

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. Generalidades

El cemento asfáltico fue utilizado por los sumerios para impermeabilizar sus embarcaciones hace 6000 años A.C. Los hindúes lo utilizaron en la construcción de grandes baños públicos hace 3000 años A.C. Los egipcios también lo utilizaron como impermeabilizante, en la momificación y construcción de edificios.

El uso moderno de asfaltos para carreteras y construcción de calles comenzó a finales del siglo pasado específicamente en el año 1987, donde se comenzaron a realizar investigaciones exhaustivas de las mezclas asfálticas y creció rápidamente con el surgimiento de la industria automotriz. Desde entonces, la tecnología del asfalto ha dado grandes pasos.

Hoy día, los equipos y los procedimientos usados para construir estructuras de pavimentos asfálticos son bastante sofisticados.

Una regla que no ha cambiado a través de la larga historia del asfalto en la construcción es la siguiente: un pavimento es tan bueno como los materiales y calidad del proceso constructivo. Ningún equipo sofisticado puede compensar el uso de materiales y técnicas constructivas deficientes.

1.1 Introducción

El pavimento es una estructura vial que tiene como fin principal ofrecer una superficie de tránsito vehicular limpio cómodo, seguro y durable. Esta estructura se la construye directa y continuamente apoyada sobre el suelo.

El pavimento de mezclas asfálticas, es el pavimento flexible de mejor calidad: Está compuesto de agregado bien gradado y cemento asfáltico, los cuales son calentados y

mezclados en proporciones exactas en una planta de mezclado en caliente siguiendo un protocolo normado por un estudio científico serio.

El diseño de mezclas Marshall fue desarrollado por Bruce Marshall para el Departamento de Transportes de Mississippi alrededor de 1939. Este método consiste en seleccionar agregados de calidad; seleccionar y ensayar el ligante asfáltico y determinar las temperaturas de mezcla y compactación, mezclar el cemento asfáltico y los agregados, compactar los especímenes.

Por esta razón se busca determinar cuál es la incidencia de variabilidad de la temperatura en el momento de la dosificación en las propiedades físico mecánica de las mezclas asfálticas, basándonos en las normas “ASTM D-421, AASHTO T 245 – 97 y I.N.V. E – 748 – 07”. En estas normas ya se define una dosificación óptima de los agregados para lograr obtener una mezcla asfáltica de excelente calidad.

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de carreteras, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico al paquete estructural para que sean soportadas por este. Se tiene que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de una carretera:

- La función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
- La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores de la carretera, (Pavimentos), para que estas resulten confortables.

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua a este. Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de

agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico, estos componentes son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad de alguno de ellos afecta el conjunto.

En el Departamento de Tarija, la construcción de carreteras con carpetas asfálticas se realizan más que todo con mezclas densas o cerradas (Mezcla Tradicional) y los estudios realizados sobre las mezclas asfálticas en nuestro Departamento son muy escasos, es por eso que esta investigación tiene un propósito de informar acerca de la incidencia de variabilidad de la temperatura en el momento de la dosificación en las propiedades físico mecánica de las mezclas asfálticas, así como su ventajas y desventajas.

En la presente investigación se presentarán las bases teórico-experimentales acerca del diseño de las mezclas asfálticas, se pretende hacer énfasis en la determinación de la temperatura óptima, la cual permita que las características deseadas de resistencia y estabilidad sean adecuadas y cumplan con los parámetros necesarios, utilizando materiales con los que contamos en nuestro medio.

Se pretende principalmente dar un aporte, que permita el interés en la realización de más investigaciones en cuanto a la incidencias de la variabilidad de la temperatura en el momento de la dosificación de las mezclas asfálticas, ya que su utilización ha demostrado en experiencias del extranjero un importante número de ventajas sobre las mezclas densas o semi-densas, sin embargo dado los problemas habituales en los pavimentos de nuestro país, sobre todo en época de lluvia, como inundaciones, accidentes causados por el agua acumulada en la superficie del pavimento, vale comenzar a establecer un diseño de este tipo de mezclas utilizando materiales (agregados y asfaltos) propios de nuestro país y departamento para verificar las bondades que pueden aportar un control minucioso de la temperatura de dosificación, al mejoramiento de nuestros pavimentos, y si bien es cierto que en esta investigación únicamente se llevara a cabo el estudio de la incidencia de variabilidad de la temperatura en el momento de la dosificación en las propiedades físico mecánica de

las mezclas asfálticas, representa un inicio importante en la introducción de este estudio de investigación en nuestro departamento.

1.2 Justificación

Hoy en día las fallas en los asfaltos son lo más común de ver, por muchos factores que intervienen desde el inicio con la elección de la calidad de los materiales, elaboración de la mezcla asfálticas en la cual interviene la variabilidad de la temperatura en el momento de la dosificación hasta la puesta en obra, es muy importante el control de la temperatura en las mezclas asfálticas pues esta variabilidad puede afectar en la vida útil y resistencia de un asfalto flexible.

1.3 Diseño Teórico

1.3.1 Situación problemática

Actualmente en el Departamento de Tarija se utiliza una mezcla asfáltica tradicional densa o sémi-densa, la cual cuenta con un porcentaje de vacíos que varía de 3% - 7%, ahora bien, podemos observar que las avenidas y calles de nuestro departamento se encuentran con grandes deficiencias y fisuración los cuales tienen distintas causas la principal puede ser que no se cuida con recelo el control de la temperatura en el momento de la dosificación y puesta en obra de la mezcla asfáltica ya que se logró evidenciar que en muchos casos no se rechaza el material por no tener pérdidas ya que las plantas de elaboración de asfaltos se encuentra a una distancia considerable y para llegar al lugar casi siempre se ve retrasado por el tránsito de vehículos, el cual presenta cierto riesgo a los usuarios de las mismas.

La temperatura final y proceso de mezclado, depende de muchos factores humanos y repercute en las propiedades finales de la mezcla.

1.3.2 Problema

¿De qué manera influye la variabilidad de la temperatura en la elaboración de mezclas asfálticas en el momento de la dosificación?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Identificar en laboratorio el comportamiento de las mezclas asfálticas en función de la temperatura de dosificación, de tal manera que se pueda determinar sus características propias a la temperatura de elaboración de la mezcla asfáltica, utilizando el método Marshall estableceré sus características propias a diferentes temperaturas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Estudio y aplicación de técnicas para la creación de una Mezcla Asfáltica, la granulometría adecuada y la temperatura de dosificación correctas.
- Recopilación de información del agregado de la región de la pintada para su caracterización, utilizado en la fabricación de mezclas asfálticas.
- Elaboración de briquetas para realizar los ensayos con una variación de temperatura de 10° C partiendo del rango de (100 - 180° C).
- Elaboración de briquetas para realizar los ensayos a temperaturas más bajas que el rango permitido por la norma I.N.V. E – 748 – 07
- Realización de ensayos de laboratorio para determinar el porcentaje de vacíos óptimo en este tipo de mezclas asfálticas.
- Realización de ensayos de laboratorio tipo Marshall para determinar la estabilidad y fluencia de la muestra con el porcentaje de asfalto y vacíos óptimos obtenidos.
- Evaluación de las características físico mecánicas de una mezcla asfáltica e incidencia de la variabilidad de la temperatura.

