido de vacíos está entre 3 y 5 % dependiendo del diseño específico. La fórmula para su cálculo es:

Ec. 2.3 Vacíos de aire

$$Vm(\%) = \frac{Dmt - Drm}{Dmt} * 100$$

Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

Donde:

V_m = Vacíos de la mezcla compactada

D_{mt} = Densidad máxima teórica

D_{rm} = Densidad real promedio

2.3.5.4 Vacíos en el agregado mineral (VAM) (%)

Los vacíos en el agregado mineral 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 V.A.M. representa el espacio disponible para acomodar el “volumen efectivo de asfalto” y el volumen de vacíos en la mezcla.

Figura 2.1 Esquema de los vacíos en el agregado mineral



Fuente: Instituto chileno-Tecnología del asfalto y prácticas de construcción

Los vacíos del agregado mineral son expresados en porcentaje del volumen total de la muestra. Representan el volumen de la mezcla compacta que no es ocupado por el agregado. El espacio inter granular ocupado por el asfalto y el aire en una mezcla compacta se denomina vacíos del agregado mineral VAM. En el diagrama de componentes, la suma del volumen de aire y el volumen de asfalto efectivo, es el VAM. El volumen de asfalto absorbido por el agregado no es usualmente considerado como parte del VAM. Por lo tanto, los vacíos del agregado mineral, son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compacta de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

El VAM representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos de la mezcla.

La fórmula para su cálculo es la siguiente:

Ec. 2.4 Vacíos del agregado mineral

$$VAM(\%) = Vm(\%) + \frac{CA(\%) * D_{rm}}{GCA}$$

Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

Dónde:

$VAM(\%)$ = Vacíos del agregado mineral.

$(\%)$ = Vacíos de la mezcla compactada.

$(\%)$ = Porcentaje de cemento asfáltico.

GCA = Peso específico del cemento asfáltico.

D_{rm} = Densidad real promedio.

2.3.5.5 Relación betumen vacíos (%)

Expresa el porcentaje de los vacíos del agregado mineral ocupado por el cemento asfáltico en la mezcla compacta. Esta propiedad es el porcentaje de los vacíos del agregado mineral (VAM) que contiene asfalto. La fórmula de cálculo es la siguiente:

Ec. 2.5 Relación Betumen - Vacíos

$$RBV(\%) = \frac{VAM(\%) - Vm(\%)}{VAM(\%)} * 100$$

Fuente: Instituto del Asfalto. Manual del Asfalto

Dónde:

$(\%)$ = Relación betumen vacíos

$(\%)$ = Vacíos del agregado mineral

$(\%)$ = Vacíos de la mezcla compactada

2.3.5.6 Contenido de asfalto

El contenido de asfalto de una mezcla está determinado por propiedades predeterminadas y establecidas mediante criterios tanto técnicos como económicos. El contenido de asfalto efectivo 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 agregado. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende en gran parte, de las características de los agregados, tales como granulometría y capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de

asfalto, entre más finos contenga la gradación de la mezcla, mayor será el área superficial total y mayor la cantidad de asfalto necesaria para cubrir uniformemente las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más gruesos) exigen menos asfalto puesto que poseen menos área superficial total.

2.3.6 Propiedades de mezclas asfálticas

Las principales propiedades que contribuyen a la calidad de una mezcla en caliente son:

- **Estabilidad:** Es la capacidad de un pavimento asfáltico para resistir las cargas de tránsito sin que se produzcan deformaciones. Depende principalmente de la fricción interna y de la cohesión.
- **Durabilidad:** Es la capacidad de un pavimento de resistir la desintegración debido al tránsito y al clima.
- **Flexibilidad:** Es la capacidad de un pavimento asfáltico para adaptarse a los movimientos y asentamientos de la base y subrasante sin agrietarse.
- **Resistencia a la fatiga:** Es la capacidad de un pavimento para resistir los esfuerzos provocados por el tránsito en repetidas pasadas.
- **Resistencia al deslizamiento:** Es la cualidad de un pavimento especialmente mojado para ofrecer resistencia al patinaje de los vehículos.
- **Impermeabilidad:** Es la resistencia del pavimento a ser penetrado por el aire y el agua.
- **Trabajabilidad:** Es la facilidad de una mezcla a colocarse y compactarse.

2.4 Diseño de mezclas por el método Marshall

Metodología el concepto de metodología para diseño de mezclas de pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del departamento de autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de estados unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoro y adiciono ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo 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 25mm (1”) o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38mm (1.5”). Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la

importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall, utiliza especímenes de prueba estándar de una altura de 64mm (2 ½”) y 103mm (4”) de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar compactar mezclas de asfalto-agregado (ASTM D1559) los dos aspectos principales del método de diseño son, la densidad –análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados.

La estabilidad del espécimen de prueba es la máxima resistencia en N (lb) que un espécimen estándar desarrollara a 60°C cuando es ensayado. El valor de flujo es el movimiento total o deformación, en unidades de 0.25mm (1/100”) que ocurre en el espécimen entre estar sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

2.4.1 Granulometría

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica. La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), las líneas de control son puntos de paso obligatorio para la curva granulométrica. La tabla 2.2 presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515.

Tabla N° 2.2 Tamaños máximos nominales más utilizados de acuerdo con la ASTM D3515

Abertura de malla	Mezclas cerradas								
	Tamaño máximo nominal del agregado								
	2 in (50 mm)	1 ½ in (37,5 mm)	1 in (25,0 mm)	¾ in (19,0 mm)	½ in (12,5 mm)	3/8 in (9,5 mm)	No. 4 (4,75 mm)	No. 8 (2,36 mm)	No. 16 (1,18 mm)
Graduaciones para mezclas de agregados (grueso, fino y filler)									
2 ½ in. (63 mm)	100	...	...	...	...	...	...	...	...
2 in. (50 mm)	90 – 100	100	...	...	...	...	...	...	...
1 ½ in. (37,5 mm)	...	90 – 100	100	...	...	...	...	...	...
1 in. (25,0 mm)	60 – 80	...	90 – 100	100	...	...	...	...	...
¾ in. (19,0 mm)	...	56 – 80	...	90 – 100	100	...	...	...	...
½ in. (12,5 mm)	35 – 65	...	56 – 80	...	90 – 100	100	...	...	...
3/8 in. (9,5 mm)	...	...	...	56 – 80	...	90 – 100	100	...	...
No. 4 (4,75 mm)	17 – 47	23 – 53	29 – 59	35 – 65	44 – 74	55 – 85	60 – 100	...	100
No. 8 (2,36 mm)	10 – 36	15 – 41	19 – 45	23 – 49	28 – 58	32 – 67	65 – 100	...	95 – 100
No. 16 (1,18 mm)	...	...	...	...	...	...	40 – 80	...	85 – 100
No. 30 (600 µm)	...	...	...	...	...	...	35 – 65	...	70 – 95
No. 50 (300 µm)	3 – 15	4 – 16	5 – 17	5 – 19	5 – 21	7 – 23	7 – 40	...	45 – 75
No. 100 (150 µm)	...	...	...	...	...	...	3 – 20	...	20 – 40
No. 200 (75 µm)	0 – 5	0 – 6	1 – 7	2 – 8	2 – 10	2 – 10	2 – 10	...	9 – 20
Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla									
	2 – 7	3 – 8	3 – 9	4 – 10	4 – 11	5 – 12	6 – 12	7 – 12	8 – 12

Fuente: The Asphalt Instituto.

2.5 Descripción del método Marshall

El método Marshall debe cumplirse como se encuentra especificado en la Norma AASHTO T245 (o ASTM D 1559) del “MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES – ASFALTO; VOLUMEN 4.

2.5.1 Procedimiento del método Marshall

Existen tres procedimientos en el método de ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, y análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las briquetas.

- **Determinación del peso específico total.**

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

- **Ensayo de estabilidad y fluencia.**

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

El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

- 1) Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60° (140°F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- 2) La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste en un aparato que aplica carga constante sobre la briqueita, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia)
- 3) La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueita puede resistir.
- 4) La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

- **Valor de estabilidad Marshall**

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una briqueita cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, el cabezal

superior se acerca al cabezal inferior lentamente, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador. Luego se suspende la aplicación de la carga una vez que la briqueta falla después de haber registrado la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de la Estabilidad Marshall. Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que, si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto es mucho mejor. Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material, es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de la durabilidad.

Figura 2.2 Medidor de estabilidad



Fuente: Elaboración propia

- **Valor de fluencia Marshall.**

La fluencia Marshall medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La figura 2.3 muestra un medidor típico de fluencia para medir la deformación que ocurre durante el ensayo Marshall. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores altos de estabilidad Marshall son considerados demasiado frágiles y rígidos para

un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo cargas del tránsito.

Figura 2.3 Medidor de fluencia



Fuente: Elaboración propia

2.6 Temperatura de mezclas asfálticas

La temperatura de la mezcla se revisa, por lo regular, en el volquete; sin embargo, debe revisarse con frecuencia detrás de la pavimentadora. Es muy importante hacer esto las primeras horas del día y la superficie sobre la cual se está colocando el material están todavía fríos. La temperatura también deberá revisarse cuando la mezcla aparezca fría o cuando la primera compactadora se esté quedando atrás.

La variación diaria de temperatura entre el día y la noche y la radiación solar son factores importantes que inciden en la calidad de la mezcla. Es así que la temperatura puede afectar características importantes del pavimento, como la flexibilidad de este a bajas temperaturas, ya que la abrasión y desintegración aumentan con la fragilidad.

2.6.1 Temperatura en el transporte

Aunque la mezcla es inspeccionada en planta, puede ocurrir que se pase por alto, inadvertidamente, una carga defectuosa que pueda ser resultado de una falla en la planta. Las mezclas asfálticas son transportadas al lugar de ejecución del pavimento y las razones

para poder justificar que estas sean rechazadas, ya que no cumplen con las temperaturas especificadas son:

- **Temperatura excesiva:** el calentamiento en exceso de las mezclas es normalmente indicado por un aviso de humo de coloración azul. La temperatura debe ser verificada inmediatamente de sobrepasar los límites especificados y la carga debe ser rechazada.
- **Temperatura baja:** si la mezcla asfáltica presenta un aspecto endurecido o un recubrimiento irregular de partículas de agregados. La temperatura debe ser verificada inmediatamente de ser menor que los límites especificados la carga debe ser rechazada.

2.6.1.1 Temperatura en plataforma

Se refiere a la temperatura de compactación de la mezcla, para que la compactación pueda ser ejecutada con eficiencia la temperatura juega un rol muy importante es esta etapa.

Mezclas asfálticas con temperaturas elevadas tienden a fluir y deformarse debido a mayor lubricación y menor ligación por el ligante asfáltico calentado en exceso. Contrariamente, si la temperatura baja mucho, el ligante asfáltico se vuelve plástico y pegajoso, dificultando la compresión de la mezcla y la obtención de un estado más denso. Cada mezcla asfáltica tiene un rango de temperatura de compactación propia, relacionado a todo tipo de ligante asfáltico utilizado. Generalmente se obtiene mayor eficiencia en la compactación cuando se trabaja con temperaturas próximas al límite superior del rango. Se ha llegado a determinar que en capas de 5 cm de espesor la temperatura ambiente de distribución debe ser mayor de 15 °C.

En capas de 10 a 20 cm de espesor se admite que esa temperatura sea como mínimo 0°C.

2.7 Normativa a utilizar en el proyecto de experimentación

Los ensayos de caracterización se realizarán según correspondan en el “MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES – ASFALTO; VOLUMEN 4”

Para Cementos Asfálticos Convencionales:

- Método para determinar la Viscosidad (ASTM D 2170 AASHTO T201-01)
- Método de ensaye de Penetración (ASTM D5 AASHTO T49-97)
- Método para determinar los Puntos de inflamación y combustión mediante la Copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96)

- Método para determinar la Ductilidad (ASTM D113 AASHTO T51-00)
- Método para determinar el Punto de Ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola. (ASTM D36 AASHTO T53-96)

Para Agregados:

- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 AASHTO T88).
- Determinación del peso específico de los agregados (ASTM D854 AASHTO T100).
- Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E131 AASHTO T96-99).
- Método para determinar el equivalente de arena. (ASTM D2419).

El trabajo de campo se realizará con el método:

Método para determinar la resistencia a la deformación plástica de mezclas asfálticas utilizando el aparato Marshall (AASHTO T245-97).

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.1 Relevamiento de la información

3.1.1 Selección de agregados pétreos

La selección del agregado pétreo que se va a utilizar en la siguiente investigación, fueron proporcionados por la seleccionadora Viracocha, la misma se encuentra ubicada en la comunidad de la Pintada que está situada cerca del pueblo de la cabaña y Ancón Grande

Figura 3.1 Ubicación y recolección de agregados pétreos



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2 Cemento asfáltico

El cemento asfáltico a utilizarse es el **CONVENCIONAL 85-100**, proporcionado por la institución de la Alcaldía Municipal de Cercado cuyo distribuidor es una empresa de Colombia.

Figura 3.2 Cemento asfáltico (85-100)



Fuente: Elaboración propia

El material a utilizar para el proyecto de investigación son materiales existentes en la ciudad de Tarija debe cumplir ciertas especificaciones mencionadas anteriormente ASTM y AASHTO.

3.1.2.1 Ficha técnica del cemento asfáltico

ASFALTO CA 85-100

Es un asfalto de alto rendimiento, especialmente diseñado para capas de rodado de pavimentos asfálticos sujetos a sollicitaciones y especialmente adaptado para zonas frías.

- **Propiedades**

Es un producto especialmente formulado para uso en mezclas en caliente, para los cuales el pavimento es sometido a condiciones específicas. Es un producto químicamente de origen nafteno. En pavimentos de alto rendimiento es una alternativa más económica. Obteniéndose pavimentos de mayor duración a menor precio.

- **Aplicación y rendimiento**

No requiere técnicas especiales en su aplicación. Se colocan con los mismos equipos y condiciones de la pavimentación tradicional. Los rendimientos van dependiendo de la dosificación que se realice de acuerdo a los áridos a utilizar.

- **Comercialización y almacenamiento**

Se vende a granel en termo tanques de 25 Tn o tambores de 190 kg, el almacenamiento en obra se debe realizar en estanques calefaccionados, normalmente a través de ser pentines con circulación de aceite térmico. Se recomienda no exceder en los 140°C como temperatura máxima de almacenamiento.

- **Especificaciones técnicas**

ASFALTO CA 85-100 cumple con ciertos requisitos técnicos, los cuales se enumeran a continuación en tabla adjunta.

Tabla N° 3.1 Especificaciones técnicas

Ensayo	Norma	UN	Min	Max
Penetración 25°C 100 g, 5 s.	ASTM DS AASHTO T 49	0,1 mm	85	100
Punto de ablandamiento.	ASTM D 16 AASHTO T 202	°C	46	-
Penetración 4°C 200 gr, 60 s.	ASTM D 5 AASHTO T 49	0,1 mm	20	--
Ductilidad, 25°C.	ASTM 113 AASHTO T 51.	cm	100	-
Ductilidad, 10 °C.	ASTM D113 AASHTO T 51	cm	20	--

Fuente: Elaboración propia

- **Laboratorio**

Nuestra organización posee un departamento de Gestión y Control de Calidad especializado en productos Asfálticos y además cuenta con el apoyo de un importante y reconocido laboratorio de materiales, el cual certifica y entrega respaldo a todos nuestros productos asfálticos.

3.1.3 Elección de filler de masilla plástica

La preparación del filler de masilla plástica implica mezclar los componentes adecuados para obtener una mezcla homogénea y consistente. Pasos generales para preparar filler de masilla plástica.

Materiales necesarios:

Figura 3.3 Resina de poliéster más catalizador



Fuente: elaboración propia

- Resina de poliéster: la base principal del filler
- Catalizador: agente que acelera la reacción química

Preparación:

Preparar los materiales asegurarse de que todos los materiales estén limpios y secos

Medir los componentes según proporciones recomendadas.

Agregar el catalizador a la mezcla de resina, siguiendo las instrucciones

Mezclar todos los componentes hasta obtener una mezcla homogénea y consistente.

Figura 3.4 Una vez seco el material procedemos a pasar con el rodillo



Fuente: Elaboracion propia

3.1.3.1 Especificaciones técnicas de la masilla plástica

- **Definición**

Es una masilla de poliéster insaturado muy flexible, cremosa y de fácil aplicación. Está concebida para la reparación de cualquier tipo de plásticos utilizados en carrocería, especialmente para parachoques. Su color gris antracita, similar al color original de las piezas, facilita su posterior cubrición. Se puede utilizar también para la reparación de piezas poliéster. Este producto no es adecuado para el encolado de piezas.

- **Características físicas**

Naturaleza: Poliéster insaturado

Colores: Gris antracita.

Peso específico: 1,7 g/cm³ a 20°C.

Productos auxiliares: Catalizador PBO

- **Superficies sobre las que se puede aplicar**

Puede aplicarse sobre plásticos de carrocerías flexibles como: PP/EPDM, ABS, PA, PUR, PC y plásticos rígidos como POLIESTER (SMC y UP-GFK).

3.1.3.2 Criterio de la variación del porcentaje de filler

Se respetará los porcentajes de filler por la norma ASTM D-3515 según la faja de diseño considerada, que están comprendidos del 2% al 8%. Para la investigación se usó el porcentaje 2%,3% y 5% para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico, ya que al variar con un porcentaje mayor de 5% de filler según la curva de diseño supera el 8% que la Norma ASTM D-3515 especifica que es el valor máximo.

3.2 Caracterización de los materiales.

3.2.1 Granulometría de agregados (Norma ASTM E-40 AASHTO T27-99).

El análisis granulométrico sirve para determinar el porcentaje en peso de los áridos de diferentes tamaños. El método consiste en la determinación por tamices de la distribución del tamaño de las partículas de agregado fino y grueso. 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 de grupos de diferentes tamaños para los gruesos. Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Se procedió a realizar el análisis granulométrico tanto del material grueso como del material fino de acuerdo a la norma ASSHTO T-27.