1.5 Hipótesis

Mediante ensayos de laboratorio identificar la temperatura óptima para la elaboración de mezclas asfálticas, conformando distintos especímenes e identificando sus características propias de resistencia de las mezclas asfálticas desarrolladas a distintas temperaturas, entonces conformare diferentes especímenes, serán sometidos a pruebas Marshall donde se establecerán sus máximas resistencias tanto del agregado como del asfalto y el estado del espécimen o briqueta.

1.6 Definición de variables independiente y dependiente

1.6.1 Independiente

Temperatura

Ensayo Marshall

Tipo de agregado

Conceptualización y Operacionalización de la variable independiente

Variable	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor
Temperatura	Se refiere a las temperaturas en grados centígrados (C°) en el momento de la dosificación	Temperatura	C°	C°

Variable	Conceptualización	Operacionalización
----------	-------------------	--------------------

		Dimensión	Indicador	Valor
Ensayo Marshall	El ensayo Marshall se refiere a la resistencia que puede llegar a obtenerse en una unidad de resistencia a una temperatura determinada de dosificación de la mezcla asfáltica.	Ensayo Marshall	f	Kg / cm ²
		temperatura	C ^o	C ^o
		Penetración a 25°C	mm/10	mm/10
		Ductilidad	cm	cm
		Peso específico	gr/cm ³	gr/cm ³
		viscosidad	SSU	SSU
		Punto de ablandamiento	°C	°C
Punto de inflamación	°C	°C		

Variable	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor
Tipo de agregado	Se refiere a las cantidades en peso de agregado grueso y agregado fino bien gradados usados en la elaboración de mezclas asfálticas.	Agregado grueso	W (peso) gr.	gr.
		Asfalto	W (peso) gr.	gr.
		Agregado fino	W (peso) gr.	gr.
		Relación de cantidades	Porcentaje	%

1.6.2 Dependiente

Resistencia al Marshall

Porosidad

Desgaste de los ángeles

Conceptualización y Operacionalización de la variable dependiente

Variable	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor
Resistencia al Marshall	La resistencia al ensayo Marshall en la forma de verificar la calidad de las mezclas asfálticas.	Penetración a 25°C	mm/10	mm/10
		Ductilidad	cm	cm
		Peso específico	gr/cm ³	gr/cm ³
		viscosidad	SSU	SSU
		Punto de ablandamiento	°C	°C
		Punto de inflamación	°C	°C

Variable	Conceptualización	Operacionalización
----------	-------------------	--------------------

		Dimensión	Indicador	Valor
Porosidad	Se refiere a las cantidades en volumen presentes en diferentes mezclas asfálticas que al incrementarse en peso la energía de compactación y expresado en porcentaje	Volumen de la mezcla asfáltica	cm ³	cm ³
		Asfalto	W (peso) gr.	gr.
		Volumen del cilindro	cm ³	cm ³
		Relación de cantidades	porcentaje	%

Variable	Conceptualización	Operacionalización		
		Dimensión	Indicador	Valor
Desgaste de los ángeles	Se refiere al porcentaje de pulverización del agregado grueso y caras fracturadas del agregado grueso	Peso del agregado fino	gr	gr
		Peso del agregado grueso	gr	gr
		Porcentaje de caras fracturadas	Porcentaje	%
		Relación de cantidades	Porcentaje	%

Las variables que tenemos son la independiente y la dependiente, siendo en este trabajo la variable independiente los materiales con los que se trabaja, el ensayo Marshall y la

temperatura predeterminada y la variable dependiente las propiedades físico-mecánicas que se obtienen luego de realizar la aplicación del método a ser utilizado.

Las propiedades físico-mecánicas van a variar dependiendo de la variabilidad de la temperatura en el momento de dosificación de las mezclas asfálticas, estas varían al ser mezcladas y sometidas a los diferentes ensayos de laboratorio.

1.6.3 Componentes

1.6.3.1 Unidades de estudio y decisión muestral

En este trabajo la unidad de estudio se centrará en la variabilidad de la temperatura en el momento de dosificación de las mezclas asfálticas, de qué maneras estas son diseñadas y cuáles son sus características físicas mecánicas que presenten a una determinada temperatura.

1.6.3.2 Población

Al ser un trabajo de investigación en el cual se busca determinar la temperatura óptima en el momento de dosificación de la mezcla asfáltica, el principal factor que afectará en dicha investigación será la variabilidad de la temperatura en el momento de dosificación de las mezclas asfálticas.

Se tomará como población a los agregados para este tipo de mezclas; usaremos solamente agregados disponibles en los bancos de la Pintada.

1.6.3.3 Muestra

La determinación de la temperatura óptima, dependerá del tipo de agregados con los que contaremos y lo más importante el tipo de granulometría con la que trabajemos, es por eso que la muestra de este trabajo se basa en la variabilidad de la temperatura en el momento de dosificación de las mezclas asfálticas, las mismas que serán estudiadas en laboratorio y serán escogidas de acuerdo a la solicitud de este tipo de mezclas.