Procedimiento de ensayo:

Figura 3.5 Tamizado mediante el equipo de ROP-TAP



Fuente: Elaboración propia

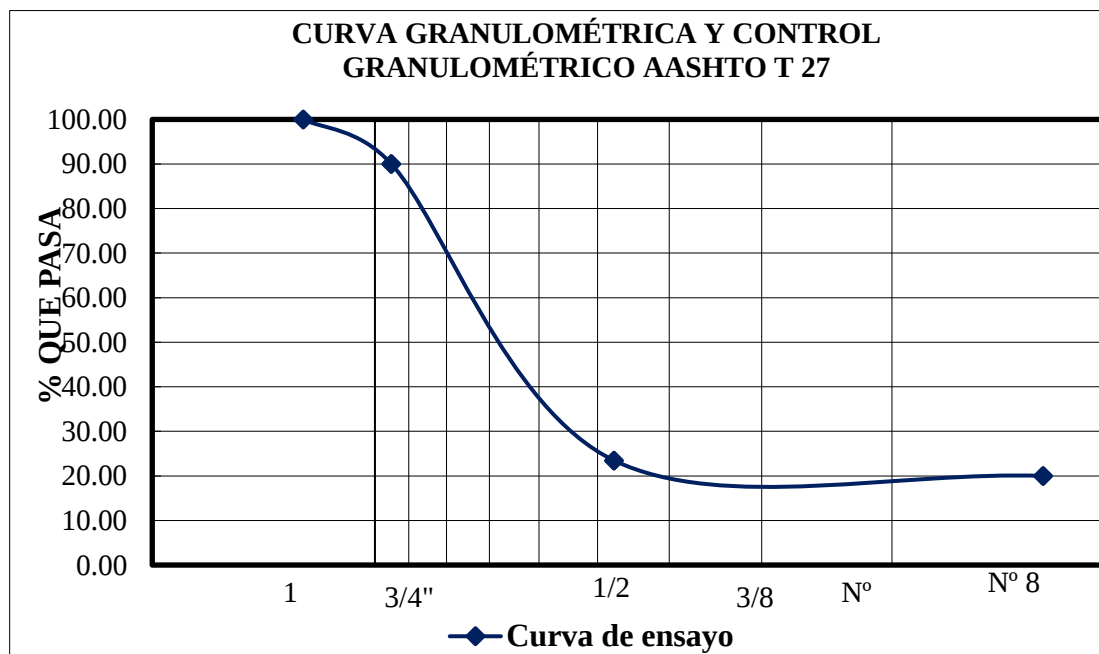
Resultados de la práctica:

Tabla N° 3.2 Granulometría del agregado grueso (grava)

Peso Total (gr.) =			5000		
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	del total
1	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,00	500,00	500,00	10,00	90,00
1/2	12,50	3327,00	3827,00	76,54	23,46
3/8	9,50	173,00	4000,00	80,00	20,00
Nº4	4,75	910,00	4910,00	98,20	1,80
Nº8	2,50	80,00	4990,00	99,80	0,20
BASE	0,00	0,00	4990,00	99,80	0,00
SUMA =		4990,00			
PÉRDIDAS =		10,00	TAMAÑO MAX =		1"
MF =		6,88			

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.6 Gráfica Curva Granulométrica del agregado grueso (grava)



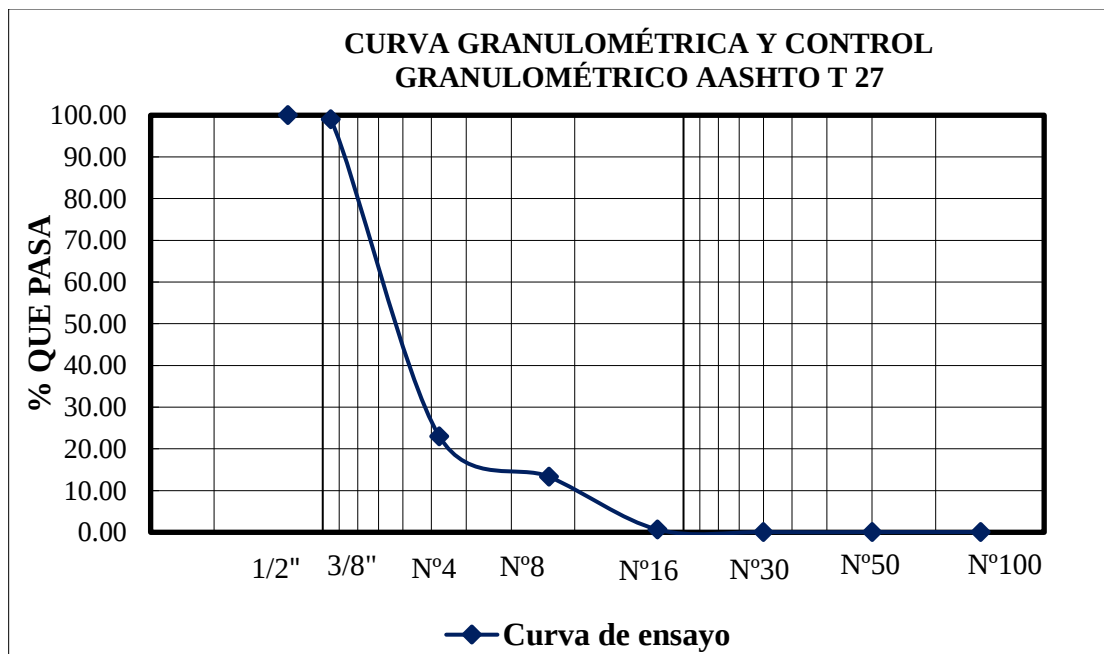
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.3 Granulometría del agregado medio (gravilla)

Peso Total (gr.) =			3000		
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido acumulado		% Que pasa
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	del total
1/2	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	30,00	30,00	1,00	99,00
N°4	4,75	2280,00	2310,00	77,00	23,00
N°8	2,36	290,00	2600,00	86,67	13,33
N°16	1,18	380,00	2980,00	99,33	0,67
N°30	0,60	18,00	2998,00	99,93	0,07
N°50	0,30	0,00	2998,00	99,93	0,07
N°100	0,15	0,00	2998,00	99,93	0,07
BASE	0,00	0,00	2998,00	99,93	0,07
Suma =		2998,00			
Pérdidas =		2,00	Tamaño máx. =		1/2"
Mf =		5,78			

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.7 Gráfica Curva granulométrica del agregado medio (gravilla)



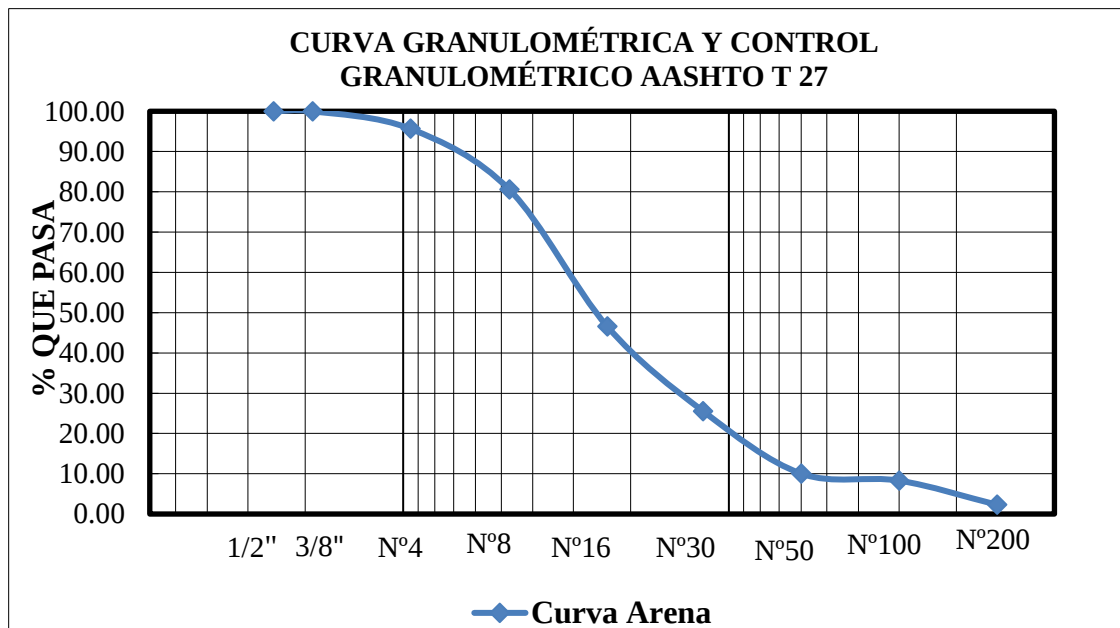
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.4 Granulometría agregado fino (arena)

Peso Total (gr.) =			2000		
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	del total
1/2"	12,5	0	0	0	100
03-ago	9,5	0	0	0	100
N°4	4,75	87	87	4,35	95,65
N°8	2,36	302	389	19,5	80,55
N°16	1,18	680	1069	53,5	46,55
N°30	0,6	420	1489	74,5	25,55
N°50	0,3	310	1799	90	10,05
N°100	0,15	35	1834	91,7	8,3
N°200	0,08	120	1954	97,7	2,3
BASE	0	39	1993	99,7	0
Suma =		1993			
Pérdidas =		7	Tamaño máx. =		3/8"
Mf =		2,59			

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.8 Gráfica Curva granulométrica del agregado fino (arena)



Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Ensayo peso específico 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.

Procedimiento de ensayo:

Figura 3.9 Lavar y dejar saturar con agua por 24 horas el agregado retenido en el tamiz N° 4



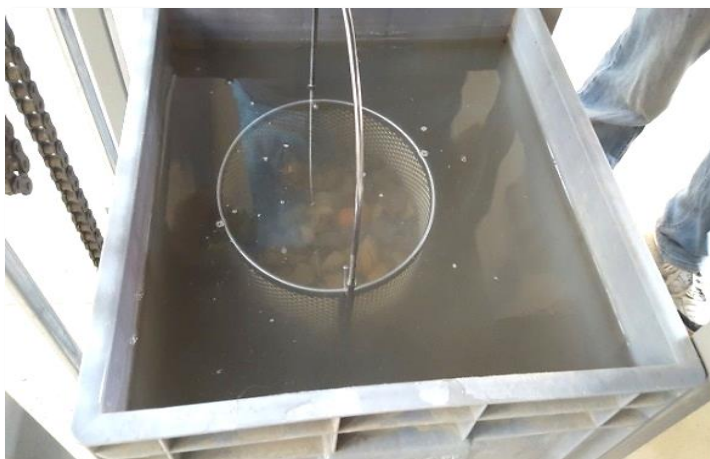
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Peso del material superficialmente seco



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.11 Obtención del peso sumergido



Fuente: Elaboración propia

Calculos:

Grava

$$\text{Peso Especif. a granel} = \frac{\text{peso muestra seca}}{(\text{Peso muest. sat. de superf. seca} - \text{Peso Muest. sat. dent. del agua})}$$

$$\text{Peso Especifico a granel} = \frac{4930 \text{ gr}}{((5000\text{gr}) - 2980\text{gr})}$$

$$\text{Peso especifico a granel} = 2,44 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{P.E.A Sat. de Superf. Seca} = \frac{\text{Peso muestra Seca}}{(\text{Peso muest. sat. de superf. seca} - \text{Peso Muest. Suspend. agua})}$$

$$\text{P.E.A Sat. de Superf. Seca} = \frac{4930 \text{ gr}}{(5000 \text{ gr} - 2980 \text{ gr})}$$

$$\text{Peso Especifico del Agregado Seco} = 2,47 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso Especif. Aparente} = \frac{\text{Peso Material Seco}}{(\text{Peso Mat. Seco} - \text{Peso Muest. Suspendida agua})}$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{4930 \text{ gr}}{((4930 \text{ gr}) - 2980 \text{ gr})}$$

$$\text{Peso especifico aparente} = 2,52 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorcion} = \frac{\text{Peso Muestra sat. sup seca} - \text{peso muestra seca}}{(\text{Peso Muestra seca})}$$

$$\% \text{ de absorcion} = \left(\frac{5000 \text{ gr} - 4930 \text{ gr}}{4930 \text{ gr}} \right) * 100$$

$$\% \text{ de absorcion} = 1,42 \%$$

Resultados de la practica:

Los resultados son los promedios de tres ensayos realizados en el laboratorio.

Tabla N° 3.5 Datos y resultados de peso específico (grava 3/4)

Peso específico seca aparente (G.s.a)	2,52	gr/cm³
Peso específico de bulk (G.s.b)	2,44	gr/cm ³
Peso específico superficie seca bulk (G.s.s.b)	2,47	gr/cm ³
Absorción %	1,42	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.6 Datos y resultados de peso específico (gravilla)

Peso específico seca aparente (G.s.a)	2,58	gr/cm³
Peso específico de bulk (G.s.b)	2,50	gr/cm ³
Peso específico superficie seca bulk (G.s.s.b)	2,54	gr/cm ³
Absorción %	1,24	%

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Ensayo peso específico del agregado fino (ASTM C-128)

Este método tiene como objetivo determina el peso específico aparente y peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua que absorbe el agregado fino.

Procedimiento del ensayo:

Figura 3.12 Lavar y dejar saturar en agua por 24 horas



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13 Secado superficial con secadora



Fuente: Elaboracion propia

Figura 3.14 Colocar en un matraz de 500 gr de material y llenar agua y pesar



Fuente: Elaboracion propia

Figura 3.15 Sacar la muestra del matraz y dejar secar en el horno para posteriormente pesar



Fuente: Elaboración propia

Calculos:

$$\text{Peso especif. a granel} = \frac{\text{peso muestra seca}}{(\text{Peso muest. sat. de superf. seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso Muest. + agua}}$$

$$\text{Peso Especifico del agreg. seco} = \frac{493,40 \text{ gr}}{(500 \text{ gr} - 311,20 \text{ gr})}$$

$$\text{Peso esp. del agreg. seco} = 2,60 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso especif. Sat. de Superf. Seca} = \frac{\text{Peso Muestra saturada Seca}}{(\text{Peso muest. sat. de superf. seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso Muest.} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso espec. Sat. Superf. Seco} = \frac{500 \text{ gr}}{(500 \text{ gr} - 311,20 \text{ gr})}$$

$$\text{Peso espec. Sat Superf. Seco} = 2,63 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso Especif. Aparente} = \frac{\text{Peso Muestra Seca}}{(\text{Peso Muest. Seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso Muest.} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{493,40}{((500 \text{ gr} - 311,20 \text{ gr}) - (500 - 493,408 \text{ gr}))}$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = 2,69 \text{ gr/cm}^3$$

$$\% \text{ de absorcion} = \frac{\text{Peso Muestra sat. sup seca} - \text{peso muestra seca}}{(\text{Peso Muestra seca})}$$

$$\% \text{ de absorcion} = \left(\frac{493,40 \text{ gr} - 500 \text{ gr}}{500 \text{ gr}} \right) * 100$$

$$\% \text{ de absorcion} = 1,31 \%$$

Resultados de la practica:

Los resultados son el promedio de tres ensayos realizados

Tabla N° 3.7 Resultados del peso específico (Arena)

Peso específico seca aparente (G.s.a)	2,69	gr/cm³
Peso específico de bulk (G.s.b)	2,6	gr/cm ³
Peso específico superficie seca bulk (G.s.s.b)	2,63	gr/cm ³
Absorción %	1,31	%

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Peso unitario de los agregados grueso y fino (ASTM C 29M-97, AASHTO T-27)

Este método de ensayo cubre la determinación del peso unitario suelto y compactado de los agregados gruesos y finos.

En este ensayo se realizará para peso suelto y compactado, el peso suelto se determina llenando el recipiente con el agregado hasta rebosar, el excedente y se pesa. Para el peso

compactado se realiza a tres capas, para ello se llena la tercera parte del recipiente con el agregado, se apisona con una barra metálica, mediante 25 golpes, esto se realiza con las dos capas faltantes. Finalmente, se llena el recipiente con la última capa hasta rebosar se compacta con 25 golpes y se enrasa el excedente y se procede a pesar determinando con ello el peso unitario y compactada.

Peso unitario suelto.

Tabla N° 3.8 Datos y resultados peso unitario (grava)

Muestra N°.	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recip.+muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
1	5850,00	11138,00	19590,00	13740,00	1,23
2	5850,00	11138,00	19960,00	14110,00	1,27
3	5850,00	11138,00	19760,00	13910,00	1,25
				Promedio	1,25

Peso unitario compactado.

Tabla N° 3.9 Peso unitario compactado (grava)

Muestra N°.	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recip.+muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/cm³)
1	5850,00	11138,00	21050,00	15200,00	1,36
2	5850,00	11138,00	20960,00	15110,00	1,36
3	5850,00	11138,00	20900,00	15050,00	1,35
				Promedio	1,36

Fuente: Elaboracion propia.

Tabla N° 3.10 Datos y resultados peso unitario (gravilla)

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recip+muest. suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
1	2611,00	3579,00	8205,00	5594,00	1,56
2	2611,00	3579,00	8350,00	5739,00	1,60
3	2611,00	3579,00	8125,00	5514,00	1,54
				Promedio	1,57

Fuente: Elaboracion propia

Peso unitario compactado.

Tabla N° 3.11 Peso unitario compactado (gravilla)

Muestra N	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recip.+ muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/cm³)
1	5850,00	11138,00	21050,00	15200,00	1,36
2	5850,00	11138,00	20960,00	15110,00	1,36
3	5850,00	11138,00	20900,00	15050,00	1,35
				Promedio	1,36

Fuente: Elaboracion propia

Tabla N° 3.12 Datos y resultados peso unitario (arena)

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recip.+ muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
1	2611,00	3579,00	6950,00	4339,00	1,21
2	2611,00	3579,00	7000,00	4389,00	1,23
3	2611,00	3579,00	7007,00	4396,00	1,23
				Promedio	1,22

Fuente: Elaboracion propia

Peso unitario compactado arena

Tabla N° 3.13 Peso unitario compactado (gravilla)

Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recip.+ muestra compactada (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario compactada (gr/cm³)
1	2611,00	3579,00	7465,00	4854,00	1,36
2	2611,00	3579,00	7490,00	4879,00	1,36
3	2611,00	3579,00	7540,00	4929,00	1,38
				Promedio	1,37

Fuente: Elaboracion propia

3.2.5 Ensayo de equivalente de arena (AASHTO T-176)

Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa de finura y características del material fino presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular que pasa el tamiz N.º 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 en las partículas de arena; después de un periodo de tiempo, se pueden leer las alturas de arcilla y arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura respecto a la altura de arcilla, expresada en porcentaje.

Procedimiento de ensayo.

Figura 3.16 Material y equipo necesario para el ensayo



Fuente: Elaboracion propia

Figura 3.17 Colocar el material y golpear en la parte baja del cilindro para evitar burbujas de aire y dejar reposar por 10 minutos



Fuente: Elaboracion propia

Figura 3.18 Una vez transcurrido el tiempo los 20 minutos, lecturar y obtener datos



Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Utilizamos el promedio para realizar los cálculos:

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{lectura de nivel superior (H1)}}{\text{Lectura de nivel inferior (H2)}} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{10,6}{11,20} * 100$$

$$\text{Equivalente de arena} = 94,56 \%$$

Tabla N° 3.14 Datos y resultados de la práctica equivalente de arena

N° de Muestra	H1(cm)	H2(cm)	Equivalente de Arena (%)
1	10,60	11,20	94,64
2	10,40	11,00	94,55
3	10,30	10,90	94,50
Promedio			94,56

Equivalente de Arena (%)	NORMA
94,56	> 90%

Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E-131 AASHTO T96-99)

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 siguiente tabla, se muestra el método a emplear; así como la cantidad de material, numero de esferas, numero de revoluciones y tiempo de rotación, para cada uno de ellos. La gradación que deberá ser representativa de la gradación original suministrado.

Tabla N° 3.15 Pesos de los agregados gruesos y N° de esferas

Gradación		A	B	C	D
Diámetro		Cantidad de Material a Emplear (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
Peso Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Numero de Esferas		12	11	8	6
N° de Revoluciones		500	500	500	500

Fuente: norma ASTM C-131.

Tabla N° 3.16 Especificaciones que debe cumplir cada gradación.

Material	Especificación ASTM
A	35% Max.
B	35% Max.
C	35% Max.
D	35%Max

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento de ensayo:

Figura 3.19 Lavar y secar en el horno a una temperatura de 105-100°C el material antes de introducir en la máquina de los ángeles.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.20 Pesar los materiales retenidos en las cantidades del método que corresponden



Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.21 Introducir la muestra y las cargas abrasivas en la máquina de los
Ángeles.**



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.22 Sacar el material y las cargas abrasivas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.23 Tamizar la muestra por el tamiz N° 12 luego lavar y dejar al horno a secar y pesar.



Fuente: Elaboración propia

Resultados de la práctica

Tabla N° 3.17 Datos de desgaste de los ángeles (grava)

Datos de laboratorio			
Gradación B			
Pasa	tamiz	Retenido tamiz	Peso retenido
	1½ "	1"	-
	1"	¾"	-
	¾"	½"	2500
	½"	⅜"	2500

Fuente: Elaboración propia

Cálculos.

$$\%desgaste = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} * 100$$

$$\%desgaste = \frac{5000 - 3515}{5000} * 100$$

$$\%desgaste = 29,70 \%$$

Tabla N° 3.18 Resultados de desgaste de los ángeles (grava)

Gradación	Peso inicial	Peso final	% De desgaste	Especificación ASTM
B	5000	3515	29,70	35% Max.

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera se debe hacer para la gravilla 3/8

Tabla N° 3.19 Datos desgaste de los Ángeles gravilla

Datos de laboratorio		
Pasa tamiz	Retenido tamiz	Cantidad tomada
1/2"	1/4"	2500
3/8"	N°4	2500

Fuente: Elaboración propia

Cálculos.

$$\%Desgaste = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} * 100$$

$$\%Desgaste = \frac{5000 - 3791}{5000} * 100$$

$$\%Desgaste = 24,21 \%$$

Tabla N° 3.20 Resultados desgasté de los de Ángeles (gravilla)

Gradación	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	% de Desgaste	Especificación ASTM
C	5000	3791,0	24,21	35% Max.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.7 Ensayo de porcentaje de caras fracturadas ASTM D-821

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje en peso del material que presente uno o más caras fracturadas de la muestra tanto de la grava como de la gravilla.

Tabla N° 3.21 Datos y resultados cara fracturadas (gravilla 3/4)

Tamaño máximo nominal de la muestra =	3/4"
Tamaño de la muestra de ensayo =	1000 gr

Tamiz	Peso Retenido (gr)	% retenido	Peso de partículas fracturadas (gr) (mi)	Porcentaje de partículas fracturadas (P)
3/4" - 1/2"	21,00	2,10	18,00	85,71
1/2" - 3/8"	350,00	35,00	323,00	92,29
3/8" - 1/4"	572,00	57,20	432,00	75,52
Base	57,00	5,70		0,00
Peso total	1000,00	100,00	773,00	
Porcentaje de partículas fracturadas (P)			77,30	%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.22 Datos y resultados caras fracturada (grava $\frac{3}{4}$)

Tamaño máximo nominal de la muestra =	1"
Tamaño de la muestra de ensayo =	1500 gr

Tamiz	Peso retenido (gr)	% retenido	Peso de partículas fracturadas (gr) (mi)	Porcentaje de partículas fracturadas (P)
1 1/2" - 1"	0,00	0,00	0,00	
1" - 3/4"	1087,00	72,47	840,00	77,28
3/4" - 1/2"	379,00	25,27	307,00	81,00
1/2" - 3/8"	34,00	2,27	18,00	52,94
3/8" - 1/4"	0,00	0,00	0,00	0,00
Base	0,00	0,00	-	-
Peso total	1500,00	100,00	1165,00	
Porcentaje de partículas fracturadas (P)			77,67	%

Fuente: Elaboración propia

3.3 Caracterización del cemento asfáltico

3.3.1 Ensayo de penetración (ASTM D 5 AASHTO T-49-97)

Este método de ensayo cubre la determinación de la penetración de los 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 seg).

Se denomina penetración a la distancia hasta la cual penetra la aguja, que se mide en decimales de milímetro/dmm (0.1 mm), cuanto mayor es la penetración de la aguja, más blando es el cemento asfáltico.

Figura 3.24 Colocamos el betún en las taras.



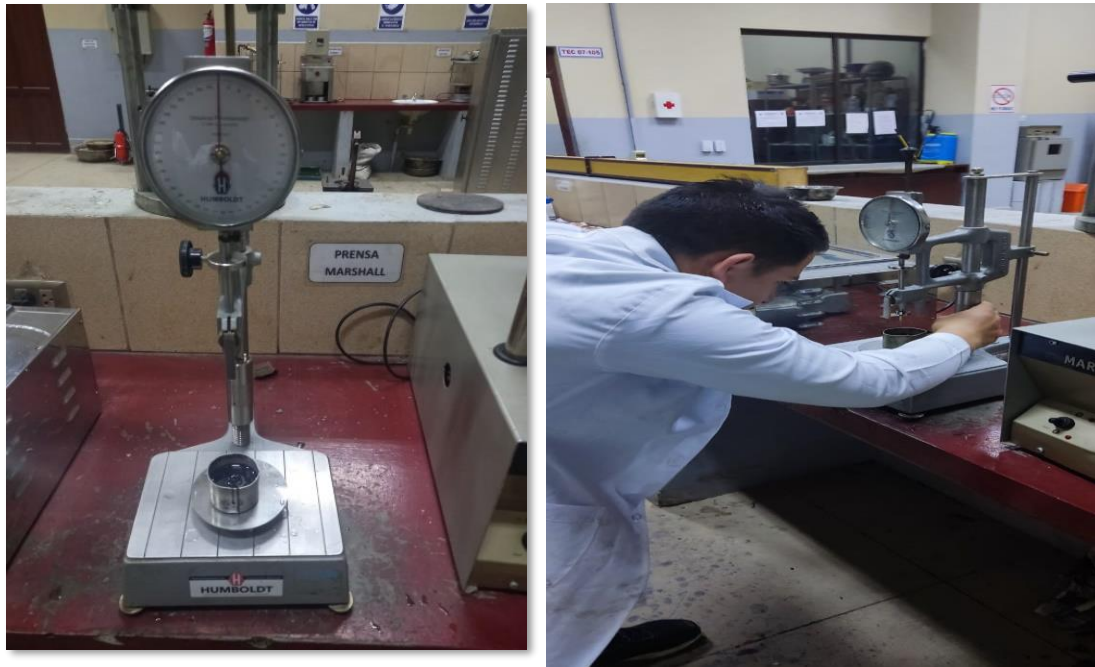
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.25 Colocamos las muestras en baño maría por 25° C por 30 min.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26 Realizamos el ensayo teniendo en cuenta que este limpia la aguja.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.23 Datos y resultados de la práctica penetración del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (AASHTO T49-97)							
Lectura N°1	0,1 mm	99	98	99	97	85	100
Lectura N°2	0,1 mm	96	95	97			
Lectura N°3	0,1 mm	98	97	95			
Penetración Promedio	0,1 mm	98	97	97			

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Ensayo de ductilidad (ASTM D 113 AASTHO T51-00)

La ductilidad es una propiedad que tienen algunos elementos que pueden deformarse sin romperse la ductilidad de un material bituminoso es medida por la distancia en centímetros a la cual se alargara 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 hasta fin

hasta que el material cubra el nivel lleno del molde dejar que se enfríen para un periodo de 30 a 40 minutos entonces poner el plato base y el molde lleno en baño de agua a 25 °C, por 30 minutos.

Quitar el plato base y el molde lleno de baño de agua, y con un temporizador caliente cortar el exceso el material bituminoso para que el molde simplemente este lleno a nivel. Posteriormente quitar la briqueta del plato, despegar los pedazos laterales, e inmediatamente realizar el ensayo.

Resumen de la práctica:

Figura 3.27 Armado engrasado de los platos de base y los moldes



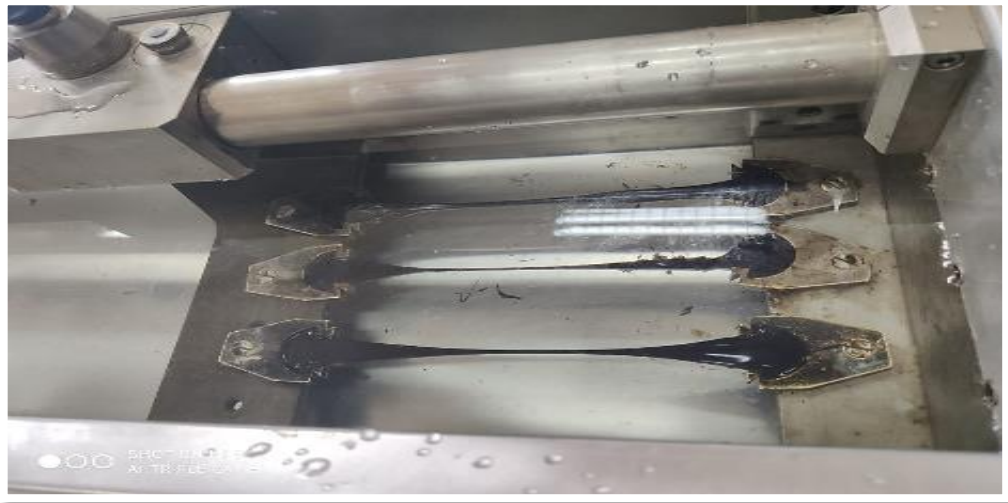
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.28 Verter el cemento asfáltico en los moldes y dejar enfriar después poner en baño María



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.29 Con una espátula enraizar los moldes para luego realizar el ensayo



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.24 Datos y resultados del ensayo de ductilidad.

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Ductilidad a 25°C (AASHTO T51-00)	cm	105	112	116	111	100	-

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO 79-96).

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta.

El objetivo de esta práctica es determinar el punto de ignición mínimo del asfalto (el cual representa las temperaturas críticas), por medio de la copa abierta de Cleveland. Cuando se calienta un asfalto, libera vapores que son combustibles. El punto de inflamación, es la temperatura a la cual puede ser calentado un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados, en presencia de una llama libre.

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación del cemento asfáltico es el de “vaso abierto Cleveland” (COC), que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, y calentarlo con un aumento de temperatura

normalizado. Se pasa una pequeña llama sobre la superficie del asfalto en intervalos de tiempo estipulados.

El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

Resumen de la práctica:

Figura 3.30 Muestra en la copa Cleveland



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.31 Muestra en ensayo pasando la llama de fuego.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.25 Datos y resultados de la práctica punto de inflamación

ENSAYO	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Punto de Inflamación (AASHTO T79-96)	°C	292	290	292	291	232	-

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Punto de ablandamiento con el aparato anillo y bola (ASTM D-36 AASHTO T53-96).

Este método de ensayo cubre la determinación del punto de ablandamiento de betún en el rango de 30 a 157°C (86 a 315°F) usando el aparato del anillo y esfera sumergido en agua destilada, glicerina USP o glicol del etileno. Consiste en cubrir la superficie de la base y los anillos un agente de glicerina. Por otro lado, poner agua destilada en vaso de precipitación lo suficiente como para que la muestra quede totalmente bañada en el agua destilada luego verter el cemento asfáltico a los anillos y dejar reposar, enfriar durante 30 minutos. Una vez enfriado el asfalto poner los anillos junto al poseedor en el vaso con agua destilada por fuera alrededor del vaso colocar el hielo para bajar la temperatura hasta 5°C para acabar de armar todo el equipo, es decir colocar los anillos, en las guías centradoras de las esferas en el poseedor y poner a calentar para hacer el ensayo.

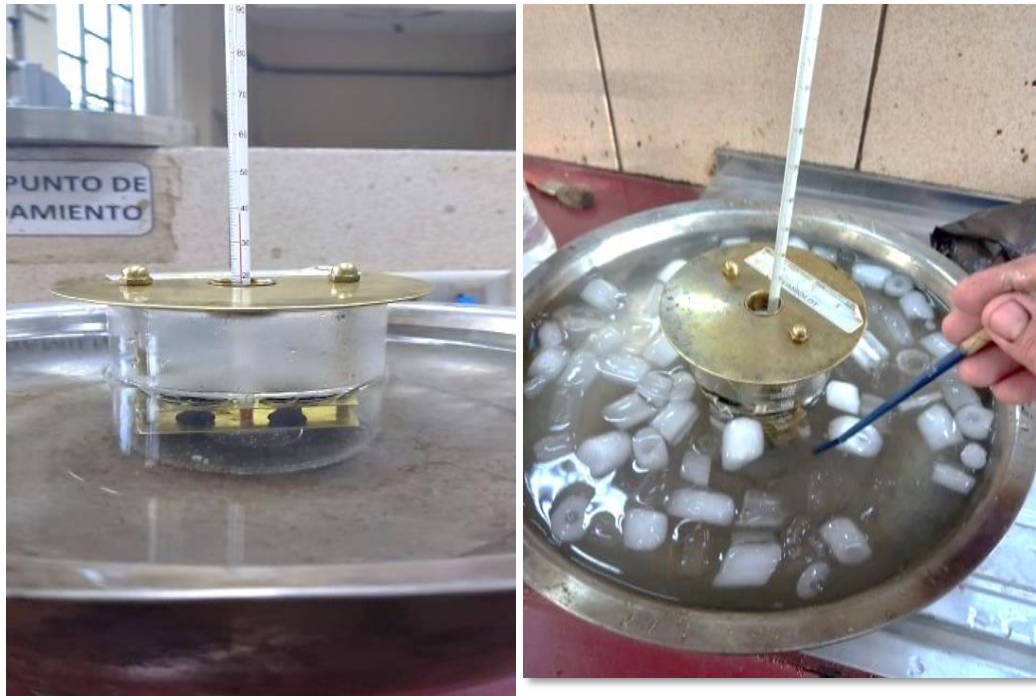
Resumen de la práctica:

Figura 3.32 Verter el cemento asfáltico en los anillos y dejar enfriar



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.33 Poner los anillos en el poseedor y colocar hielo alrededor del vaso para poder bajar la temperatura hasta las 5°C



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.34 Alcanzada la temperatura de 5°C colocar las guías centradoras y las bolas de acero y calentar



Fuente: Elaboración propia

Resultados de la práctica:

Tabla N° 3.26 Datos y resultados de la práctica punto de ablandamiento.

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mínimo	Máximo
Punto de ablandamiento (AASHTO T53-96)	°C	43,0	42,0	44,0	43	42	53

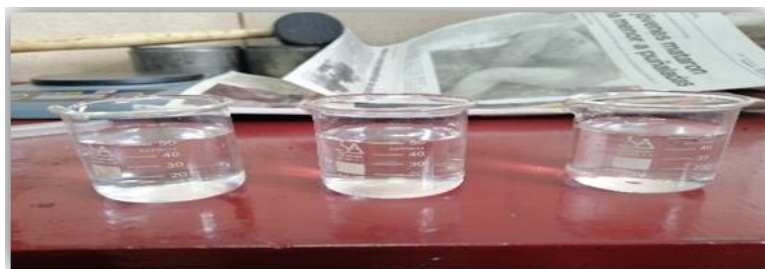
Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Peso específico (ASTM D71-94 AASHTO T229-97)

Es necesario conocer el peso específico del asfalto que se emplea para hacer las correcciones de volumen y se lo emplea también como factor para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentos compactados. La densidad relativa de un material bituminoso se define como la relación entre el peso de un volumen dado de una sustancia a 25°C y el peso de un volumen de agua a la misma temperatura. Determinar el peso de los picnómetros y registrar el peso y designar a este dato la letra A después de llenar los picnómetros con agua destilada para posteriormente sumergirla totalmente en un vaso precipitado con agua destilada y dejar en baño maría por 30 minutos para calibrar, luego una vez transcurrido el tiempo extraer los picnómetros, secar superficialmente y pesar y designar con la letra B. luego verter el cemento asfáltico aproximadamente $\frac{3}{4}$ de picnómetro y dejar hasta que alcance temperatura ambiente. Posteriormente pesar los picnómetros más las muestras designar ese dato como la letra C. después llenar los picnómetros con agua destilada y sumergir también en agua destilada y dejar por 30 minutos para luego secar, pesar y obtener el último dato, que se designe con la letra “D”.

Resumen de la práctica:

Figura 3.35 Pesamos y calibramos los picnómetros



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.36 Verter el cemento asfáltico en los picnómetros



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.37 Llenar con agua destilada cada uno de los picnómetros y dejar en baño maría por 30 min sacar y pesar



Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

$$pb = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \rho_w$$

Donde:

A= Peso del picnómetro.

B= Peso del picnómetro + agua

C= Peso del picnómetro + asfalto.

D= Peso del picnómetro + asfalto + agua.

ρ_w = Peso específico del agua la temperatura de ensayo (0,997077)

ρ_b = Peso específico del asfalto

$$\text{Peso Esp. de C.A} = \frac{67,1-34}{(85,2+(67,1-34)-86,8)} * 0,997077$$

Peso Esp. de C. A=1,048 gr/cm³

Resultados de la práctica:

Tabla N° 3.27 Datos y resultados del peso específico del asfalto.

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mín.	Máx.
Peso Específico a 25°C (AASHTO 7229-97)							
Peso Picnómetro	gr	35,0	34,6	34,0	1,009	1	1,05
Peso Picnómetro+Agua(25°C)	gr	86	86,7	85,2			
Peso Picnómetro + Muestra	gr	67,1	69,1	67,1			
Peso Picnómetro + Agua + Muestra	gr	86,5	85,6	86,8			
Peso Especifico Promedio	gr/cm³	1,013	0,966	1,048			

Fuente: Elaboración propia

3.3.6 Viscosidad Saybolt

Este método cubre los procedimientos empíricos para determinar la viscosidad Saybolt furol de productos de petróleo a temperaturas especificadas entre 21 y 99°C (70 y 210°F).

Tabla N° 3.28 Datos y resultados de viscosidad Saybolt.

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mín.	Máx.
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C	sF	134	147,0	155,0	145,3	85	400

Fuente: Elaboración propia

3.4 Caracterización del filler.

3.4.1 Granulometría del filler

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

Resumen de la práctica:

Figura 3.38 Pesamos el filler natural y de masilla plástica para realizar la practica



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.39 Vaciar el material en los tamices



Fuente: Elaboración propia

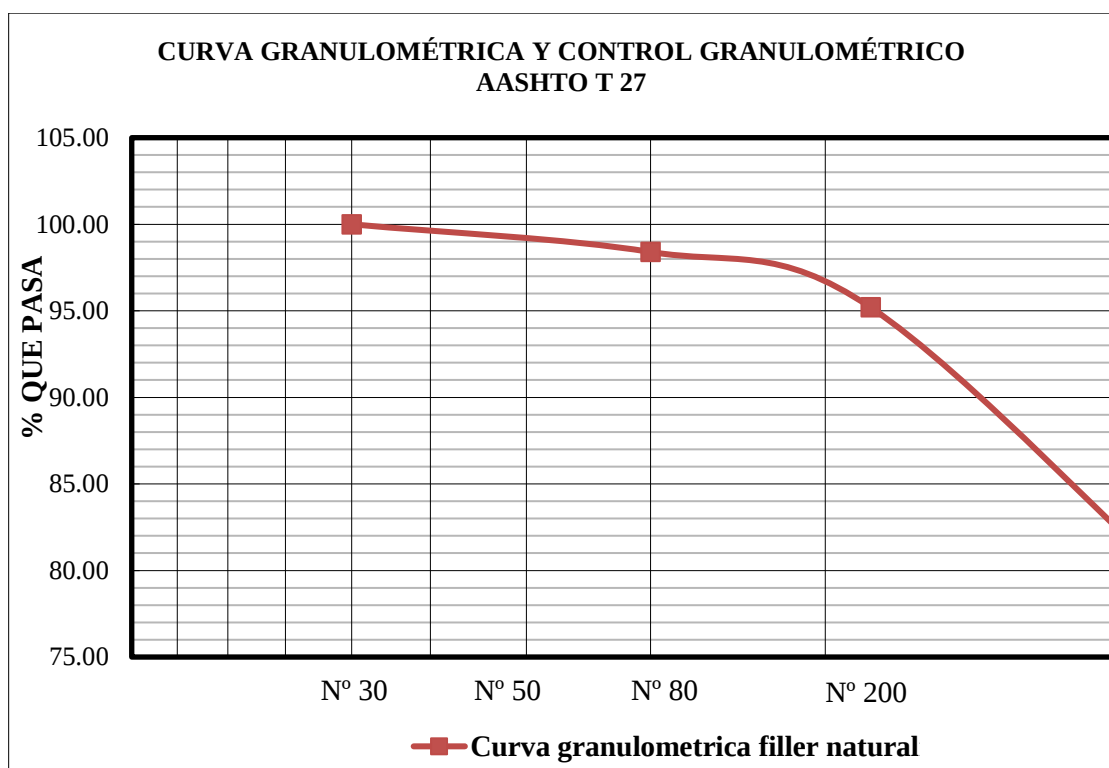
Resultados de la práctica:

Tabla N° 3.29 Datos y resultados granulometría filler natural

Peso Total (gr.) =			500		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido acumulado		% Que pasa del total
			(gr)	(%)	
N°30	0,60	0,00	0,00	0,00	100,00
N°50	0,30	8,00	8,00	1,60	98,40
N°80	0,18	16,00	24,00	4,80	95,20
N°200	0,08	100,00	124,00	24,80	75,20
BASE	0,00	350,00	474,00	94,80	0,00
Suma =		474,00			
Pérdidas =		26,00			

Fuente. Elaboración propia

Figura 3.40 Gráfica Curva granulométrica filler natural



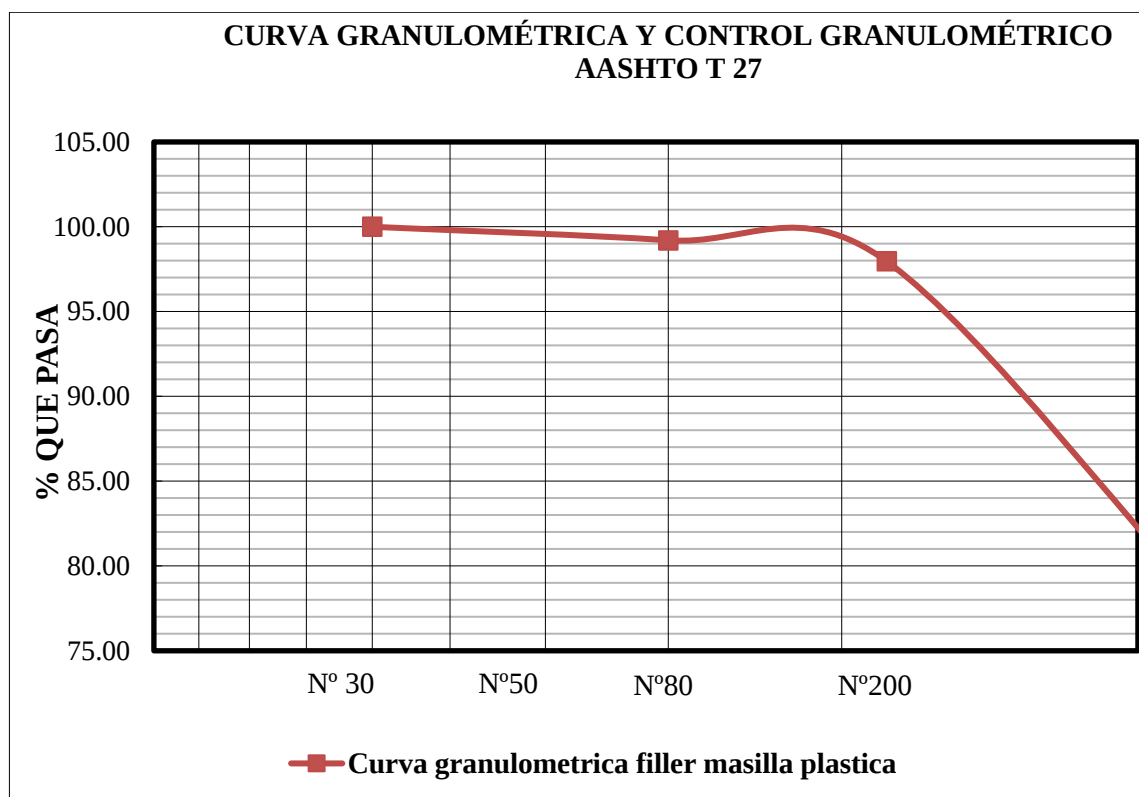
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.30 Datos y resultados granulometría filler masilla plástica

Peso Total (gr.) =			500		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido acumulado		% Que pasa del total
			(gr)	(%)	
N°30	0,60	0,00	0,00	0,00	100,00
N°50	0,30	4,00	4,00	0,80	99,20
N°80	0,18	6,20	10,20	2,04	97,96
N°200	0,08	120,30	130,50	26,10	73,90
Base	0,00	366,00	496,50	99,30	0,00
Suma =		496,50			
Pérdidas =		3,50			

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.41 Gráfica Curva granulométrica filler masilla plástica



Fuente: Elaboración propia

3.4.2 Peso específico del filler natural (ASTM D-854 AASHTO T-100).

Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de las partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5mm. Cuando el suelo se compone de partícula como menores de 5mm, separe del tamiz N°4 (4,75mm).