1.6.3.4 Muestreo

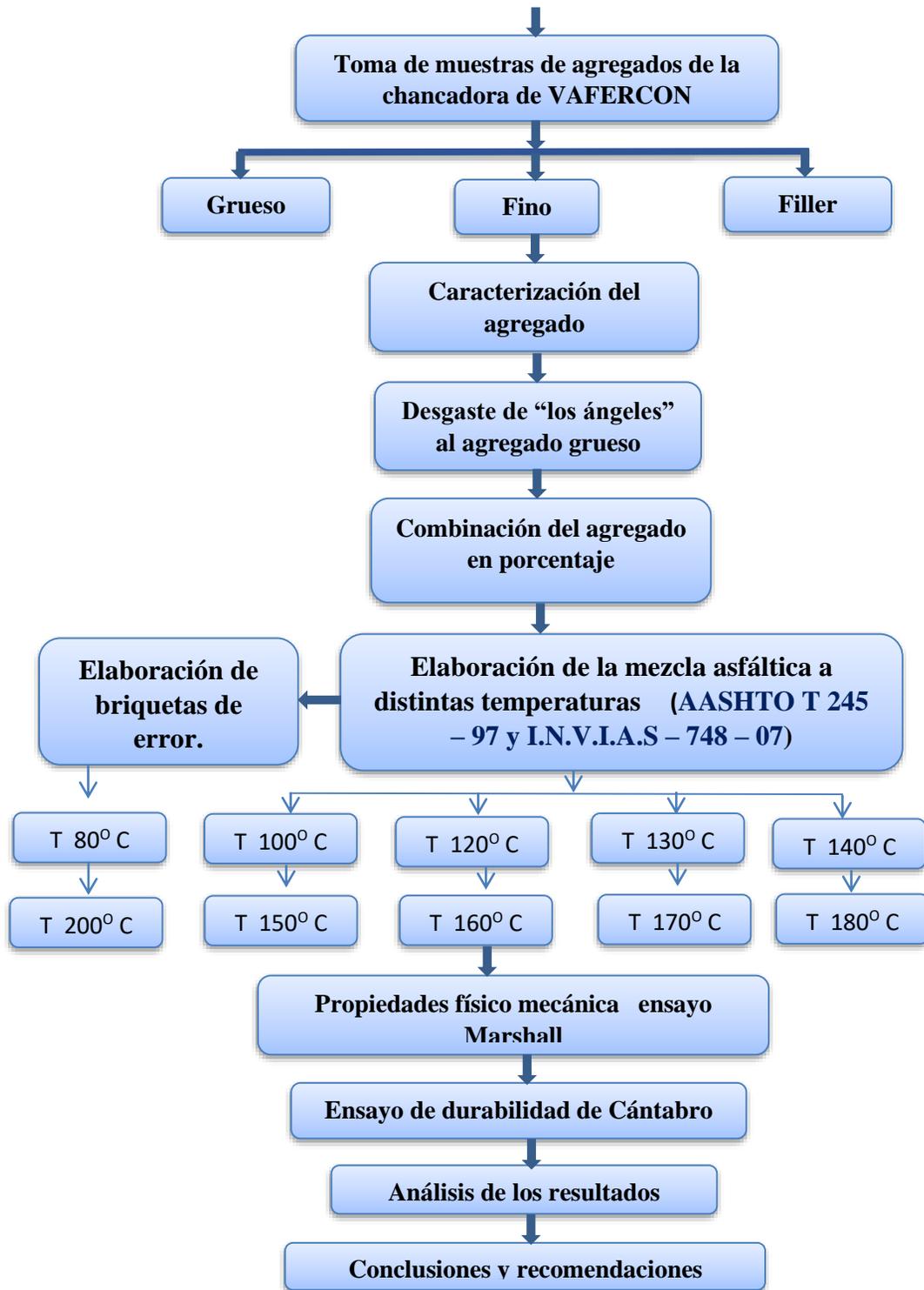
El muestreo, consiste en considerar categorías típicas entre sí, que poseen gran homogeneidad respecto a alguna característica, los bancos con los que contamos en nuestro departamento están claramente definidos respecto al tipo de agregados y a las características que estos presentan, lo que pretende este muestreo es asegurar de que los agregados que elijamos estén representados adecuadamente en la muestra.

En esta categoría también se incluye el tipo de asfalto con el que se va a trabajar en la investigación, de acuerdo a la disponibilidad se optara por los asfaltos (85/100) el cual es el más utilizados en nuestro departamento, este asfalto ya está clasificado de acuerdo a la penetración a los 25°C, fluidez, peso específico, etc.

El método de selección de la muestra fue por muestreo no probabilístico, de tipo intencional o por conveniencia ya que la muestra del agregado se tomará de la chancadora de la Pintada dependiente de la Honorable Alcaldía Municipal por ser de más fácil acceso.

1.7 Métodos y técnicas empleadas

Recolección de información preliminar



1.7.1 Definición del método empleado

El método de estudio a emplear es el método Explicativo, donde se evaluarán los datos.

Este método seleccionado consiste en el razonamiento de la porción de un todo partiendo de lo particular hacia lo general.

Este método se caracteriza por utilizar el razonamiento para obtener conclusiones que parten de hechos particulares aceptados como válidos para llegar a conclusiones cuya aplicación es de carácter general, el método lo aplicaremos de la siguiente manera:

- Observaremos de manera individual los hechos.
- Analizaremos la conducta y característica del fenómeno.
- Se llegará a conclusiones, en función de lo analizado.

Para realizar la investigación se utiliza el método explicativo, el cual nos indica que podemos realizar el acopio de datos mediante ensayos de laboratorio y la observación hacia los diferentes trabajos que realizaremos, y mediante las técnicas estadísticas podremos dar validación y confiabilidad a los resultados de la investigación realizada.

1.8 Instrumentos para realizar la caracterización de los materiales

Ensayo en los agregados. - Los ensayos de control y verificación de las características de los agregados pétreos para hormigón asfáltico son de gran importancia porque tratan de reproducir el comportamiento a escala real del material.

- Granulometría (ASTM C-71).
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D 5821-95).
- Equivalente de la arena y agregados finos (ASTM D 2419)
- Abrasión de agregado grueso máquina de los ángeles (ASTM C-131).
- Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM D-128).
- Peso específico y absorción agregado grueso (ASTM D-127).
- Partículas planas y alargadas (ASTM D-4791).
- Límites de Attemberg.

1.9 Instrumentos para realizar el trabajo de investigación

Se utilizarán equipos para realizar los diferentes ensayos de caracterización de los agregados y la mezcla asfáltica, como ser; juegos de tamices estandarizados, equipos de compactación, máquina de desgaste de Los Ángeles y ensayos de laboratorio, instrumentos para la caracterización del asfalto a ser utilizado, instrumentos para el ensayo tipo Marshall para mezclas asfálticas calientes.

1.10 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

En esta investigación tiene un carácter probabilístico, ya que se realizarán 10 ensayos por cada punto de variación de temperatura de 10°C, los cuales nos proporcionarán una serie de datos que tendrán que ser analizados posteriormente, por lo tanto, realizaremos un análisis descriptivo ya que tendremos un conjunto de datos que serán analizados.

Contaremos con un conjunto de datos N (datos que representan a la población, que en este caso son las mezclas asfálticas calientes), y otro conjunto de datos n (datos que representan la muestra, que en este caso son los agregados), que serán clasificados de acuerdo a las características que cada ensayo solicite para así poder realizar un mejor análisis de todos los datos.

Se realizarán medidas de dispersión, las cuales nos indicarán cuan dispersos o concentrados estarán los datos, a partir de las cuales encontraremos la desviación media, la varianza y la desviación estándar.

Los parámetros estarán determinados para describir las características de la población y los estadígrafos serán usados para describir las características de las muestras.

Utilizaremos las medidas de posición como la media aritmética y la media aritmética ponderada, la moda que también es otra medida de posición que brinda útil información, la varianza que es una medida de dispersión así también como la desviación media.

Con la ayuda de estas herramientas podremos determinar lo que nos proponemos en esta investigación, que es la determinación de la temperatura óptima en el momento de la dosificación de la mezcla asfáltica caliente.

1.11 Alcance de investigación

El alcance general de la presente investigación tiene por objeto la valoración de los efectos de la variabilidad de temperatura en el momento de dosificación en las propiedades física mecánica de las mezclas asfálticas. Para lo cual se planteó objetivos, una justificación así además una serie de definiciones para la mejor comprensión de esta investigación y sus efectos en la mezcla.

Se ubicará las zonas de los materiales que estarán sujetos a la investigación, donde realizaremos el muestreo para poder empezar a realizar los ensayos correspondientes.

Esta investigación contará con el detalle del procedimiento que se realizará para poder llegar a conocer las propiedades físico-mecánicas de la mezcla asfáltica caliente. Además, con los resultados obtenidos se realizará un análisis para poder llegar al resultado planteado como objetivo principal del trabajo.

Finalmente se presentarán las conclusiones y recomendaciones, donde se da a conocer los resultados obtenidos y su previo análisis llegando así a la conclusión de la valoración de las mezclas asfálticas calientes.

También se establecen las recomendaciones necesarias para realizar dichas prácticas, para poder obtener los resultados esperados, sino ser lo suficientemente flexible como para poder adaptarse a lo que se presente y obtener al final un resultado que puede ser de utilidad para el mundo y la comunidad científica.

1.12 Tratamiento estadístico a ejecutarse:

Procedimiento para el análisis e interpretación de la información:

Tenemos seleccionado que la investigación que realizaremos es de Estadística explicativa No Probabilística.

Para la evaluación y validación de nuestra investigación utilizaremos la estadística cuyas formulas son las siguientes:

- Centralización: Indican valores con respecto a los que los datos parecen agruparse.
- Media.- Es la media aritmética (promedio) de los valores de una variable. Suma de los valores dividido por el tamaño muestra.

Conveniente cuando los datos se encuentran simétricamente con respecto a ese valor. Muy sensible a valores extremos. Centro de gravedad de los datos.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

- Mediana.-Es un conjunto de datos ordenados de menor a mayor, a mediana corresponde al dato central. Aquel que deja un 50% de la información bajo él y el otro 50% es mayor o igual. Es un valor que divide a las observaciones en dos grupos con el mismo número de individuos. Si el número es de datos par, se elige la media de los datos centrales.

Es conveniente cuando los datos son asimétricos. No es sensible a valores extremos.

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

- Moda.-Es el /los valor/valores donde la distribución de frecuencias alcanza un máximo.
- Desviación estándar.-Es la raíz cuadrada de la varianza es la más usada de las medidas de dispersión.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Asfalto.

El Asfalto es un material de color marrón oscuro a negro, cementante, termoplástico encontrado en un estado natural o fabricado en refinerías de petróleo por procesos de destilación atmosférica o vacío. El asfalto es sólido o altamente viscoso a temperatura ambiente. Es un material extremadamente complejo que contiene una gran cadena de componentes orgánicos de alto peso molecular.

El Asfalto de Penetración, también llamado Cemento Asfáltico, es el material por excelencia para la pavimentación, en virtud de sus propiedades y características. Es un material altamente cementante, termoplástico, repelente del agua y es resistente al ataque de la mayoría de los ácidos, álcalis y sales.

Para entender el comportamiento del Asfalto producto del petróleo, es necesario conocer e interpretar el significado de sus propiedades físico – químicas a partir de su composición química, durante su fabricación para sus diferentes usos sea en pavimentación de carreteras y en la industria de recubrimientos:

Química del asfalto.

Compuestos. Asfáltenos y máltenos.

Propiedades mecánicas.

Viscosidades y de aplicación.

Densidad.

Propiedades eléctricas.

Resistividad conductividad, resistencia dieléctrica, constante dieléctrica.

Propiedades térmicas.

Penetración.

Punto de ablandamiento. (PA)

Punto de inflamación.

Los asfaltos tienen múltiples usos en la industria: en la preparación de mezclas asfálticas para pavimentación, como impermeabilizante y pinturas asfálticas, para techados de edificios y viviendas, revestimiento de diques y canales y materia prima para las emulsiones asfálticas entre otras. Por otro lado, es importante conocer la terminología de asfaltos de “pavimentación y especiales”, así como “Las clases y tipos de asfaltos” que existen, dando énfasis en esta oportunidad a los “Asfaltos Industriales” para uso de recubrimientos de “Techos”, sin embargo, en la actualidad, el asfalto innovado tecnológicamente y con gran valor agregado con presencia de aditivos físicos y químicos, se usa en forma masiva en la industrial de recubrimientos de pisos, canales y tuberías entre otros.

Estos asfaltos industriales son los llamados “Asfaltos Industriales Sólidos y Líquidos”, partiendo de los llamados asfaltos oxidados hasta las pinturas asfálticas. En nuestro medio, las refinerías peruanas no producen estos tipos de asfaltos industriales, tomando espacio para ello la inversión privada orientada al comercio de importación que al de producción.

Los países que afrontan las inclemencias climatológicas de calor, lluvias y viento, mantienen una gran demanda de estos asfaltos industriales para techados de casas y edificios, jugando un importante y vital papel en zonas que están supeditadas a la acción de huracanes y/o tifones, como es el caso de Norteamérica. En el Perú, los recubrimientos para techados se realizan con materiales de otro tipo, casi artesanal en el caso de las viviendas de provincias de la sierra, y los edificios de las grandes ciudades utilizan cemento o mayólicas o similares.

Finalmente, en el desarrollo de tecnología de los asfaltos industriales se presenta la necesidad y responsabilidad de no atentar contra salud humana y el medio ambiente, debido a que los “humos del asfalto industrial” durante su fabricación son altamente tóxicos y contaminantes, apareciendo toda una normatividad al respecto a través de organismos especializados como la “Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA)”.

2.1.1 Definición

El asfalto es una mezcla sólida y compacta de hidrocarburos y de minerales que mayormente es empleada para construir el pavimento de las calzadas. Sus características más destacadas son la viscosidad, su pegajosidad y su intenso color negro, de origen natural u obtenido artificialmente por destilación del petróleo.