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

Resumen de la práctica

Figura 3.42 Materiales a ser utilizados para la calibración del frasco volumétrica



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.1 Se lava el frasco



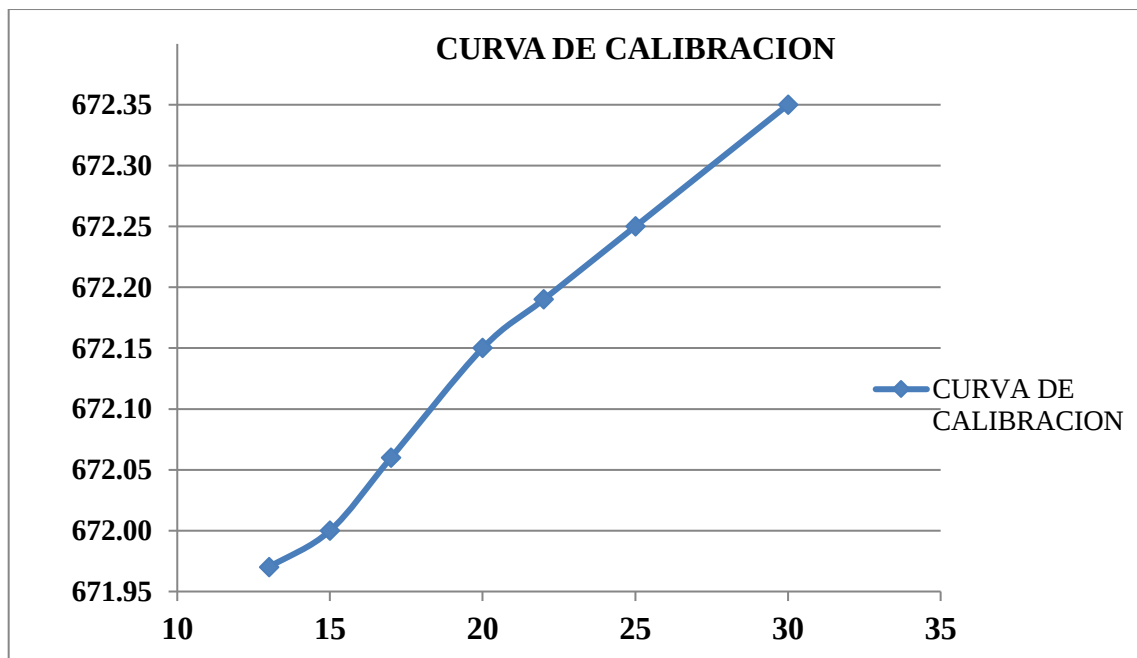
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.31 Resultados de la calibración del frasco

W.f.w =	Peso del frasco + agua en (gr)		
T =	Temperatura en °C.		
	Numero de ensayo	W,f.w (gr)	T (°C)
	1	672,35	30
	2	672,25	25
	3	672,19	22
	4	672,15	20
	5	672,06	17
	6	672,00	15
	7	671,97	13

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.43 Gráfica Curva de calibración



Fuente: Elaboración propia

3.4.3 Peso específico y absorción filler natural

Resumen de la práctica:

Figura 3.44 Pesamos 80 gramos de filler natural y de masilla plástica para realizar la práctica



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.45 Introducimos el agua destilada luego procedemos a introducir el filler



Fuente: Elaboracion propia

**Figura 3.46 Poner en baño maria la muestra del filler introducida en el matraz
luego pesar y hacer variar las temperaturas de 30 a 15°C**



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.47 Luego procedemos a tomar su peso respectivamente



Fuente: Elaboración propia

Resultados de la práctica:

Tabla N° 3.32 Datos y resultados del ensayo de peso específico del filler natural.

Numero de ensayos	1,00	2,00	3,00	4,00	Promedio
Temperatura del ensayo (°C)	20,00	25,00	28,00	30,00	
Peso del suelo seco (W.s)	80,00	80,00	80,00	80,00	
Peso del frasco + agua (W.f.w)	690,40	690,40	690,40	690,40	
Peso del frasco + agua + Filler (W.s.f.s)	740,10	740,50	740,60	740,90	
Peso especifico	2,640	2,676	2,685	2,712	
Factor de corrección (k)	0,998	0,998	0,998	0,998	
Peso específico corregido	2,646	2,681	2,690	2,717	2,672

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 3.33 Datos y Resultados peso específico de la Masilla Plástica.

Numero de ensayos	1,00	2,00	3,00	4,00	Promedio
Temperatura del ensayo (°C)	30,00	28,00	25,00	20,00	
Peso del suelo seco (W.s)	80,00	80,00	80,00	80,00	
Peso del frasco + agua (W.f.w)	690,50	690,50	690,50	690,50	
Peso del frasco + agua + filler (W.s.f.s)	741,00	740,80	740,60	739,80	
Peso especifico	2,712	2,694	2,676	2,606	
Factor de corrección (k)	0,998	0,998	0,998	0,998	
Peso específico corregido	2,717	2,699	2,681	2,611	2,699

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.34 Resumen y promedio de peso específico del filler

Filler Natural	2,672
Filler de la Masilla Plástica	2,699
Promedio	2,686

Fuente: Elaboración propia.

3.5 Resultados de levantamiento de información.

3.5.1 Agregados pétreos

Tabla N° 3.35 Resultados de caracterización de los agregados pétreos

Ensayo	Agregados	Especificación		Resultados	ASTM
		Min.	Max		
Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos.	Grava	-	-	1,42	C-127
	Gravilla	-	-	1,24	
Peso específico y absorción de agua en agregado fino.	Arena	-	-	1,31	C-128
Peso unitario	Grava 3/4	-	-	1,36	C-29
	Gravilla 3/8	-	-	1,73	
	Arena	-	-	1,37	
Equivalente de arena	-	45%	-	94,56 %	D-2419
Porcentaje de caras fracturadas	Grava ¾	75%	-	74,33 %	D-5821
	Gravilla 3/8	75%	-	74,20 %	
Desgaste mediante la máquina de los ángeles	Grava ¾	-	40%	29,70 %	C-131
	Gravilla 3/8		40%	24,21 %	

Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Filler

Tabla N° 3.36 Resultados de la caracterización del filler

Ensayo	Agregados	Especificación		Resultados	ASTM
		Min.	Max		
Peso específico y absorción del filler.	Filler natural	-	-	2,699	D-854
	Filler masilla plástica	-	-	2,670	

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3 Cemento Asfáltico

Tabla N° 3.37 Resumen de la caracterización del cemento asfáltico

Ensayo	Unidad	Muestras			Resultado	Especificaciones	
		1	2	3		Mín	Máx
Penetración a 25°C, 100s. 5seg. (AASHTO T49-97)							
Lectura N°1	0,1 mm	99	98	99	97	85	100
Lectura N°2	0,1 mm	96	95	97			
Lectura N°3	0,1 mm	98	97	95			
Penetración promedio	0,1 mm	98	97	97			
Peso Específico a 25°C (AASHTO 7229-97)							
Peso picnómetro	gr	35,0	34,6	34,0	1,009	1	1,05
Peso picnómetro + agua (25°C)	gr	86	86,7	85,2			
Peso picnómetro + muestra	gr	67,1	69,1	67,1			
Peso picnómetro + agua + muestra	gr	86,5	85,6	86,8			
Peso específico promedio	gr/cm³	1,013	0,966	1,048			
Punto de inflamación (AASHTO T79-96)	°C	292	290	292	291	232	-

Punto de ablandamiento (AASHTO T53-96)	°C	43,0	42,0	44,0	43	42	53
Ductilidad a 25°C (AASHTO T51-00)	cm	105	112	116	111	100	-
Viscosidad Saybolt-Furol a 50°C	SFs	134	147,0	155,0	145,3	85	400

Fuente: Elaboración propia.

3.6 Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico.

El siguiente procedimiento será aplicado para obtener el contenido del cemento asfáltico que será utilizado para el diseño de mezclas asfálticas en caliente, este se realizara mediante el método Marshall de acuerdo a la Norma (ASTM D15-59) que es empleado también para proyectos en laboratorio y comprobación en obra de mezclas que contienen cemento asfáltico y áridos cuyo tamaño máximo no exceda de $\frac{3}{4}$ pulgadas.

El propósito del método de dosificación Marshall es determinar el contenido óptimo de betún para una combinación específica de áridos. Se trata de un ensayo mecánico que consiste en romper probetas cilíndricas de 101,6 mm de diámetro por 63,5 mm de altura y compactadas mediante un martillo de peso y altura de caídos normalizados.

Posteriormente se calientan a una temperatura de 60°C y se rompen en la prensa Marshall mediante la aplicación de una carga vertical a través de una mordaza perimetral y una velocidad de deformación constante de 50,8 mm/min para determinar su estabilidad y deformación. Este método establece densidades y contenidos óptimos de huecos que se han de cumplir durante la construcción del pavimento. Es importante saber que este ensayo es uno de los más conocidos y utilizados tanto para la dosificación de mezclas bituminosas como para su control en planta mediante la verificación de los parámetros de diseño de las muestras tomadas. Usualmente se preparan tres probetas para cada contenido asfáltico

Los datos así obtenidos se emplean para establecer el contenido de asfalto óptimo de la mezcla y para determinar algunas de sus características físicas. Para la confección de

briquetas se debe primero tamizar el agregado que será utilizado y tener bolsas separadas antes de pesar el agregado deberá secarse hasta obtener peso constante entre 105°C y 110°C. Sobre la base del peso de 1200 gr que debe pesar cada muestra antes de compactar, se preparan las proporciones separadas para cada una de las 18 probetas, colocando las cantidades necesarias de los agregados.

Posteriormente se pesará tres muestras para cada contenido de asfalto y poner al horno, ya que los agregados deben ser calentados a una temperatura superior en más o menos 15°C a la del cemento asfáltico. Por otro lado, el asfalto también se calienta a una temperatura entre 140 y 150°C. Los moldes y la zapata de pisón de compactación también deben ser previamente calentados a una temperatura comprendida entre 100 y 150°C.

Se retiran los agregados del horno previamente pesados y se añade el cemento asfáltico mezclando hasta obtener una muestra homogénea la misma debe realizarse a una temperatura inferior en 10 a 20°C a la del calentamiento del cemento asfáltico.

Luego se coloca en el molde y estando todo caliente se compacta con 75 golpes a cada cara de la briqueta, retirar la probeta y el molde y dejar enfriar al aire para luego ser ensayada dentro de las 24 horas subsiguientes.

Resumen de la práctica:

Figura 3.48 Separación de los agregados por tamaño para armar la granulometría



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.49 Pesar los agregados en cantidades necesarias



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.50 Una vez calientes a las temperaturas determinadas mezclar



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.51 Compactamos con 75 golpes cada lado, desmoldar y dejar enfriar



Fuente: Elaboración propia

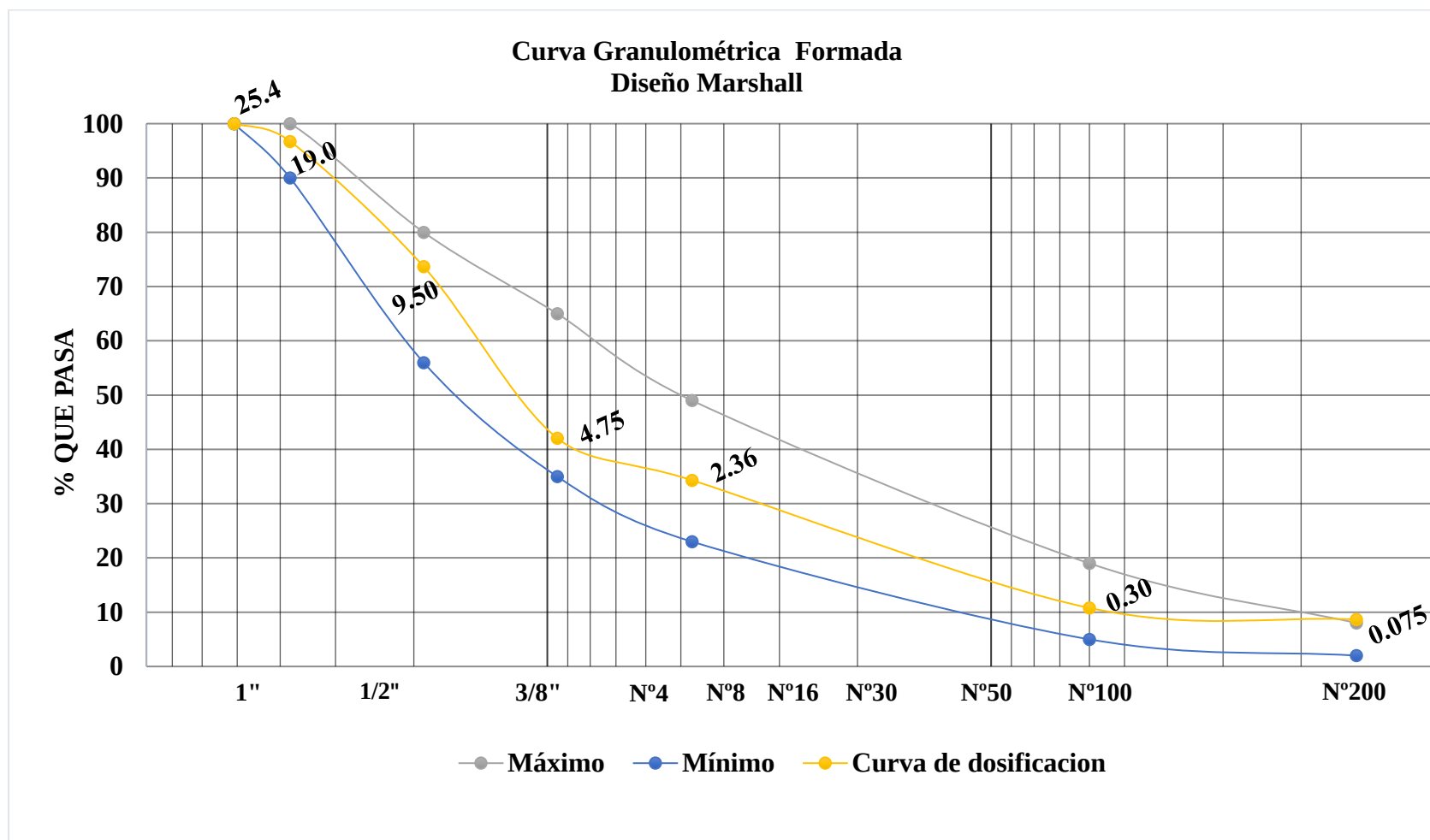
3.7 Dosificación de mezcla asfáltica

Tabla N° 3.38 Datos de la curva granulométrica de dosificación

									TOTAL					
Tamices	Tamaño (mm)	Grava Peso ret. a 3000 gr.	Gravilla Peso ret. a 3000 gr	Arena Peso ret. a 200 gr.	Grava al 0,20	Gravilla al 0,33	Arena al 0,42	Filler 0,05	Peso ret. 1,00	Ret. Acum.	% Ret.	% que pasa del total	Especificaciones	
													Min.	Max.
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,00	500,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	3,25	96,75	90	100
1/2"	12,50	3327,00	0,00	0,00	665,40	0,00	0,00	0,00	665,40	765,40	24,87	75,13	-	-
3/8"	9,50	173,00	30,00	0,00	34,60	9,90	0,00	0,00	44,50	809,90	26,32	73,68	56	80
N°4	4,75	910,00	2280,00	87,00	182,00	752,40	36,54	0,00	970,94	1780,84	57,87	42,13	35	65
N°8	2,36	80,00	290,00	302,00	16,00	95,70	126,84	0,00	238,54	2019,38	65,62	34,38	23	49
N°16	1,18	0,00	380,00	680,00	0,00	125,40	285,60	0,00	411,00	2430,38	78,98	21,02	-	-
N°30	0,60	0,00	18,00	420,00	0,00	5,94	176,40	0,00	182,34	2612,72	84,90	15,10	-	-
N°50	0,30	0,00	0,00	310,00	0,00	0,00	130,20	0,00	130,20	2742,92	89,13	10,87	5	19
N°100	0,15	0,00	0,00	95,00	0,00	0,00	39,90	0,00	39,90	2782,82	90,43	9,57	-	-
N°200	0,075	0,00	0,00	106,00	0,00	0,00	44,52	0,00	44,52	2827,34	91,88	8,12	2	8
Base	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	250,00	250,00	3077,34	100,0	0,00	-	-
Suma		4990,00	2998,00	2000,00	998,00	989,34	840,00	250,00	3077,34					
Pérdidas		10,00	2,00	0,00										

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.52 Gráfica Curva granulométrica formada para diseño Marshall.



Fuente: Elaboración propia

Dosificación para encontrar el contenido óptimo de cemento asfáltico

MEZCLA ASFALTICA DENSA CALIENTE
TEMPERATURAS DE MEZCLADO A 150° C

Tabla N° 3.39 Mezcla asfáltica densa en caliente

Peso grava.	0,20	240				
Peso gravilla.	0,33	396	Peso total de briqueta (gr)		1200	
Peso arena	0,42	504	Porcentaje de briqueta (%)		100%	
Peso filler natural	0,05	60				
		1140				

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 3.40 Granulometría elaborada.

	% DE CEMENTO ASFÁLTICO					
	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%
Porcentaje de agregado (%)	95,5%	95,0%	94,5%	94,0%	93,5%	93,0%
Peso de cemento asfáltico (gr)	54,00	60,00	66,00	72,00	78,00	84,00
Peso grava (gr).	229,20	228,00	226,80	225,60	224,40	223,20
Peso gravilla (gr).	378,18	376,20	374,22	372,24	370,26	368,28
Peso arena (gr).	481,32	478,80	476,28	473,76	471,24	468,72
Peso filler natural (gr)	57,30	57,00	56,70	56,40	56,10	55,80
Peso total de la briqueta (gr)	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

3.8 Determinación de la densidad, estabilidad y fluencia Marshall.

Previo a los ensayos Marshall, se debe determinar la altura de las briquetas para un factor de corrección que se aplica cuando no cumple con lo establecido en la norma. Se hizo la lectura de las tres alturas para promediar, ya que las briquetas no tienen una altura pareja, por desvió del martillo compactador.

Determinación de la densidad

Figura 3.53 Medir sus alturas y pesar en estado seco al aire libre



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.54 Sumergir las briquetas en agua durante 5 min a 25° C y después determinar el peso sumergido en agua



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.55 Pesar las briquetas saturadas con superficie seca



Fuente: Elaboración propia

Determinación de la estabilidad y fluencia

Figura 3.56 Poner en baño María a 60°C por 35 min para cada una



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.57 Colocar las briquetas en la mordaza y lectura del dial de estabilidad (dentro del anillo Marshall) y el dial de deformación para el flujo



Fuente: Elaboración propia

3.8.1 Desarrollo de la planilla previa a la rotura de briquetas.

Se realizará un cálculo demostrativo para la biqueta con porcentaje de cemento asfáltico de 4,5%.

a) Identificación:

Las briquetas 1, 2, 3 serán las que analizaremos en el documento:

b) Altura de biqueta:

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 4,8% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Tabla N° 3.41 Altura de biqueta

Identificación	Altura biqueta (cm)
1	6,77
2	6,50
3	6,63

Fuente: Elaboración propia

c) Porcentaje de asfalto:

Ic) Base de agregado:

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

$$Base\ de\ agregado = \frac{4,5 * 100}{100 - 4,5}$$

$$Base\ de\ agregado = 4,71$$

2c) Base de la mezcla:

Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 3 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 4,5.

d) Peso de la briketa en el aire

El peso de la briketa en el aire se lo calcula cuando se desmolda la briketa cuyos datos son los siguientes:

Tabla N° 3.42 Peso de briketa en el aire

Identificación	Peso briketa en el aire (gr)
1	1207,8
2	1190,2
3	1199

Fuente: Elaboración propia.

e) Peso de la briketa en el aire saturado superficialmente seco (S.S.S)

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

Tabla N° 3.43 Peso de la briketa en el aire saturado

Identificación	Peso briketa en el aire S.S.S (gr)
1	1208,8
2	1192,6
3	1203,6

Fuente: Elaboración propia

f) Peso de la briketa sumergida en el agua:

El peso sumergido, se lo calcula cuando se sumerge la briketa en el agua a 25°C durante 30 minutos cuyos datos de la briketa son los siguientes:

Tabla N° 3.44 Peso de la briketa sumergida

Identificación	Peso briketa sumergida (gr)
1	677
2	688
3	690

Fuente: Elaboración propia

g) Volumen de la briqueta:

vol. de briq.=peso briq. en el aire SSS-Peso briq. Sumergida

$$\text{Vol. de briq.} = 1208,8 \text{ gr} - 677 \text{ gr}$$

$$\text{Vol. de briq.} = 531,8 \text{ gr}$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación "1"

Densidad de la briqueta:

h) Densidad real de la briqueta:

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{peso briqueta en aire}}{\text{volumen de briqueta}}$$

$$\text{Densidad real} = \frac{1207,8 \text{ gr}}{531,8 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Densidad real} = 2,217 \text{ gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación "1"

2h) Densidad máxima teoría de la briqueta:

$$D_{\text{maxt}} = \frac{100}{\left(\frac{\% \text{ de asfalto}}{\text{peso esp. asfalto}} \right) + \left(\frac{100 - \% \text{ asfalto}}{\text{peso esp. total}} \right)}$$

$$D_{\text{maxt}} = \frac{100}{\left(\frac{4,5}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right) + \left(\frac{100 - 4,5}{2,84 \text{ gr/cm}^3} \right)}$$

$$D_{\text{maxt}} = 2,63 \text{ gr/cm}^3$$

i) Porcentaje de vacíos (V.M).

1i) Porcentaje de vacíos en la mezcla (V.M)

$$V.M = \left(\frac{\text{Dens.briq.max.teorica} - \text{Dens.briq.promedio}}{\text{densidad briqueta máxima teorica}} \right) * 100$$

$$V.M = \left(\frac{2,63 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} - 2,32 \text{ gr/cm}^3}{2,63 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$VM = 11,58 \%$$

2i) Porcentaje de vacíos de los agregados (V.A.M)

$$V.A.M = \left(\frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Dens.briq.promedio}}{\text{peso específico de asfalto}} \right) + \% \text{ de vacíos (VM)}$$

$$V.A.M = \left(\frac{4,5 * 2,32 \text{ gr/cm}^3}{1,0160 \text{ gr/cm}^3} \right) + 11,58 \%$$

$$V.A.M=21,87 \%$$

3i) Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (R.B.V)

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

$$RBV = \left(\frac{21,87 \% - 11,58 \%}{21,87 \%} \right) * 100$$

$$RBV = 47,05 \%$$

j) Estabilidad y fluencia:

La estabilidad y fluencia se determina después de realizar el ensayo en la prensa Marshall.

Tabla N° 3.45 Estabilidad y fluencia

Lectura dial		
Identificación	Estabilidad (plg)	Fluencia 1/100
1	657	180
2	705,6	200
3	940	190

Fuente: Elaboración propia.

Se realiza con la corrección con la fórmula de calibración de la prensa Marshall:

$$Lectura_{dial\ Estabilidad} = 1750,95\ plg$$

$$Carga_{anillo\ MARSHALL} = 1750,95 * 0,905 = 1584,61\ libras$$

$$Factor_{corrección\ altura\ 1} = 0,905$$

$$Estabilidad = 1584,61\ libras * 0,905 = 1917,4\ libras$$

Resumen de la corrección de la fluencia:

Tabla N° 3.46 Resumen de la corrección de la fluencia

Identificación	Fluencia corregida 1/100
1	7,09
2	7,87
3	7,48

Fuente: Elaboración propia

$$Fluencia_{media} = \frac{7,09 + 7,87 + 7,48}{3}$$

$$Fluencia_{media} = 7,48\ plg.$$

Resultado de la práctica

El procedimiento detallado de cada uno de los cálculos y gráficas realizado para determinar el contenido óptimo del cemento asfáltico se verá registrado en el anexo 3.

Tabla N° 3.47 Parámetros realizados a las briquetas

N° de probeta	altura de probeta	% de Asfalto		Peso briqueta			Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos		
		base mezcla	base agregados	seco	sat. sup. seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla	V.A.M.(vacíos agregado	R.B.V. (relación
		%	%	gr.	gr.	gr.	cc	gr/cm³	gr/cm³	gr/cm³	%	%	%
1	6,77	4,50	95,50	1207,8	1208,8	677	531,9	2,27	2,32	2,55	8,97	19,31	53,56
2	6,50			1190,2	1192,6	688	504,4	2,36					
3	6,63			1199,0	1203,6	690	513,5	2,33					
4	6,35	5,00	95,00	1175,4	1176,5	674	502,6	2,34	2,34	2,53	7,67	19,23	60,14
5	6,23			1177,5	1177,9	673	504,5	2,33					
6	6,35			1176,9	1178,6	675	503,7	2,34					
7	6,25	5,50	94,50	1173,6	1175,1	678	497,1	2,36	2,37	2,51	5,43	18,36	70,42
8	6,22			1167,3	1170,2	679	491,2	2,38					
9	6,24			1167,3	1169,1	680	489,4	2,39					
10	6,74	6,00	94,00	1192,3	1220,4	696	524,5	2,27	2,32	2,49	6,87	20,65	66,74
11	6,75			1187,8	1207,9	699	509,0	2,33					
12	6,51			1185,5	1202,8	699	503,9	2,35					
13	6,39	6,50	93,50	1177,6	1177,8	689	488,8	2,41	2,37	2,47	3,93	19,21	79,54
14	6,48			1210,8	1211,0	696	515,0	2,35					
15	6,41			1198,8	1199,3	692	507,3	2,36					
16	6,46	7,00	93,00	1203,9	1204,1	697	507,5	2,37	2,36	2,45	3,95	20,28	80,51
17	6,49			1207,1	1207,9	699	508,7	2,37					
18	6,46			1211,6	1211,8	690	521,8	2,32					
ESPECIFICACIONES				Mínimo							3	13	75
				Máximo							5	-	82

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS DEL DISEÑO

4.1 Resultado del diseño de la mezcla asfáltica densa caliente convencional 85-100

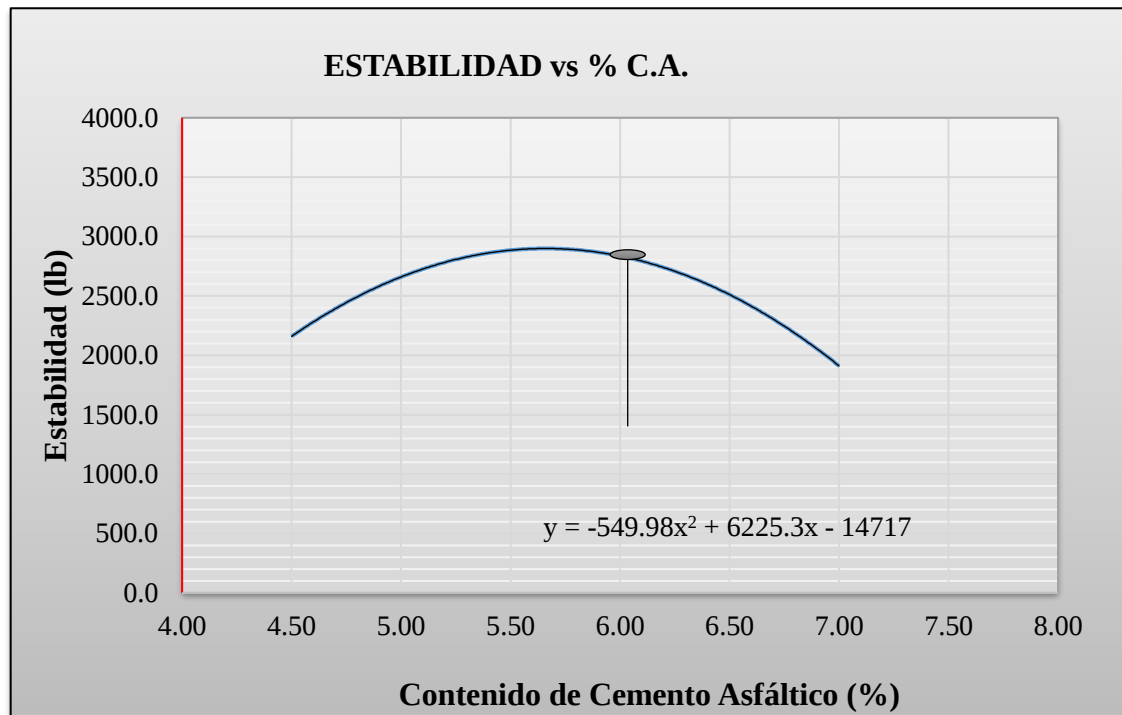
El procedimiento detallado de cada uno de los cálculos y gráficas realizado para determinar el contenido óptimo del cemento asfáltico se verá registrado en el anexo.

Tabla N° 4.1 Resultados del ensayo Marshall para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico

Contenido de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (plg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.b.v. (relación Betún vacíos) (%)	V.a.m. (vacíos de Agregado mineral) (%)
4,50	2,32	1917,35	7,48	8,97	53,56	19,31
5,00	2,34	2893,10	9,38	7,67	60,14	19,23
5,50	2,37	3376,43	10,50	5,43	70,42	18,36
6,00	2,32	2389,84	12,34	6,87	66,74	20,65
6,50	2,37	2209,88	15,13	3,93	79,54	19,21
7,00	2,36	2176,32	17,22	3,95	80,51	20,28
X	5,74	5,45	5,60	5,00	5,50	5,68
Y máx	2,36	1175,86	14,35	3,96	92,55	13,23

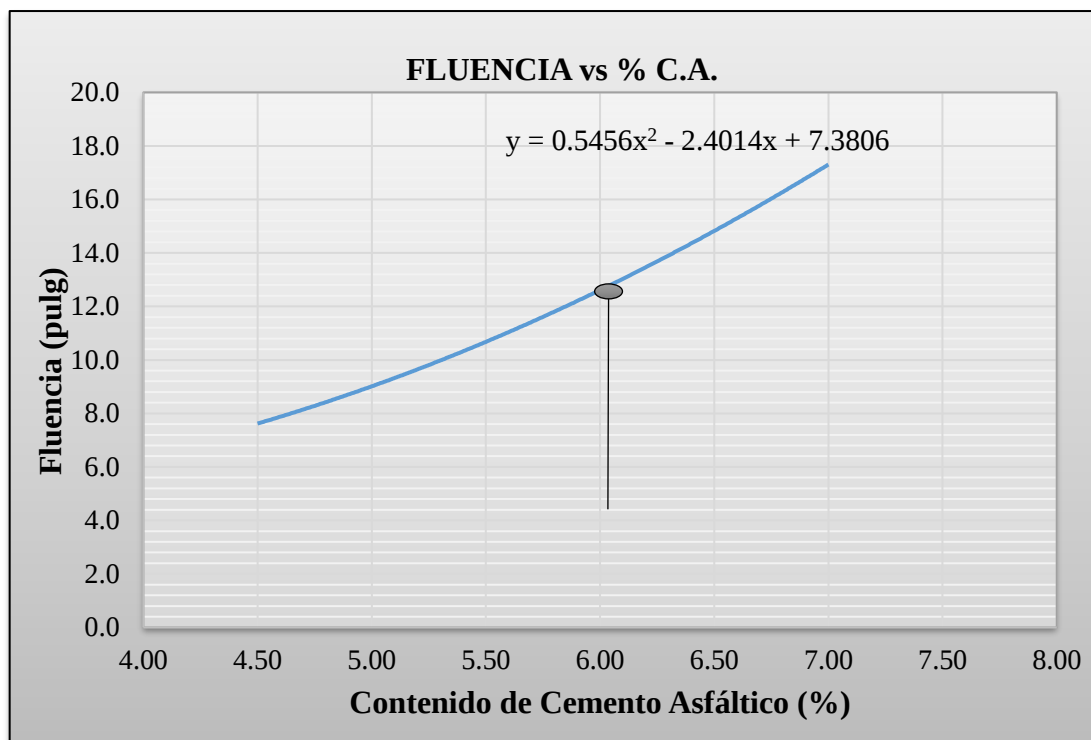
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1 Gráfica Estabilidad vs % Cemento asfáltico



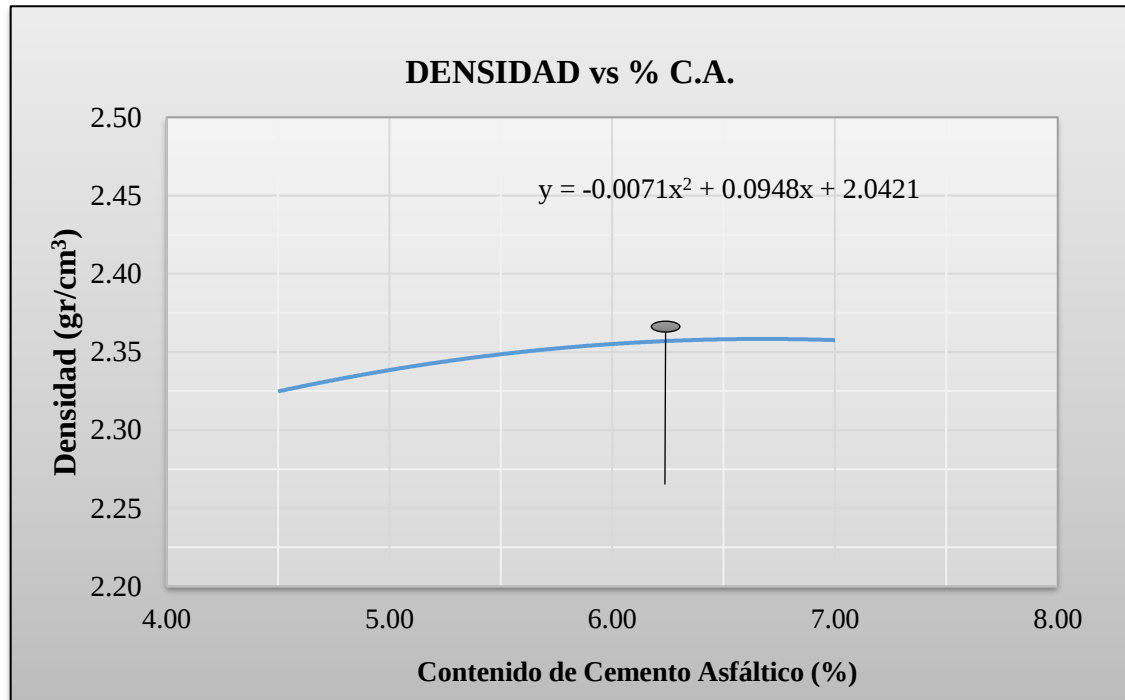
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Gráfica Fluencia vs % C.A.



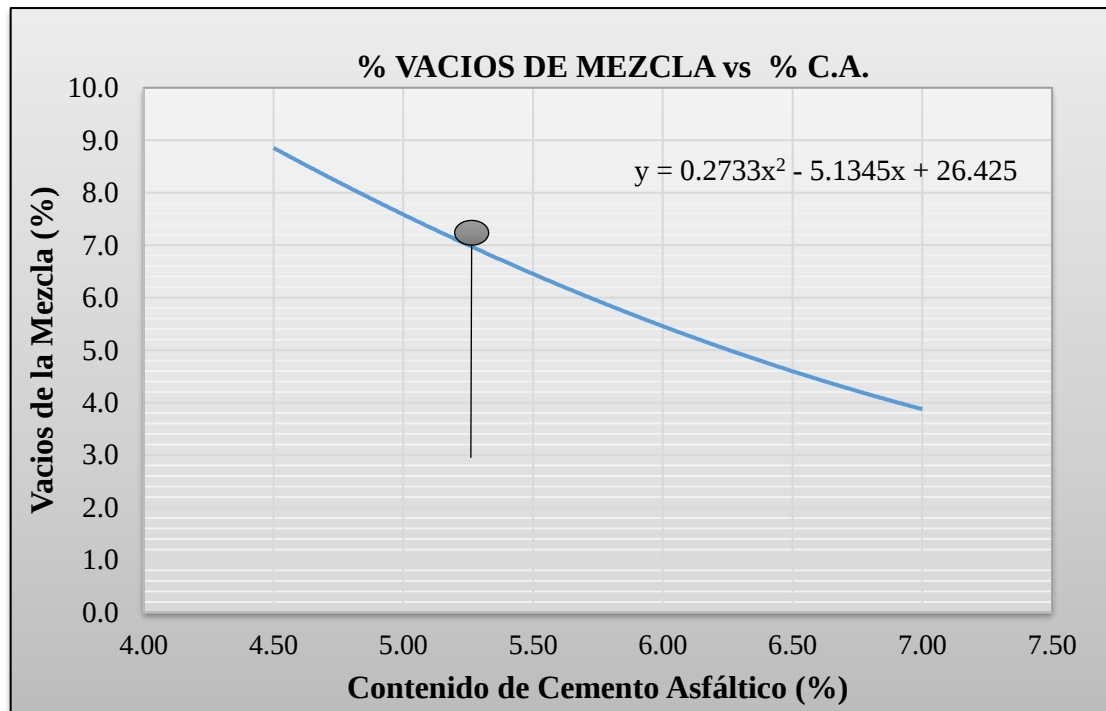
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.3 Gráfica Densidad vs C.A.