2.1.2 Obtención del asfalto en refinerías

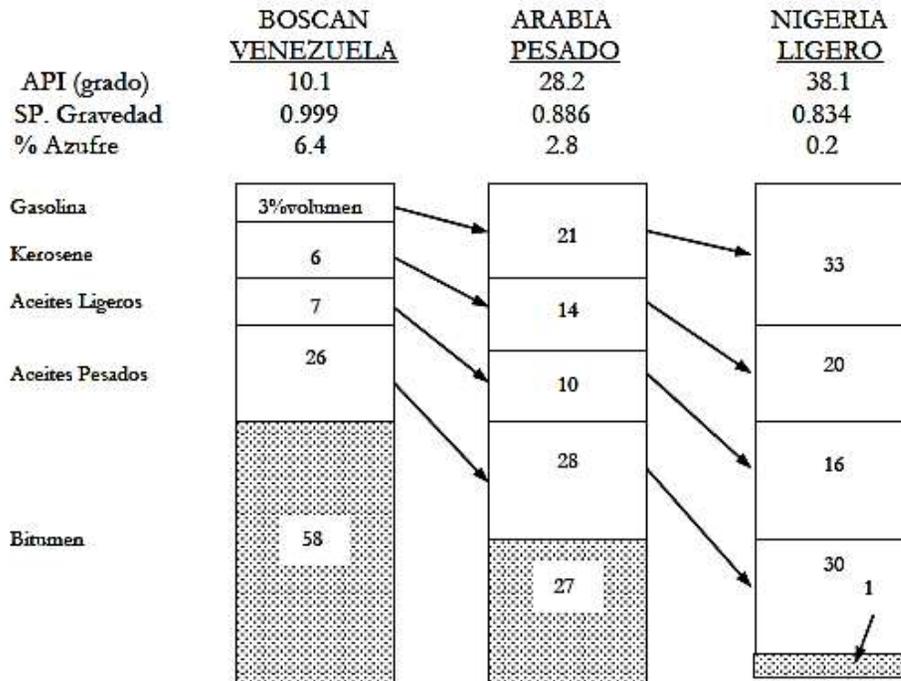
El crudo de petróleo varía en composición dependiendo de la fuente, produciendo diferentes tipos y cantidades de cemento asfáltico residual y otras fracciones destilables.

El crudo de petróleo puede clasificarse arbitrariamente de acuerdo a su gravedad API (American Petroleum Institute). La gravedad API es función de la densidad del material a 60°F y se obtiene de la siguiente expresión:

$$\text{API gravedad}(\text{°}) = \frac{141.5}{\text{gravedad específica}} - 131.5$$

La gravedad API del agua es 10. El asfalto, material más pesado, tiene una gravedad API entre 5 y 10, mientras que el API más liviano de la gasolina es alrededor de 55. Los procesos de refinación para la obtención de asfaltos dependen de las características del crudo y el rendimiento del asfalto que presentan. Los crudos de petróleo pesados con API menor a 25 resultan en mayores porcentajes de cementos asfálticos, mientras que los petróleos livianos con API mayor a 25 arrojan menores porcentajes de asfaltos. La siguiente ilustración presenta los porcentajes de asfalto resultante de crudos típicos.

Figura 1. Composición de crudos de petróleo



Para crudos muy pesados de altos rendimientos de asfalto, basta una etapa de destilación al vacío. Para crudos de rendimientos intermedios de asfalto será necesario dos etapas de destilación: una a presión atmosférica y otra al vacío. Para crudos muy livianos de bajo rendimiento de asfalto se requiere una etapa adicional a las dos anteriores, que es la etapa de extracción.

2.1.3 Propiedades Físicas del Asfalto

Las propiedades físicas son todos los ensayos que se practicaron al asfalto “viscosidad, penetración, punto de inflamación, punto de ablandamiento y peso específico” son los necesarios para verificar las condiciones del asfalto convencional que presenta el asfalto (85-100) para emplearse como lígante en una mezcla asfáltica.

2.1.4 Propiedades del cemento asfáltico convencional

Las propiedades y características de los materiales asfálticos dependen de su estructura y composición química; pero dada su gran complejidad, estos materiales se caracterizan mediante ensayos empíricos para valorar las propiedades que tiene que poseer para emplearse como lígante en obra de carreteras.

Las propiedades fundamentales que tiene que poseer los asfaltos para su empleo en carretera son:

- **Carácter termoplástico:** por acción de la temperatura su consistencia debe disminuir de manera que sean capaces de "mojar" y envolver los áridos. Al enfriarse debe adquirir la consistencia primitiva y dar cohesión a la mezcla.
- **Buen comportamiento mecánico y reológico** para resistir las tensiones impuestas por el tráfico y poder mantener a las temperaturas de servicio, la estructura de la mezcla asfáltica.
- **Resistir al envejecimiento** frente a los agentes atmosféricos y condiciones ambientales para conservar sus propiedades con el tiempo.

Es decir, que las propiedades fundamentales que deben poseer los asfaltos para emplearse en carreteras son: adhesividad a los áridos, buen comportamiento reológico.

2.1.4.1 Ensayos de viscosidad

Consiste en determinar el tiempo en segundos que demora en fluir 60 ml de muestra, a través de un orificio calibrado, medido bajo condiciones cuidadosamente controladas. El tiempo obtenido se corrige por un factor que depende de la abertura del orificio, el cuál es reportado como la viscosidad de la muestra a la temperatura de ensayo.

Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método ASTM E-102

2.1.4.2 Ensayos de penetración

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un asfalto, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente en una muestra del asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se entiende que la medida de la penetración se hace a 25°C, que la aguja está cargada con 100 gr y que la carga se aplica durante 5 seg. La penetración determinada en estas condiciones se llama penetración normal. Es evidente que cuanto más blando sea el asfalto mayor será la cifra que indique su penetración.

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos.

Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método (ASTM D5 - AASHTO T49-97).

2.1.4.3 Ensayo de punto de inflamación y combustión mediante la Copa

Abierta de Cleveland

El punto de inflamación de un ligante asfáltico es la temperatura más baja a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un “destello” en presencia de una llama abierta. El punto de inflamación no debe ser confundido con el punto de combustión, el cual es la temperatura más baja, a la cual el ligante asfáltico se inflama y se quema. El punto de inflamación consiste, tan sólo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto. Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método (ASTM D-92).

2.1.4.4 Ensayo de punto de ablandamiento mediante el aparato de Anillo y Bola

Esta prueba se utiliza para determinar la temperatura en la que el ligante asfáltico tiende a fluir cuando es sometido a altas temperaturas. Los materiales bituminosos no cambian del estado sólido al estado líquido a una cierta temperatura, sino que a medida que aumenta la temperatura se vuelven más blandos; es por esta razón que, por medio de esta prueba de laboratorio, se debe establecer la temperatura a la cual el material fluye, simulando un aumento gradual de temperatura. El ensayo consiste en llenar un anillo con asfalto, y sobre éste colocar una esfera de 3.5 g. Dependiendo de la modalidad del ensayo, la muestra se encuentra inmersa dentro de agua, glicerina USP, o glicol etileno, a una temperatura estabilizada de 5 °C. Cuando el montaje esté listo y lleve cierto tiempo, se calienta gradualmente y se registra la temperatura en el momento en que el asfalto que rodea la esfera toque el fondo del plato base a una distancia vertical de 25 mm. La norma de ensayo que se siguió para determinar el punto de ablandamiento fue la INV E-712-07 (Invías, 2007g).