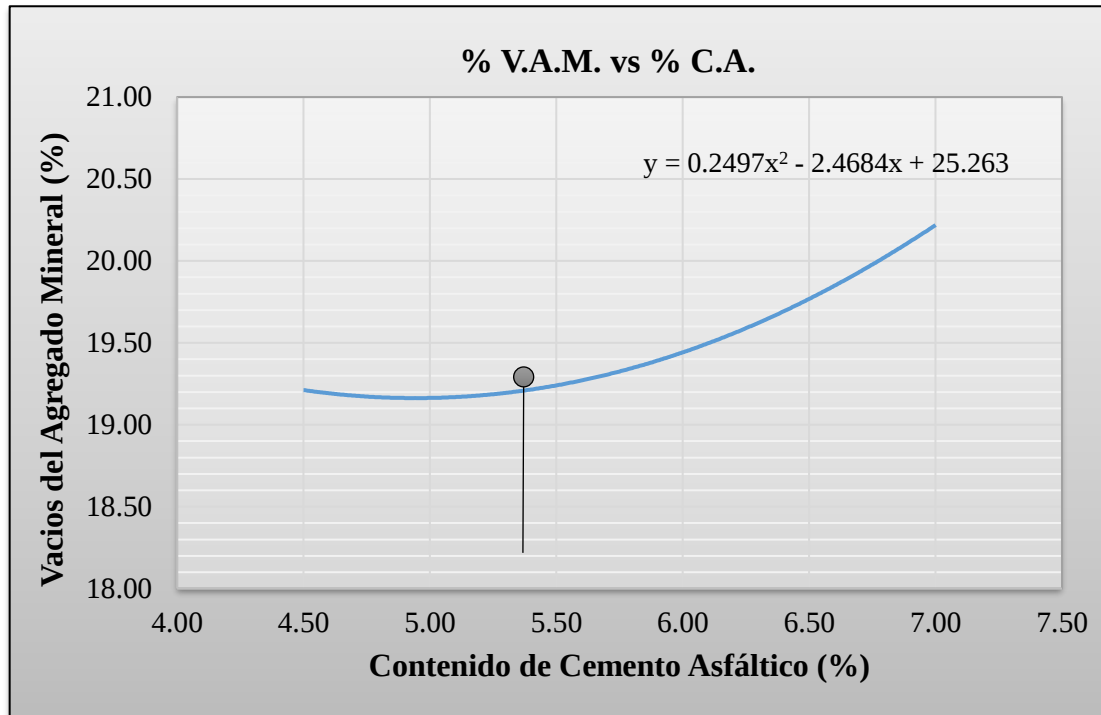
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4 Gráfica 1% de vacíos vs % de C.A.



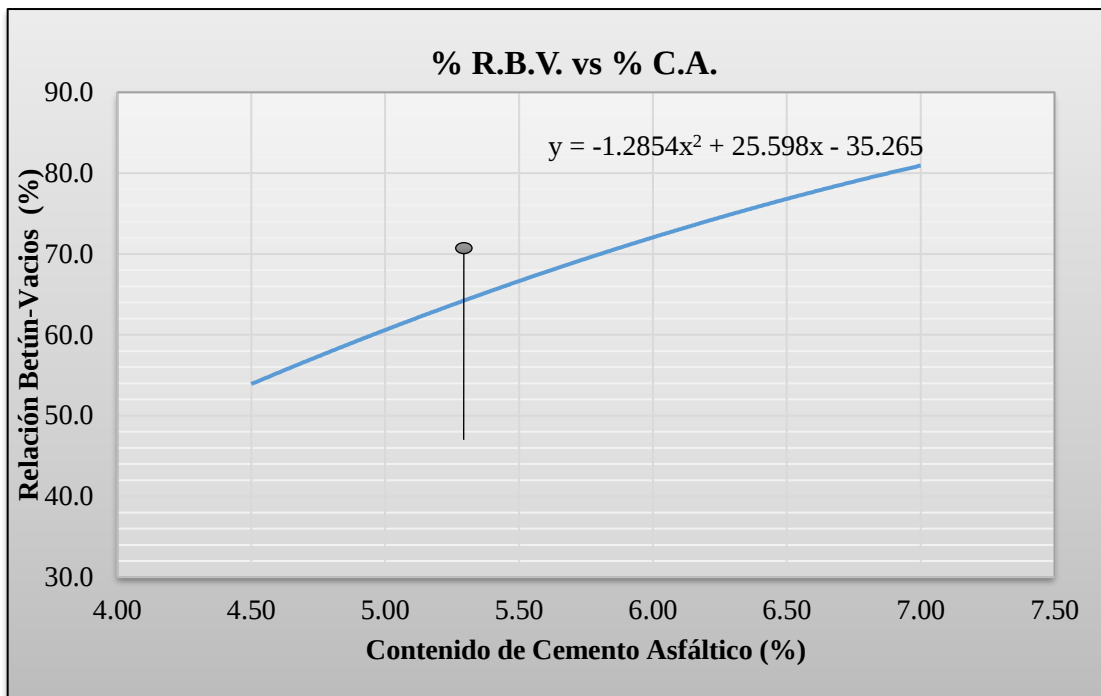
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5 Gráfica V.A.M vs C.A.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6 Gráfica R.B.V vs % de C.A.



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.2 Resultado de contenido óptimo de cemento asfaltico

Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	Ensayo	Valor de Diseño	% de C.A.
	Estabilidad Marshall (Lb)	1175,855	5,45
	Densidad máxima (gr/cm³)	2,363	5,74
	fluencia	14,353	5,60
	RBV	3,963	5,68
	VAM	92,546	5,50
	Vacíos de la mezcla (%)	5,000	3,96
	% Porcentaje óptimo de C.A.	Promedio =	5,32

Fuente: Elaboración propia

4.2 Elaboración de briquetas con el contenido óptimo de cemento asfaltico

Después de calcular el porcentaje optimo del cemento asfaltico que es igual a 5.32 % del total de la briqueta de 1200 gramos, procedemos a pesar las muestras para su respectiva comparación, en la siguiente tabla se muestra los pesos repartidos de manera homogénea para la realización de briquetas densas con cemento asfaltico 85-100, manteniendo la combinación de agregados de 20% grava 35% gravilla 40% arena y filler 5%.

Tabla N° 4.3 Datos de dosificación óptima.

Peso total de briqueta (gr)	1200		Porcentaje total de briqueta				100%
Ponderación de grava	0,2		Porcentaje total de cemento asfáltico				X %
Ponderación de gravilla	0,35		Porcentaje total del agregado				100 - X %
Ponderación de arena	0,4						
Filler natural %	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0	
Filler masilla plástica %	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Briquetas variando el porcentaje de filler natural por el filler de la masilla.

Se mantiene la dosificación de agregados con el porcentaje óptimo del ensayo Marshall el cual tendrá 5,32% de contenido de asfalto. Para este caso se procede a modificar el filler natural por el filler de la masilla plástica variando los porcentajes al adicionarlo tomando en cuenta que la modificación de la mezcla asfáltica es en base al remplazo del filler de la masilla.

4.4 Preparación de briquetas con el porcentaje óptimo de filler de la masilla plástica

Después de calcular el porcentaje optimo del cemento asfáltico que es igual a 5,32% y porcentaje óptimo de filler que es igual a 3% del total de la briketa de 1200 gramos se procede a pesar las muestras para su respectiva comparación, en la siguiente tabla se muestran los pesos repartidos de manera homogénea para realizar briquetas modificadas con el filler de masilla y el cemento asfáltico 85-100 manteniendo la combinación de grava, gravilla, arena y filler.

Tabla N° 4.4 Dosificación con el porcentaje óptimo de filler de masilla plástica.

Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla	5,32%	5,32%	5,32%	5,32%	5,32%	5,32%
Porcentaje de agregado (%)	94,7%	94,7%	94,7%	94,7%	94,7%	94,7%
Porcentaje de filler (%)	0-5	1-4	2-3	3-2	4-1	5-0
Peso del cemento asfáltico	63,84	63,84	63,84	63,84	63,84	63,84
Peso de grava (gr)	227,23	227,23	227,23	227,23	227,23	227,23
Peso de gravilla (gr)	397,66	397,66	397,66	397,66	397,66	397,66
Peso de arena (gr)	454,46	454,46	454,46	454,46	454,46	454,46
Filler natural (gr)	56,81	45,45	34,08	22,72	11,36	0,00
Filler masilla plástica (gr)	0,00	11,36	22,72	34,08	45,45	56,81
Peso total de la briketa (gr)	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0	1200,0

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.5 Datos para briquetas con el óptimo filler combinado

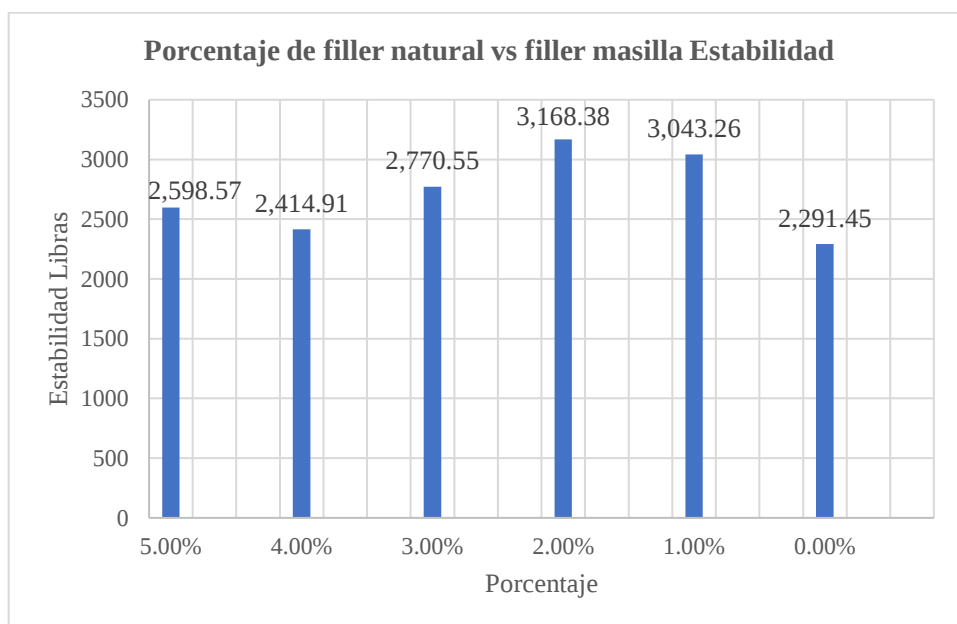
Estabilidad Marshall					Fluencia	
Lectura del dial	Carga	Factor de corrección de altura de probeta	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Lectura dial del flujo	Fluencia promedio
mm	libras	-	libras	libras	-	0,01 plg
1108	2965,40	0,910	2698,52	2599	11	10,00
979	2618,03	0,965	2526,40		10	
1025	2741,90	0,938	2570,80		9	
1079	2887,31	1,011	2919,07	2415	12	11,67

661	1761,72	1,013	1784,62		13	
931	2488,78	1,021	2541,04		10	
1109	2968,09	1,019	3024,49	2771	14	12,33
1071	2865,77	1,035	2966,07		12	
842	2249,12	1,032	2321,09		11	
1252	3353,16	0,913	3059,76	3168	10	12,67
1300	3482,42	0,934	3251,88		14	
1220	3266,99	0,978	3193,49		14	
1250	3347,78	1,011	3384,60	3043	13	14,00
1127	3016,56	0,975	2941,15		14	
1100	2943,86	0,953	2804,03		15	
698	1861,35	0,945	1758,98	2291	16	16,33
1067	2855,00	0,980	2797,90		16	
894	2389,14	0,970	2317,47		17	
				750		8
				-		16

Fuente: Elaboración propia.

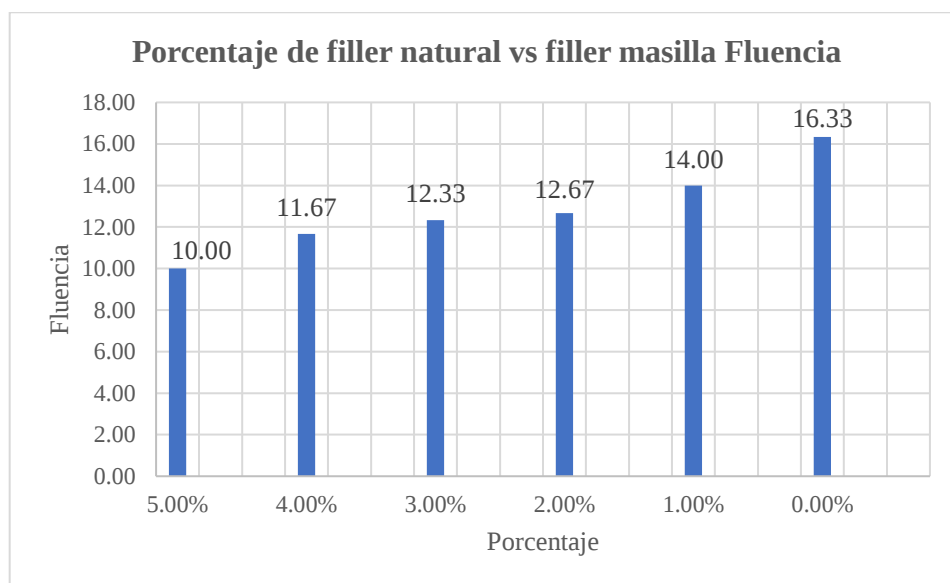
4.4.1 Curvas método Marshall

Figura 4.7 Gráfica Porcentaje de filler natural vs filler masilla plástica Estabilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.8 Gráfica Porcentaje de filler natural vs filler masilla plástica Fluencia



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 4.6 Promedios de los resultados

Contenido de cemento asfáltico	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (plg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.b.v. (relación betún Vacíos) (%)	V.a.m. (vacíos de agregado mineral) (%)
5,3	2,30	2598,57	10,00	8,51	58,77	20,64
5,3	2,31	2414,91	11,67	8,33	59,34	20,49
5,3	2,29	2770,55	12,33	9,02	57,23	21,08
5,3	2,31	3168,38	12,67	8,19	59,79	20,36
5,3	2,27	3043,26	14,00	9,71	55,23	21,68
5,3	2,22	2291,45	16,33	11,91	49,51	23,59
X	5,74	5,45	1,25	5,92	1,47	1,26
Y máx	2,48	2,35	5,20	4,00	9,60	26,24

Fuente: Elaboración propia

4.4.2 Dosificación para validación de hipótesis

Tabla N° 4.7 Dosificación validación de hipótesis

Peso total de briqueta (gr)	1200						
Ponderación de grava	0,2						
Ponderación de gravilla	0,35						
Ponderación de arena	0,4						
Filler natural	0,02						
Filler masilla plástica	0,03						
		Porcentaje de cemento asfáltico en la mezcla					
		5,65%	5,60%	5,55%	5,50%	5,45%	5,40%
Porcentaje de agregado (%)		94,35%	94,40%	94,45%	94,50%	94,55%	94,60%
Peso del cemento asfáltico (gr)		67,80	67,20	66,60	66,00	65,40	64,80
Peso de grava (gr)		226,44	226,56	226,68	226,80	226,92	227,04
Peso de gravilla (gr)		396,27	396,48	396,69	396,90	397,11	397,32
Peso de arena (gr)		452,88	453,12	453,36	453,60	453,84	454,08
Filler natural (gr)		22,64	22,66	22,67	22,68	22,69	22,70
Filler masilla plástica (gr)		33,97	33,98	34,00	34,02	34,04	34,06
Peso total de la briqueta (gr)		1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00	1200,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.8 Dosificación con filler

N° de probeta	% Filler		Altura de probeta	% de Asfalto		Peso briqueta			Estabilidad	Fluencia
	% De filler natural	% filler de masilla plástica		base mezcla	Base agregados	seco	sat. sup. seca	sumergida en agua	lectura del dial	lectura dial del flujo
	%	%		%	%	gr.	gr.	gr.	kN	mm
1	1,19	3,83	6,73	5,65	5,99	1180,0	1183,8	652,0	2755,36	12,00
2	1,19	3,83	6,70	5,65	5,99	1173,0	1174,2	635,0	2728,43	13,00
3	1,19	3,83	6,74	5,65	5,99	1182,4	1188,0	642,0	2717,66	11,00
4	1,19	3,83	6,72	5,65	5,99	1089,2	1106,3	625,0	2674,58	12,00
5	1,19	3,83	6,86	5,65	5,99	1165,4	1165,6	630,0	2620,72	11,00
6	1,19	3,83	6,78	5,60	5,93	1157,6	1119,5	600,0	2585,72	11,00
7	1,19	3,83	6,79	5,60	5,93	1149,8	1136,6	610,0	2445,69	13,00
8	1,19	3,83	6,78	5,60	5,93	1152,1	1134,9	600,0	2432,23	14,00
9	1,19	3,83	6,65	5,60	5,93	1157,9	1163,0	627,0	2405,30	15,00
10	1,19	3,83	6,52	5,60	5,93	1140,4	1146,0	622,0	2405,30	13,00
11	1,19	3,83	6,53	5,55	5,88	1154,0	1125,3	625,0	2405,30	12,00
12	1,19	3,83	6,49	5,55	5,88	1117,3	1160,2	650,0	2383,76	11,00
13	1,19	3,83	6,57	5,55	5,88	1160,3	1163,2	635,0	2378,37	12,00
14	1,19	3,83	6,52	5,55	5,88	1158,9	1159,7	650,0	2378,37	13,00
15	1,19	3,83	6,53	5,55	5,88	1160,2	1165,8	645,0	2370,29	12,00
16	1,19	3,83	6,67	5,50	5,82	1150,4	1169,4	615,0	2329,90	13,00
17	1,19	3,83	6,65	5,50	5,82	1154,9	1163,6	610,0	2284,12	12,00
18	1,19	3,83	6,76	5,50	5,82	1149,8	1156,1	630,0	2257,19	12,00
19	1,19	3,83	6,67	5,50	5,82	1147,3	1153,9	645,0	2227,57	11,00
20	1,19	3,83	6,51	5,45	5,76	1170,1	1168,3	660,0	2136,02	12,00
21	1,19	3,83	6,53	5,45	5,76	1167,4	1171,4	615,0	2109,09	13,00
22	1,19	3,83	6,53	5,45	5,76	1150,7	1162,9	625,0	2109,09	13,00
23	1,19	3,83	6,50	5,45	5,76	1148,7	1154,7	640,0	1920,59	11,00
24	1,19	3,83	6,51	5,45	5,76	1161,9	1168,1	660,0	1920,59	13,00

25	1,19	3,83	6,61	5,40	5,71	1157,7	1164,9	630,0	1920,59	11,00
26	1,19	3,83	6,61	5,40	5,71	1165,2	1170,5	655,0	1866,74	13,00
27	1,19	3,83	6,70	5,40	5,71	1158,0	1168,5	630,0	1839,81	11,00
28	1,19	3,83	6,76	5,40	5,71	1149,7	1157,3	635,0	1785,95	12,00
29	1,19	3,83	6,74	5,40	5,71	1158,0	1164,9	650,0	1732,10	11,00
30	1,19	3,83	6,68	5,40	5,71	1167,0	1171,1	620,0	1559,76	12,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.9 Resultados de estabilidad fluencia Marshall óptimo de filler variado