2.1.4.5 Ensayo de Ductilidad

La ductilidad de un material bituminoso es la longitud, medida en cm., a la cual se alarga (elongación) antes de romperse cuando dos extremos de una briqueta, confeccionada con una muestra y de la forma descrita en 1 se traccionan a la velocidad y temperatura especificadas. Al contrario que otra condición se especifique, el ensayo se efectúa a una temperatura de $25 \pm 0,5$ °C y a una velocidad de 5 cm/min \pm 5%. Para otras temperaturas deberá especificarse la velocidad.

Los aparatos y procedimientos para la realización de este ensayo se describen detalladamente en el método (ASTM D-113 AASHTO T51-00).

2.1.4.6 Peso Específico

Aunque normalmente no se especifica, es deseable conocer el peso específico del asfalto que se emplea. Este conocimiento es útil para hacer las correcciones de volumen cuando este se mide a temperaturas elevadas. Se emplea también como uno de los factores para la determinación de los huecos en las mezclas asfálticas para pavimentación compactadas. El peso específico es la relación del peso de un volumen determinado del material al peso de igual volumen de agua, estando ambos materiales a temperaturas especificadas. Así, un peso especificado de 1.05 significa que el material pesa 1.05 veces lo que pesa el agua a temperatura fijada. Todos los líquidos y la mayor parte de los sólidos sufren cambios de volumen cuando varía la temperatura. Se expande cuando se calientan y se contraen cuando se enfrían. Para fijar condiciones determinadas aplicables a un valor dado del peso específico, debe indicarse la temperatura del material y la del agua. Así por ejemplo P.E. a 25/25 °C indica que la determinación se ha hecho con ambos materiales a una temperatura de 25° C. El peso específico del asfalto se determina normalmente por el método del picnómetro, descrito en los métodos ASTM D-70.

2.2 Agregado en mezclas asfálticas

Consiste en un agregado de asfalto y materiales minerales (mezcla de varios tamaños de áridos y finos) que se mezclan juntos para formar la mezcla asfáltica o pavimento.

2.2.1 Propiedades de los agregados

En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

2.2.2 Tipos de agregados utilizados en mezclas asfálticas

2.2.2.1 Agregado grueso

Se denominará agregado grueso a la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No. 4). Para esta investigación debe ser procedente de trituración.

2.2.2.2 Agregado fino

Se denomina agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75mm(Nº4) y 75 µm (No. 200). El agregado fino deberá proceder de trituración de piedra de cantera, natural o de fuentes naturales de arena.

2.2.3 Ensayos de caracterización de los agregados

El objetivo general del estudio es la caracterización morfológica de los agregados usados en las mezclas asfálticas y la estimación de la influencia en las propiedades de la mezcla asfáltica que son:

- Análisis granulométrico (ASTM D-422).
- Porcentaje de caras fracturadas (ASTM D5821-95)
- Equivalente de la arena y finos (ASTM D 2419)
- Abrasión de agregado grueso máquina de los Ángeles (ASTM C-131)
- Peso específico de agregado fino (ASTM D-128).
- Peso específico y absorción agregado grueso (ASTM D-127).

2.2.3.1 Granulometría

El procedimiento de ejecución del ensaye es simple y consiste en tomar una muestra de suelo de peso conocido, colocarlo en el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura, pesando los retenidos parciales de suelo en cada tamiz. Esta separación física de la muestra en dos o más fracciones que contiene cada una de las partículas de un solo tamaño, es lo que se conoce como “Fraccionamiento”.

La determinación del peso de cada fracción que contiene partículas de un solo tamaño es llamado “Análisis Mecánico”. Este es uno de los análisis de suelo más antiguo y

común, brindando la información básica por revelar la uniformidad o graduación de un material dentro de rangos establecidos, y para la clasificación por textura de un suelo. (ASTM D-422; AASHTO T 27-88)

2.2.3.2 Resistencia al desgaste por abrasión

Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles (ASTM C-131)

Este ensayo emplea para determinar la resistencia de los agregados triturados a una carga abrasiva, empleando la máquina de desgaste de los Ángeles.

2.2.3.3 Peso específico y absorción del agregado

Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso. El peso específico aparente es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

2.2.3.4 Equivalente de arena

Este ensayo tiene por objetivo asignar un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino, polvo nocivo o material arcilloso presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular.

2.2.3.5 Porcentaje de caras fracturadas

Este método permite determinar el porcentaje, en peso de una muestra de agregado grueso con una, dos o más caras fracturadas. (ASTM D5821-95).

2.3 Mezcla asfáltica convencional.

2.3.1 Definición.

La mezcla asfáltica se puede definir como una combinación de agregados minerales, aglomerados mediante un lígante asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla y, eventualmente, el comportamiento funcional de la misma como pavimento (Cepeda, 2002).

2.3.2 Características y comportamiento de mezclas asfálticas.

El Instituto del Asfalto de los Estados Unidos de Norteamérica, describe al asfalto como un cemento fuerte, fácilmente adhesivo, altamente impermeable, y durable. Es una sustancia plástica que proporciona una flexibilidad controlable a las mezclas de material mineral con las que usualmente se combina. No obstante que es un sólido o semisólido, en condiciones normales de temperatura ambiental el asfalto puede ser fácilmente licuado mediante aplicación de calor. El asfalto se considera como un cemento bituminoso, debido al hecho de que está constituido por hidrocarburos (Papacostas, 1993).

2.3.3 Propiedades de mezclas asfálticas.

El diseño de una mezcla asfáltica consiste básicamente en la selección del tipo y granulometría del agregado a emplear, y de la selección del tipo y contenido de asfalto, de tal manera que se obtengan las propiedades deseadas en la mezcla y se satisfagan los requisitos específicos del proyecto. La selección apropiada de los materiales (con la calidad suficiente) que constituirán la mezcla y de sus proporciones correctas, requiere el conocimiento de las propiedades más significativas de las mezclas, y de su influencia en el comportamiento del pavimento (Cepeda, 2002). Para una aplicación

específica e independientemente del procedimiento de diseño empleado, las propiedades relevantes en una mezcla asfáltica en caliente son:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al fracturamiento por bajas temperaturas
- Resistencia al daño por humedad
- Resistencia al deslizamiento
- Trabajabilidad

2.3.4 Tipos de elaboración de mezclas asfálticas convencionales.

Existen varias clasificaciones de mezclas asfálticas, de acuerdo con el parámetro considerado para establecer las diferencias. Así, conforme las fracciones de agregado pétreo empleado en la elaboración de la mezcla, éstas se dividen en mastico asfáltico; mortero asfáltico; macadam asfáltico; y concreto asfáltico. Si la temperatura es considerada, se dividen en mezclas en frío y mezclas en caliente. Si el parámetro considerado es el porcentaje de vacíos de aire, las mezclas pueden ser densas o cerradas; semidensas o semicerradas; abiertas y porosas, dependiendo de si tienen menos del 6%, entre el 6 y el 12% de vacíos de aire, entre el 12 y el 18% o más del 20%, respectivamente. Otra clasificación se establece de acuerdo con la estructura de los agregados pétreos; así, se tienen mezclas con o sin esqueleto mineral. Si se considera la curva granulométrica, se clasifican en mezclas asfálticas continuas o mezclas discontinuas (Cepeda, 2002). La mezcla asfáltica en caliente se tipifica así, porque tanto el agregado pétreo, como el asfalto, se calientan antes del mezclado; es un tipo de mezcla compuesta por un 93 a 97 % de agregado pétreo y por un 3 a 7 % de asfalto, con respecto a la masa total de la mezcla.