N° de probeta	altura de probeta	% de asfalto		Peso briqueta			Volumen	Densidad briqueta			% de vacíos		
		base mezcla	base agregados	seco	sat. sup. seca	sumergida en agua	probeta	densidad real	Densidad promedio	densidad máxima teórica	% de vacíos mezcla total	V.A.M.(vacíos agregado mineral)	R.B.V. (relación betumen vacíos)
		%	%	gr.	gr.	gr.	cc	gr/cm³	gr/cm³	gr/cm³	%	%	%
1	6,73	5,65	5,99	1180,0	1183,8	652,0	531,8	2,22	2,19	2,39	7,33	19,74	62,88
2	6,70	5,65	5,99	1173,0	1174,2	635,0	539,2	2,18		2,39	9,14	21,31	57,11
3	6,74	5,65	5,99	1182,4	1188,0	642,0	546,0	2,17		2,39	9,55	21,67	55,91
4	6,72	5,65	5,99	1089,2	1106,3	625,0	481,3	2,26	2,22	2,39	5,48	18,14	69,78
5	6,86	5,65	5,99	1165,4	1165,6	630,0	535,6	2,18		2,39	9,12	21,30	57,16
6	6,78	5,60	5,93	1157,6	1119,5	600,0	519,5	2,23		2,40	7,00	19,36	63,83
7	6,79	5,60	5,93	1149,8	1136,6	610,0	526,6	2,18	2,17	2,40	8,87	20,98	57,70
8	6,78	5,60	5,93	1152,1	1134,9	600,0	534,9	2,15		2,40	10,11	22,05	54,16
9	6,65	5,60	5,93	1157,9	1163,0	627,0	536,0	2,16		2,40	9,84	21,82	54,90
10	6,52	5,60	5,93	1140,4	1146,0	622,0	524,0	2,18	2,22	2,40	9,17	21,24	56,82
11	6,53	5,55	5,88	1154,0	1125,3	625,0	500,3	2,31		2,40	3,80	16,48	76,92
12	6,49	5,55	5,88	1117,3	1160,2	650,0	510,2	2,19		2,40	8,67	20,70	58,13
13	6,57	5,55	5,88	1160,3	1163,2	635,0	528,2	2,20	2,23	2,40	8,39	20,46	59,01
14	6,52	5,55	5,88	1158,9	1159,7	650,0	509,7	2,27		2,40	5,18	17,67	70,71
15	6,53	5,55	5,88	1160,2	1165,8	645,0	520,8	2,23		2,40	7,09	19,33	63,31
16	6,67	5,50	5,82	1150,4	1169,4	615,0	554,4	2,08	2,12	2,40	13,52	24,82	45,52
17	6,65	5,50	5,82	1154,9	1163,6	610,0	553,6	2,09		2,40	13,06	24,42	46,52
18	6,76	5,50	5,82	1149,8	1156,1	630,0	526,1	2,19		2,40	8,92	20,82	57,16
19	6,67	5,50	5,82	1147,3	1153,9	645	508,9	2,25	2,22	2,40	6,05	18,32	67,00
20	6,51	5,45	5,76	1170,1	1168,3	660	508,3	2,30		2,40	4,14	16,56	75,02
21	6,53	5,45	5,76	1167,4	1171,4	615	556,4	2,10		2,40	12,62	23,95	47,28
22	6,53	5,45	5,76	1150,7	1162,9	625	537,9	2,14	2,22	2,40	10,91	22,46	51,40
23	6,50	5,45	5,76	1148,7	1154,7	640	514,7	2,23		2,40	7,06	19,10	63,05

24	6,51	5,45	5,76	1161,9	1168,1	660	508,1	2,29		2,40	4,77	17,11	72,12
25	6,61	5,40	5,71	1157,7	1164,9	630	534,9	2,16		2,40	9,93	21,51	53,81
26	6,61	5,40	5,71	1165,2	1170,5	655	515,5	2,26	2,19	2,40	5,94	18,02	67,05
27	6,70	5,40	5,71	1158,0	1168,5	630	538,5	2,15		2,40	10,51	22,01	52,24
28	6,76	5,40	5,71	1149,7	1157,3	635	522,3	2,20		2,40	8,40	20,17	58,36
29	6,74	5,40	5,71	1158,0	1164,9	650	514,9	2,25	2,19	2,40	6,41	18,44	65,22
30	6,68	5,40	5,71	1167,0	1171,1	620	551,1	2,12		2,40	11,88	23,20	48,80
Especificaciones				Mínimo							3	13	
				Máximo							5	-	82

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 4.10 Resultado estabilidad y fluencia

Lectura del dial	Estabilidad				Fluencia	
	carga	Factor de corrección de	Estabilidad real corregida	Estabilidad promedio	Fluencia real	Fluencia promedio
kN	libras	-	libras	libras	0.01 plg	0,01 plg
1030,00	2755	0,915	2521,157	2506	11	11,000
1020,00	2728	0,923	2516,981		11	
1016,00	2718	0,913	2479,868		11	
1000,00	2675	0,918	2453,926	2368	11	11,000
980,00	2621	0,884	2317,767		11	
967,00	2586	0,903	2333,609		11	
915,00	2446	0,900	2201,122	2214	11	11,000
910,00	2432	0,903	2195,085		11	
900,00	2405	0,934	2246,068		11	
900,00	2405	0,958	2304,517	2302	12	12,000
900,00	2405	0,956	2300,187		12	
892,00	2384	0,965	2300,325		12	
890,00	2378	0,949	2256,598	2267	12	12,000
890,00	2378	0,958	2278,717		12	
887,00	2370	0,956	2266,711		12	
872,00	2330	0,930	2166,807	2116	12	12,000
855,00	2284	0,934	2132,914		12	

845,00	2257	0,908	2048,404		12	
834,00	2228	0,930	2071,644	2046	12	12,667
800,00	2136	0,960	2050,578		13	
790,00	2109	0,956	2016,923		13	
790,00	2109	0,956	2557,7	2521	13	13,000
720,00	1921	0,963	2522,446		13	
720,00	1921	0,960	2482,288		13	
720,00	1921	0,941	2302,129	2270	13	13,000
700,00	1867	0,941	2289,455		13	
690,00	1840	0,923	2218,888		13	
670,00	1786	0,908	2182,809	2196	13	14,000
650,00	1732	0,913	2194,835		14	
586,00	1560	0,928	2210,934		15	
				750		8
				-		16

Fuente: Elaboración propia

4.5 Tratamiento estadístico de los resultados

Teniendo los resultados de las propiedades mecánicas provenientes del ensayo Marshall, variando los porcentajes del remplazo del filler natural por el filler de la masilla plástica se procede a analizar el comportamiento estadístico de los mismos.

Tabla N° 4.11 Estadística de los resultados

Briqueta	Densidad promedio (gr/cm ³)	Estabilidad (libra)	Fluencia (plg)	% de vacíos de mezcla total (%)	R.b.v. (relación betún vacíos) (%)	V.a.m. (vacíos de agregado)
1	2,22	2755,36	11,00	7,33	62,88	19,74
2	2,18	2728,43	11,00	9,14	57,11	21,31
3	2,17	2717,66	11,00	9,55	55,91	21,67
4	2,26	2674,58	11,00	5,48	69,78	18,14
5	2,18	2620,72	11,00	9,12	57,16	21,30
6	2,23	2585,72	11,00	7,00	63,83	19,36
7	2,18	2445,69	11,00	8,87	57,70	20,98

8	2,15	2432,23	11,00	10,11	54,16	22,05
9	2,16	2405,30	11,00	9,84	54,90	21,82
10	2,18	2405,30	12,00	9,17	56,82	21,24
11	2,31	2405,30	12,00	3,80	76,92	16,48
12	2,19	2383,76	12,00	8,67	58,13	20,70
13	2,20	2378,37	12,00	8,39	59,01	20,46
14	2,27	2378,37	12,00	5,18	70,71	17,67
15	2,23	2370,29	12,00	7,09	63,31	19,33
16	2,08	2329,90	12,00	13,52	45,52	24,82
17	2,09	2284,12	12,00	13,06	46,52	24,42
18	2,19	2257,19	12,00	8,92	57,16	20,82
19	2,25	2227,57	12,00	6,05	67,00	18,32
20	2,30	2136,02	13,00	4,14	75,02	16,56
21	2,10	2109,09	13,00	12,62	47,28	23,95
22	2,14	2109,09	13,00	10,91	51,40	22,46
23	2,23	1920,59	13,00	7,06	63,05	19,10
24	2,29	1920,59	13,00	4,77	72,12	17,11
25	2,16	1920,59	13,00	9,93	53,81	21,51
26	2,26	1866,74	13,00	5,94	67,05	18,02
27	2,15	1839,81	13,00	10,51	52,24	22,01
28	2,20	1785,95	13,00	8,40	58,36	20,17
29	2,25	1732,10	14,00	6,41	65,22	18,44
30	2,12	1559,76	15,00	11,88	48,80	23,20
Error probable	0,06	321,79	1,02	2,58	8,32	2,24
Valor máximo	2,31	2755,36	15,00	13,52	76,92	24,82
Valor mínimo	2,20	1559,76	11,00	3,80	45,52	16,48
Media	2,13	2193,81	11,81	8,24	57,97	19,85

Fuente: Elaboración propia

4.6 Análisis del tratamiento estadístico de los resultados

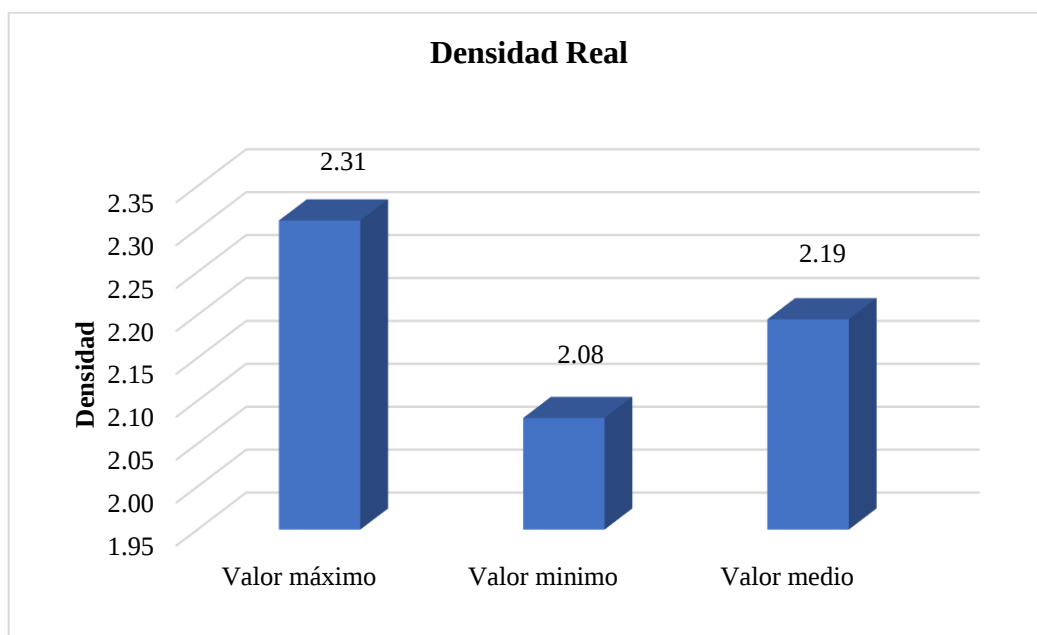
Como los resultados son muy próximos entre la media y los calculados, además teniendo en cuenta que si tiene treinta datos para el porcentaje óptimo se asumirá la media aritmética para continuar con el control y la evaluación de los resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

Tabla N° 4.12 Tratamiento estadístico

Propiedades Mecánicas						
Descripción	Densidad promedio	Estabilidad (Libra)	Fluencia (Plg)	% De vacíos de mezcla total (%)	R.B.V. (Relación betún vacíos) (%)	V.A.M. (Vacíos de agregado mineral)
	2,20	2193,81	11,81	8,24	57,97	19,85

Fuente: Elaboración propia

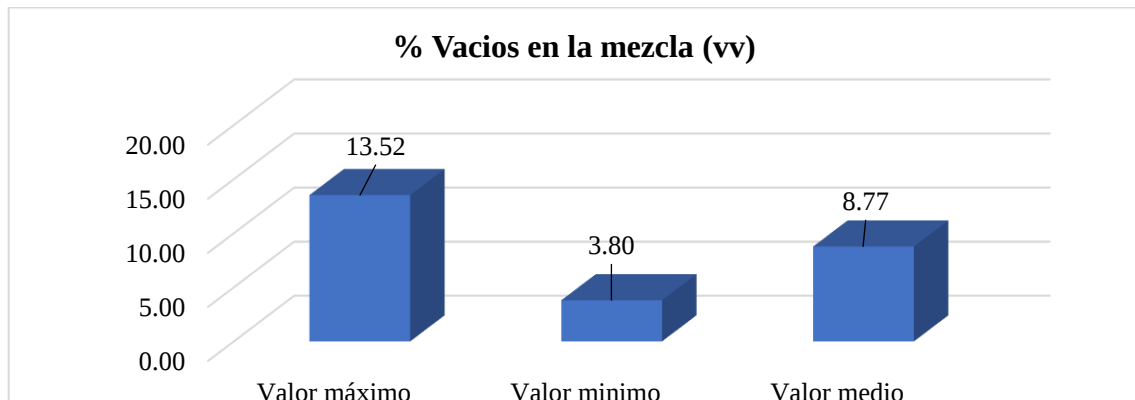
Figura 4.9 Gráfica Densidad real



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la gráfica se puede observar que la densidad de la mezcla asfáltica con contenido óptimo de filler 2,31 % de la masilla plástica se encuentra dentro de los valores aceptados.

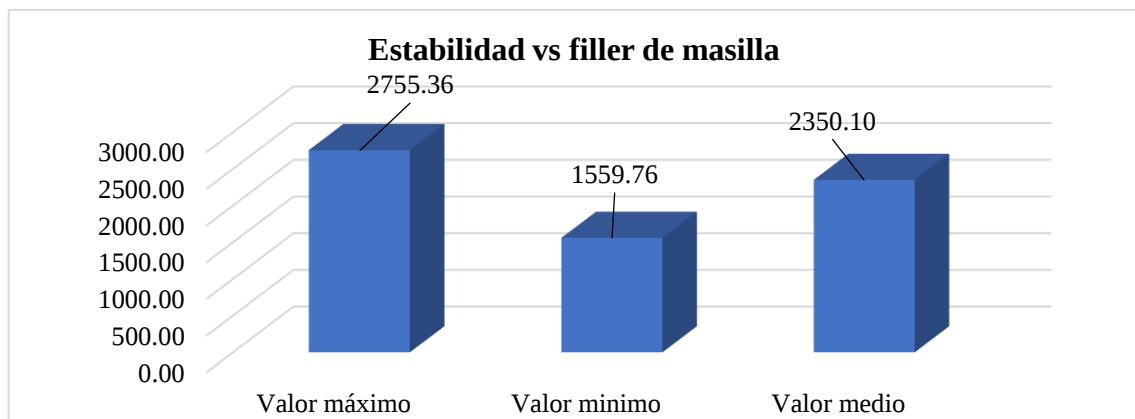
Figura 4.10 Gráfica % de vacíos en mezcla porcentaje de remplazo óptimo de la masilla plástica



Fuente: Elaboración propia

La gráfica presenta los porcentajes de vacíos en la mezcla, destacando un valor máximo de 13,52%, un valor mínimo de 3,80% y un promedio de 8,77%. Se aprecia una diferencia considerable entre el máximo y el mínimo, lo que refleja variaciones en la composición o en el proceso de elaboración de las mezclas analizadas. El valor medio, que se ubica más cerca del máximo, indica que en la mayoría de los casos los vacíos tienden a situarse en niveles relativamente altos. A pesar de estas diferencias, el promedio obtenido podría considerarse dentro de un rango adecuado, ya que no se encuentra en los extremos y podría representar un equilibrio aceptable entre las muestras estudiadas.

Figura 4.11 Gráfica Estabilidad vs filler de masilla

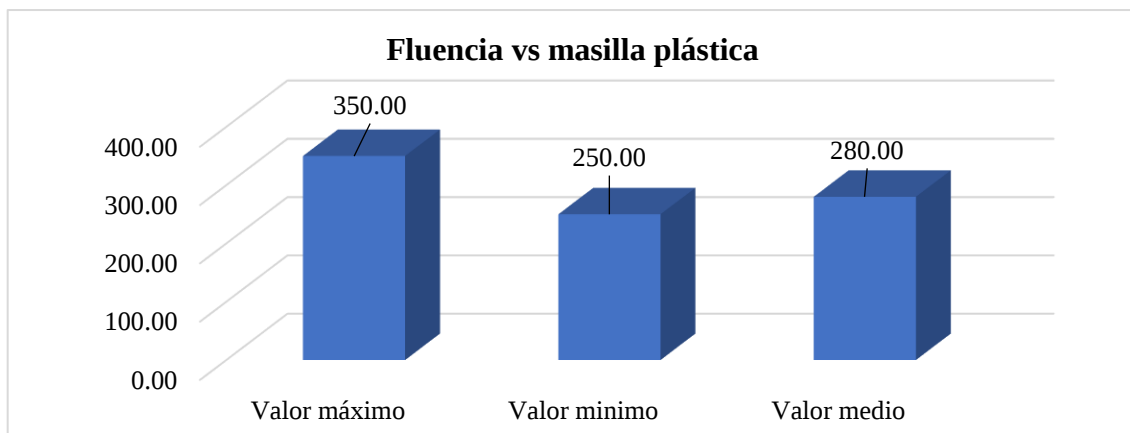


Fuente: Elaboración propia

La gráfica muestra la relación entre la estabilidad y el uso de filler de masilla, donde el valor máximo alcanza 2755,36, el mínimo es 1559,76 y el promedio 2350,10. Se observa que la diferencia entre el valor más alto y el más bajo no es tan amplia, lo que indica que

los resultados son relativamente consistentes. El valor medio se ubica en una posición intermedia cercana al máximo, lo que sugiere que, en la mayoría de los casos, la estabilidad lograda con el filler tiende a ser alta, manteniéndose dentro de un rango que podría considerarse adecuado y uniforme.

Figura 4.12 Gráfica Fluencia vs masilla plástica



Fuente: Elaboración propia

La gráfica representa los valores de fluencia, mostrando un máximo de 350,00, un mínimo de 250,00 y un promedio de 280,00. Se aprecia una diferencia moderada entre el valor más alto y el más bajo, lo que indica que las mediciones presentan cierta variación, aunque no extrema. El promedio se sitúa más cerca del valor mínimo, lo que sugiere que la mayoría de los datos tienden a concentrarse en rangos intermedios-bajos, manteniendo un comportamiento relativamente estable dentro de los resultados obtenidos.

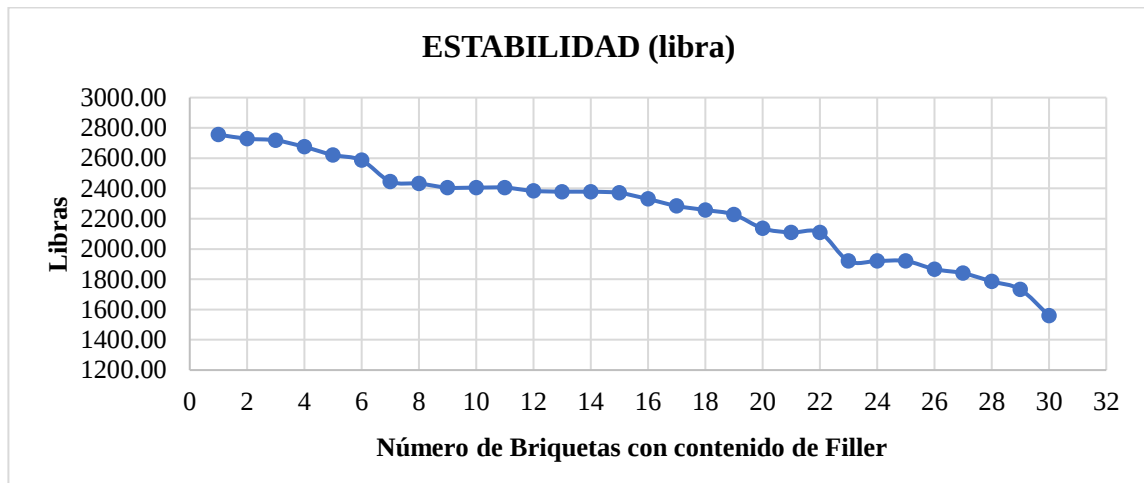
4.7 Evaluación de las propiedades de las mezclas asfálticas con el contenido óptimo de filler de masilla plástica.

Para cada porcentaje óptimo se tomarán los resultados de cada propiedad con los que se trabajó en la investigación, teniendo en cuenta que los porcentajes óptimos de reemplazo del filler natural por el filler de la masilla son 2% - 3% correspondiente, con la finalidad de evaluar y analizar los resultados obtenidos y su efecto que produce al remplazarse del filler de la masilla plástica dentro de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.

El análisis se lo realiza a partir de la muestra sin porcentajes de filler reemplazante, teniendo en cuenta que ambas mezclas asfálticas tienen el mismo porcentaje de asfalto y agregados además se evalúa de acuerdo a las normas establecidas.