2.4 Diseño de mezclas por el método Marshall.

El método Marshall sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación, que usan cemento asfáltico clasificado por penetración o viscosidad y que contienen agregados con tamaño máximo de 25 mm (1 pulgada). Puede ser usado para el diseño en laboratorio o para el control de campo de pavimentos. Se deben utilizar probetas 64 × 102 mm de diámetro.

Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del método Marshall son:

1. Análisis de la relación vacíos - densidad
2. Prueba de estabilidad- flujo de las muestras compactadas.

A continuación, se presenta la metodología seguida en el diseño realizado.

Caracterización de agregados

- Análisis granulométrico (ASTM D-422).
- Porcentaje de caras fracturadas (ASTM D5821-95)
- Equivalente de la arena y finos (ASTM D 2419)
- Abrasión de agregado grueso máquina de los Ángeles (ASTM C-131)
- Peso específico de agregado fino (ASTM D-128).
- Peso específico y absorción agregado grueso (ASTM D-127).

2.4.1 Descripción del método Marshall.

Como ya se discutió en el capítulo de materiales, diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

2.4.2 Procedimiento resumido del ensayo Marshall.

El Ensayo Marshall permite conocer el contenido óptimo de ligante (betún) en las mezclas bituminosas en caliente, se rompen tres probetas cilíndricas por cada serie de igual contenido de asfalto, de mezcla asfáltica compactada con 75 golpes dados con maza por cada cara introduciendo las probetas en un baño de agua a una temperatura de 60 grados centígrados, durante media hora y a una velocidad de deformación de 50.8 mm / minuto. Se obtiene cinco graficas que representan la variación de la densidad relativa, contenido de vacíos en los áridos y en la mezcla, la estabilidad y la fluencia o deformación, en función del contenido de asfalto.

2.5 Temperatura de mezclas asfálticas.

Los ensayos de áridos, además de fijar las características de forma, tamaño, granulometría, resistencia mecánica y resistencia a la alterabilidad, deben fijarse como objetivo la utilización de áridos exentos de suciedad, polvo y sobre todo finos arcillosos que rebajan extraordinariamente las características mecánicas de las mezclas. Para ello en caso de duda debe hacerse un análisis macroscópico o mineralógico de los finos para comprobar que estos no son activos. Estos mismos ensayos que deben extenderse a la caracterización del Filler, si hay dudas sobre su procedencia o limpieza.

2.6 Normativa a utilizar en el proyecto de experimentación.

En todos los ensayos a realizarse en el proyecto de experimentación están basados en la norma AASHTO - 93 la norma oficial de diseño de carpetas asfálticas usadas en Bolivia.

Cemento asfáltico.

El asfalto es un material de propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, tiene características de flexibilidad, consistencia, adhesividad y durabilidad, pero es susceptible a cambios de temperatura.

Propiedades.

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

Fluencia.

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

Estabilidad.

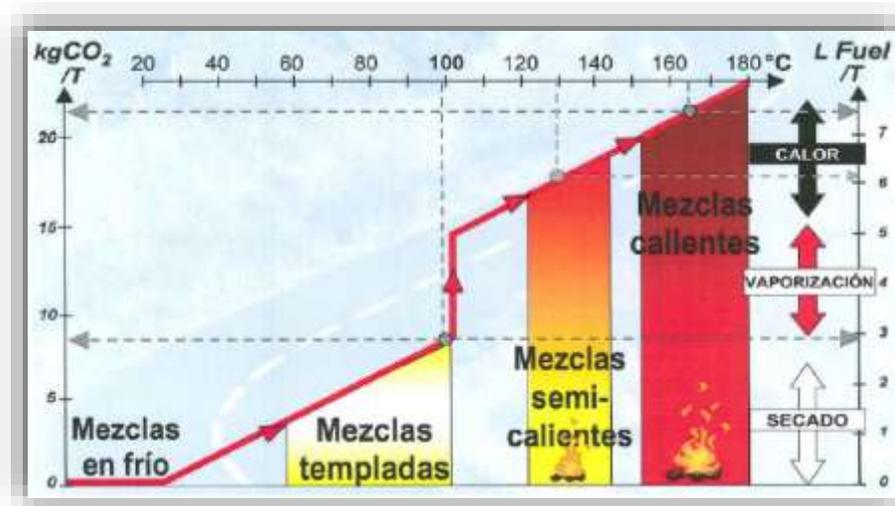
Esta propiedad se refiere a la capacidad de la mezcla asfáltica para resistir la deformación y el desplazamiento, debidos a las cargas que resultan del tránsito vehicular. Un pavimento es estable cuando conserva su forma; y es inestable cuando desarrolla deformaciones permanentes, corrugaciones y otros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

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

No hay una prueba aceptada universalmente para determinar la resistencia de una mezcla para pavimentos, y todas las que se usan son más o menos empíricas. Ciertas pruebas de estabilidad manifiestan más la influencia del aglutinante asfáltico que la del agregado mineral o viceversa, como puede apreciarse en las pruebas Marshall. Debe observarse que las pruebas de estabilidad deben suplementarse con otras. En la prueba Marshall, la deformación de la briqueta de ensayo se considera también para estimar la

resistencia, y en la prueba los resultados del cohesiómetro suplementan los valores de estabilidad.

Figura 2. Mezclas asfálticas en función °T fabricación



Fuente http://www.elprisma.com/apuntes/ingeniería_civil/asfaltos

Reacción del Asfalto ante altas temperaturas

El cemento asfáltico expuesto a temperaturas extremadamente calurosas, como los desiertos o a condiciones de velocidad y carga sostenidas, como un tráiler a velocidad lenta, puede comportarse como un líquido viscoso por esta razón se lo considera un fluido newtoniano, puesto que hay una conducta lineal entre la fuerza de resistencia y la velocidad relativa.

A los líquidos viscosos como el cemento asfáltico también se les conoce como plásticos ya que una vez que comienzan a fluir pierden su forma y jamás la recuperan, es por esta razón que cuando aplicas este tipo de mezclas en caliente sobre todo en un día caluroso, este tiende a fluir bajo el tránsito vehicular y el peso del mismo en pocas palabras su conducta es la de un plástico, lo que se puede ocasionar roderas y

movimiento de las intersecciones. Al mismo tiempo que pierde adherencia entre el agregado y el asfalto, lo cual puede ocasionar un desprendimiento de la carpeta asfáltica.