4.7.1 Análisis de estabilidad con contenido asfáltico

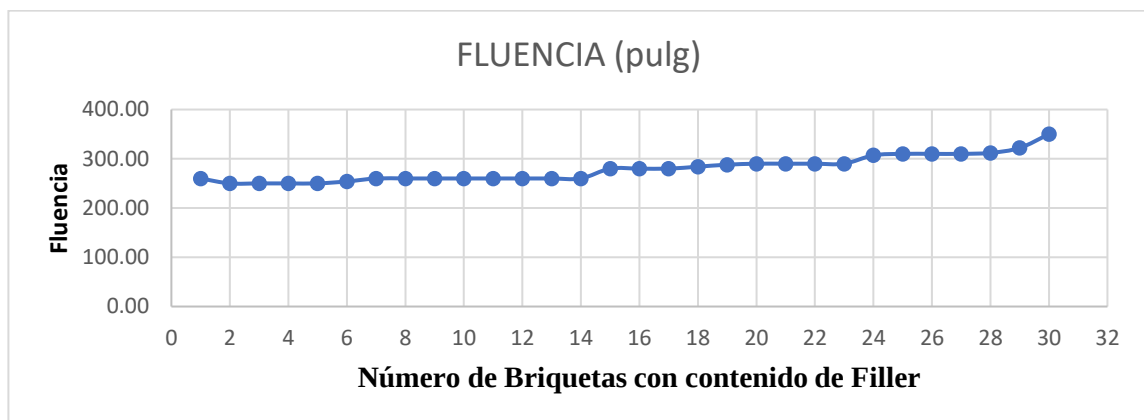
Figura 4.13 Gráfica Análisis de estabilidad



Fuente: Elaboración propia

En el grafico se observa como la estabilidad tiene una pendiente descendente al reducir la cantidad de cemento asfáltico.

Figura 4.14 Gráfica Análisis de fluencia con contenido de Filler



Fuente: Elaboración propia

En el grafico se observa que la fluencia crece con una pendiente ascendente al tener mayor contenido de cemento asfáltico. Este análisis nos demuestra que la estabilidad y la fluencia trabajan inversamente de acuerdo la cantidad de cemento asfáltico en la mezcla asfáltica densa caliente. Pudiendo determinar las cantidades mínimas de contenido de cemento asfáltico las cuales están en los rangos de 5.4 a 5.45 los cuales cumplen con las especificaciones mínimas normalizadas para mezclas asfálticas densas caliente oscilando con valores de 1900 – 2300 libras en estabilidad y 310 a 350 mm en fluencia.

4.8 Análisis técnico comparativo

Tabla N° 4.13 Análisis técnico comparativo

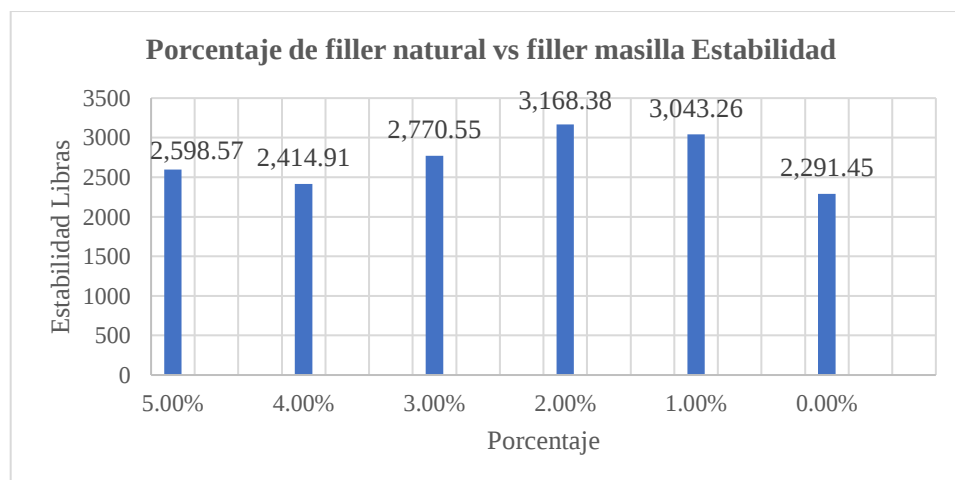
Ensayo	Mezcla asfáltica convencional con filler natural	Mezcla asfáltica convencional con filler de masilla plástica	Especificaciones	
			Min.	Max.
Estabilidad Marshall (lb)	1175,86	3168,38	750	-
Fluencia (plg)	14,38	12,67	8	16

Fuente: Elaboración propia

Realizando una comparación entre la mezcla asfáltica convencional con filler natural y la mezcla con filler de masilla plástica, se observa que la estabilidad mejora notablemente con la incorporación de este nuevo material, incrementando su resistencia ante cargas aplicadas de forma inmediata. En cuanto a la fluencia, esta disminuye levemente, pero se mantiene dentro del rango permitido por la normativa (mínimo 8 plg y máximo 16 plg), lo cual indica que la mezcla conserva su capacidad de deformarse sin agrietarse. Desde el punto de vista económico, la mezcla con filler natural representa un menor costo inicial, mientras que la mezcla con masilla plástica implica una mayor inversión. Sin embargo, esta última proporciona un pavimento de mayor resistencia, ideal para zonas con tráfico pesado, calles urbanas o vías que requieren mayor durabilidad.

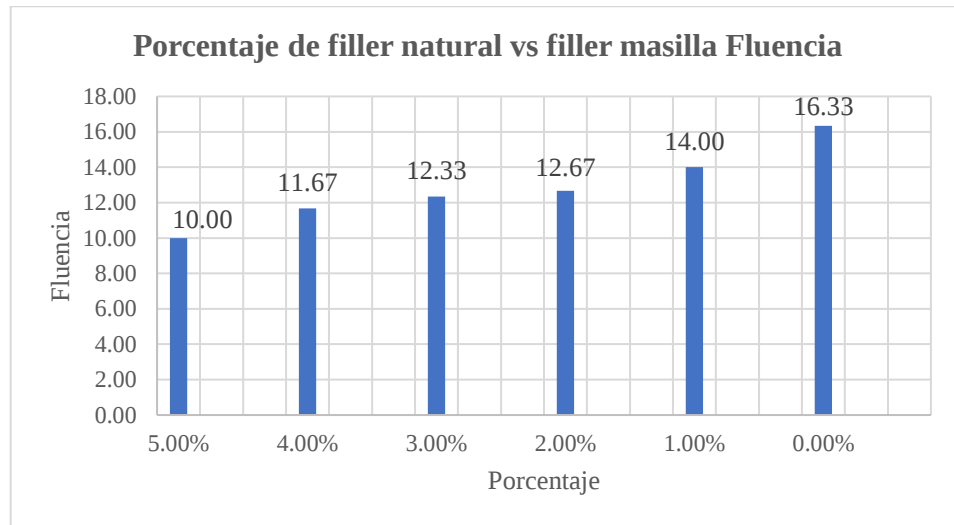
4.9 Estadística inferencial

Figura 4.15 Gráfica Histograma estabilidad



Fuente: Elaboración propia

Figura 4.16 Gráfica Histograma fluencia

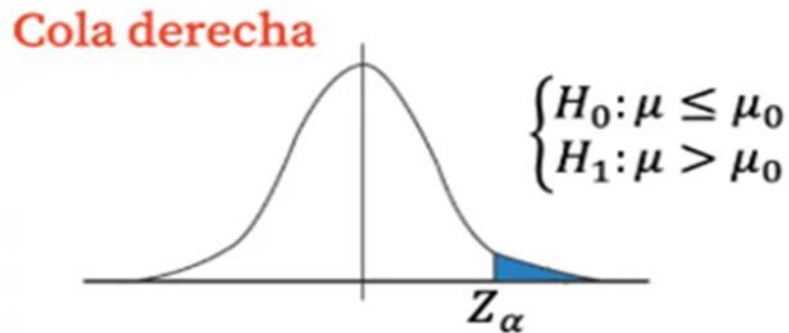


Fuente: Elaboración propia.

4.10 Prueba de hipótesis

Campana de Gauss cola a la derecha se refiere a una distribución normal que presenta una asimetría positiva. Esto significa que la cola derecha de la distribución es más larga o más gruesa que la cola izquierda.

Figura 4.17 Gráfica Prueba de hipótesis con cola derecha.



Fuente: Elaboración propia.

$$H_0: \mu \leq \mu_0$$

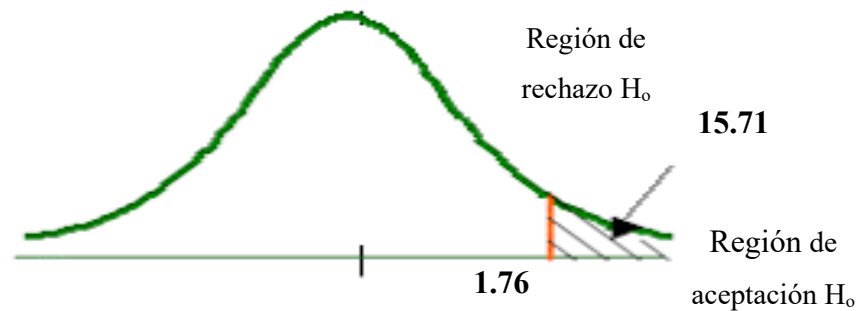
$$H_1: \mu > \mu_0$$

Dónde:

H_0 = Hipótesis nula

H_1 = Hipótesis alternativa

Figura 4.18 Gráfica Regiones de aceptación y rechazo para la estabilidad.



Fuente: Elaboración Propia.

Comprobación de la hipótesis

$$t > t(1-\alpha)$$

$$-1.21 > 2.033$$

Estadístico de prueba Valor Critico

Se acepta la hipótesis de investigación.

4.11 Presupuesto de mezclas asfálticas con filler natural y filler de masilla plástica.

Tabla N° 4.14 Peso de mezcla asfáltica para un centimetro cúbico

Descripción	%	Peso (gr)	Peso específico (gr/m³)	Volumen (cm³)
Peso del cemento asfáltico (gr)	0,06	131,54	1016	0,13
Peso de grava (gr)	0,38	870,45	2520	0,35
Peso de gravilla (gr)	0,23	544,03	2500	0,22
Peso de arena (gr)	0,28	652,84	2480	0,26
Filler natural (gr)	0,01	25,90	2580	0,01
Filler de masilla plástica (gr)	0,04	82,91	2400	0,03
Peso total de la briqueta (gr)	1,00	2307,67	2307,67	1,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4.15 Costo de mezcla convencional

1. MATERIALES					
N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	Cemento asfaltico 85-100	kg	133,4	10,42	1390,03
2	Grava 3/4	m³	0,33	150,00	49,50
3	Grava 3/8	m³	0,21	160,00	33,60
4	Arena	m³	0,25	180,00	45,00
5	Filler	m³	0,05	180,00	9,00
TOTAL MATERIALES					1527,13
2.MANO DE OBRA					
N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	Técnico Operador	hr	0,07	10,00	0,70
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0,70
Cargas Sociales = (% del subtotal de la mano de obra) (55% - 71.18%)				67	0,47
Impuestos IVA mano de obra = (% de Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,94	0,17
TOTAL MANO DE OBRA					1,34
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
Herramientas =(% del total de mano de obra)				5	0,07
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					0,07
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				PRECIO	COSTO
				PRODUCTIVO	TOTAL
Gastos generales = % de 1+2+3				10	152,85
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					152,85
5. UTILIDAD					
				PRECIO	COSTO
				PRODUCTIVO	TOTAL
Utilidad= % de 1+2+3+4				8	134,51
COSTO TOTAL UTILIDAD					134,51
6. IMPUESTOS					
				PRECIO	COSTO
				PRODUCTIVO	TOTAL
Impuestos IT= % de 1+2+3+4+5				3,09	56,11
COSTO TOTAL IMPUESTOS					56,11
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6) =					1872,02
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (En Bolivianos) =					1873,00

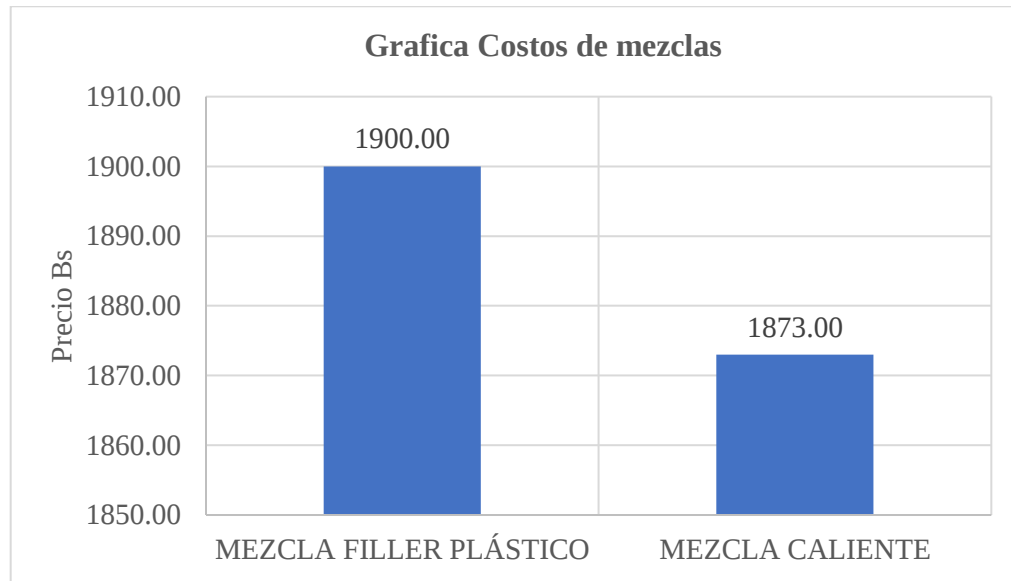
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla N° 4.16 Costo de mezcla con filler de masilla plástica

1. MATERIALES					
N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
2	Cemento asfaltico 85-100	kg	133,4	10,42	1390,03
3	Grava 3/4	m³	0,33	152,00	50,16
4	Grava 3/8	m³	0,21	162,00	34,02
5	Arena	m³	0,25	180,00	45,00
6	filler masilla	m³	0,05	600,00	30,00
TOTAL MATERIALES					1549,21
2.MANO DE OBRA					
N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
1	Técnico operador	hr	0,07	10,00	0,70
SUBTOTAL MANO DE OBRA					0,70
Cargas Sociales = (% del subtotal de la mano de obra) (55% - 71.18%)				67	0,47
Impuestos IVA mano de obra = (% de Carga Social + Subtotal mano de obra)				14,94	0,17
TOTAL MANO DE OBRA					1,34
3. EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
N°	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
Herramientas =(% del total de mano de obra)				5	0,07
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					0,07
4. GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					
				PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
Gastos generales = % de 1+2+3				10	155,06
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS					155,06
5. UTILIDAD					
				PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
Utilidad= % de 1+2+3+4				8	136,45
COSTO TOTAL UTILIDAD					136,45
6. IMPUESTOS					
				PRECIO PRODUCTIVO	COSTO TOTAL
Impuestos IT= % de 1+2+3+4+5				3,09	56,92
COSTO TOTAL IMPUESTOS					56,92
TOTAL PRECIO UNITARIO (1+2+3+4+5+6) =					1899,06
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (En Bolivianos) =					1900,00

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.19 Gráfica Costos de mezclas



Fuente: Elaboración propia

El costo unitario de la mezcla asfáltica con filler plástico presenta un valor superior al de la mezcla asfáltica en caliente convencional, alcanzando un precio de 27,00 Bs, lo que representa un incremento del 1,42 % con respecto a la mezcla sin aditivo. Esta diferencia de costo se debe a la incorporación del filler plástico, que implica procesos adicionales de preparación y dosificación. Los resultados del análisis económico muestran que desde una perspectiva financiera, la mezcla asfáltica caliente sin incorporación de filler ofrece una ventaja en términos de costos de producción, lo que la hace más rentable para proyectos donde el criterio de selección prioriza la eficiencia económica sobre las mejoras potenciales en desempeño que podría aportar el aditivo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se validó positivamente la hipótesis de investigación con la incorporación de masilla plástica como filler permitió un incremento en su propiedad de estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica. Se comprobó que al agregar masilla plástica a la mezcla asfáltica, esta mejora su resistencia y su capacidad de adaptarse a los esfuerzos del tránsito, lo que significa que la propuesta inicial funciona en la práctica.
- La caracterización de agregados, cemento asfáltico, filler natural y filler de masilla plástica cumplieron con las especificaciones de las normativas ASTM, ASSTHO e Instituto del asfalto. Todos los materiales utilizados (piedras, asfalto, filler natural y masilla plástica) cumplen con las reglas y estándares necesarios, por lo que su uso no genera problemas de calidad ni de seguridad en la mezcla final.
- El contenido de asfalto óptimo está entre el rango promedio de la metodología Marshall que se encuentra entre 4% y 6 % el obtenido, La cantidad óptima de asfalto encontrada fue de 5,32 %, lo cual está dentro del rango que normalmente se utiliza. Esto asegura que la mezcla tenga una buena consistencia y pueda durar más tiempo sin dañarse.
- La adición de filler de masilla plástica en la mezcla asfáltica caliente mejoró significativamente la estabilidad con un promedio de 3168 libras de la mezcla en comparación con la mezcla convencional con 2839 libras teniendo más estabilidad. Al incluir masilla plástica, la mezcla soporta más peso y presión que la convencional. Esto significa que las carreteras hechas con este material podrían ser más duraderas y menos propensas a deformarse.
- La estabilidad Marshall aumentó progresivamente a medida que se incrementaba el contenido de filler plástico, alcanzando un valor máximo de 3 % de filler de masilla plástica en peso de la mezcla total. Se observó que mientras más masilla plástica se agrega (hasta un cierto punto), la mezcla se vuelve más estable. El mejor resultado se obtuvo al usar un 3 % de masilla plástica.

- La fluencia aumentó al aumentar el % de contenido de filler de masilla plástica, lo que indica una mayor ductilidad de la mezcla asfáltica quedando en el mejor porcentaje óptimo de 2% filler natural y 3% de filler de masilla plástica. Además de ser más resistente, la mezcla se volvió más flexible, lo que ayuda a que no se quiebre fácilmente ante cambios de temperatura o el paso constante de los vehículos.
- El uso del filler de masilla plástica permite obtener un mejor equilibrio entre estabilidad y fluencia, lo cual es deseable para mejorar el desempeño de la mezcla asfáltica, esta combinación permite que la mezcla sea firme y, al mismo tiempo, lo suficientemente adaptable como para evitar daños prematuros en el pavimento.
- La incorporación del filler de masilla plástica representa una alternativa viable y sostenible para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas calientes al tener poca diferencia de costo de elaboración y aplicación. Usar masilla plástica no solo mejora el desempeño de las mezclas asfálticas, sino que también es una opción económica y ecológica, ya que su costo no es mucho mayor y contribuye a reutilizar desechos plásticos.

5.2 Recomendaciones

- Realizar más estudios de laboratorio y de campo para evaluar el desempeño a largo plazo de las mezclas asfálticas con filler de masilla plástica. Sería útil hacer más pruebas, tanto en lugares controlados como en carreteras reales, para saber cómo se comportan estas mezclas con el tiempo y bajo diferentes condiciones de uso.
- Investigar la influencia del tipo y las características del filler de masilla plástica en las propiedades de la mezcla asfáltica. Conviene investigar si distintas clases de masilla plástica pueden mejorar de manera diferente la mezcla asfáltica y en qué cantidad sería mejor utilizarlas.
- Analizar el impacto económico del uso de filler de masilla plástica en comparación con los materiales convencionales. Es importante comparar cuánto cuesta usar masilla plástica frente a los materiales que se usan normalmente, no solo al inicio, sino también pensando en el mantenimiento y en la duración de la carretera.
- Desarrollar guías y especificaciones técnicas para la implementación del filler de masilla plástica en la producción de mezclas asfálticas. Una vez que se tengan más

resultados, se podrían elaborar instrucciones simples que expliquen cómo preparar y aplicar estas mezclas, para que sea más fácil usarlas en los proyectos.

- Promover la transferencia de esta tecnología hacia la industria de la construcción de carreteras y pavimento, compartir esta información con empresas y autoridades que construyen carreteras, para que puedan aprovechar los beneficios de este material en nuevas obras.