Fuente http://www.elprisma.com/apuntes/ingeniería_civil/asfaltos

2.6 Ensayos mediante tambores rotativos.

Los ensayos basados en tambores rotativos basan la disgregación en el impacto de las probetas. Esto se puede hacer sin elementos extras (ensayo Cántabro) o mediante elementos externos (Método A del ensayo Prall). En estos ensayos la disgregación de árido es muy alta. Sin embargo, este mecanismo es muy distinto al mecanismo real de abrasión que cualquier capa de rodadura sufriría en una vía pavimentada.

2.6.1 Ensayo Cántabro.

El ensayo Cántabro se desarrolló en 1979 en el Laboratorio de Caminos de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Santander. Fue desarrollado por Félix Edmundo Pérez Jiménez, actual Catedrático de Caminos en el Departamento de Infraestructura del Transporte y del Territorio en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Cataluña.

El ensayo Cántabro se rige por la norma NLT-352. Para su realización se emplea la máquina del ensayo de Los Ángeles (NLT-149) pero sin las bolas de acero. Esta máquina es un bombo donde se introducen las probetas Marshall, previamente pesadas y acondicionadas a 25° C constantes, que es la temperatura a la que se realiza el ensayo. El bombo, instalado en una cámara insonorizada y aislada que permita mantener la temperatura, gira durante 300 revoluciones a una velocidad de entre 30 y 33 revoluciones por minuto según se especifica en la norma NLT-149. Después de las 300 vueltas, se saca la probeta y se pesa. La diferencia de pesos en relación al peso inicial da como resultado el porcentaje de pérdidas.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

PREPARACION DE MATERIALES PARA LA INVESTIGACION SOBRE LA INCIDENCIA DE VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA EN EL MOMENTO DE DOSIFICACIÓN EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.

3.1 Criterios a utilizarse

3.1.1 Criterio de selección de banco de materiales

La ciudad de Tarija cuenta con varios bancos de materiales para la realización de mezclas asfálticas, pero el criterio asumido para escoger el banco de materiales es que en el momento en el que se realizó la investigación, el único banco que producía agregados era la planta asfaltadora de la alcaldía, ubicada en la comunidad de la Pintada producida por la asociación accidental VAFERCON cuyo material es procedente de la comunidad de SUNCHOHUAYCO, que cumplía con las especificaciones técnicas para elaborar mezclas asfálticas:

- Porcentaje de filler entre 6 y 9%.
- Porcentaje de agregado grueso de 3/4", deber ser mayor a 75%.

Selección de agregado pétreo para la mezcla asfáltica.

Tabla N°1. Faja de trabajo de las Mezclas de alto módulo (MAM). Norma de especificación AASTHO

Tipo de mezcla	Tamiz (mm/U.S. Estándar)									
	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.0	0.425	0.150	0.075
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°80	N°200
% Pasa										
MDC-1		100	80-95	67-85	60-77	43-59	29-45	14-25	8-17	4-8

Densa	MDC-1			100	80-95	70-88	49-65	29-45	14-25	8-17	4-8
	MDC-1					100	65-87	43-61	16-29	9-19	5-10

Fuente: Norma de la Asociación de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO)

3.1.2 Criterio de cemento asfáltico

El cemento asfáltico BETUNEL 85-100 es el único disponible en el medio para poder realizar la investigación.

El cual fue obtenido mediante carta de la planta procesadora de asfaltos de la alcaldía municipal de cercado.

3.1.3 Criterio para el número de ensayos a realizarse

Para la presente investigación se desglosará los diferentes ensayos y la forma de ejecutarse.

Caracterización de los agregados:

Granulometría. - Se realizarán 3 granulometrías de los agregados.

Porcentaje de caras fracturadas. - Se realizarán 2 ensayos para el agregado de 3/8" y 3/4".

Porcentaje de partículas laminadas. -Se realizar 1 ensayo para el agregado de 3/8" y 3/4".

Porcentaje de partículas chatas y alargadas. - Se realizará 1 ensayo para el agregado de 3/8" y de 3/4".

Equivalente de la arena y agregado fino. - Se realizarán 2 ensayos de equivalente de la arena, de los cuales se sacará un promedio.

Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles. - Se realizará 1 ensayo de los agregados de 3/8" y 3/4".

Peso específico del agregado fino. - Se realizarán 2 ensayos del agregado fino y se sacara su promedio.

Peso específico y absorción del agregado grueso. - Se realizarán 2 ensayos de peso específico y absorción del agregado grueso de los agregados de 3/8" y 3/4".

Tabla N°2. Número de ensayos para el agregado

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Granulometría.	3
Porcentaje de caras fracturadas.	2
Porcentaje de partículas laminadas.	1
Porcentaje de partículas chatas y alargadas	1
Equivalente de la arena.	2
Abrasión del agregado grueso.	2
Peso específico del agregado fino.	2
Peso específico del agregado grueso.	2

Fuente: Elaboración propia

Caracterización del cemento asfáltico:

Ensayo de viscosidad SAYBOLT-FUROL.- Se realizarán 2 ensayos de viscosidad del cemento para el cemento asfaltico 85-100 y se obtendrá su promedio.

Ensayo de ductilidad.- Se realizarán 3 ensayos de ductilidad del cemento asfaltico 85-100 y luego se obtendrá su promedio.

Ensayo de punto de inflamación.- Se realizarán 2 ensayos del punto de inflamación del cemento asfaltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

Ensayo de peso específico.- Se realizarán 2 ensayos de peso específico del cemento asfáltico 85-100 del cual se obtendrá su promedio.

Tabla N°3. Número de ensayos para el Cemento Asfáltico

Ensayo	Cantidad de ensayos a realizar
Penetración muestra original 25°C.	3
Vaso abierto Cleveland punto de inflación °C.	2
Viscosidad Saybol Furol a 135°C, seg.	2
Ductilidad 25°C.	3
Peso específico (gr/cm ³).	2

Fuente: Elaboración propia

Mezcla asfáltica para determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico:

Dosificación.-Con la granulometría de los agregados se tiene una dosificación tentativa, con la cual se procederá a pesar 3 briquetas con un porcentaje de cemento asfáltico en la siguiente tabla se muestra las cantidades:

Tabla N°4. Variaciones del porcentaje de Cemento Asfáltico para obtener el porcentaje óptimo

Porcentaje de cemento asfáltico(% de CA)	Número de briquetas(Unidad)
4,5%	3

5%	3
5,50%	3
6,0%	3
6,50%	3
7,0%	3
Total briquetas elaboradas	18

Fuente: Elaboración propia

Se realizarán 18 briquetas con diferentes porcentajes de cemento asfáltico 85-100 variando de 0,5% con respecto del porcentaje aproximado de cemento asfáltico calculado, de igual manera variará el porcentaje de agregados en la mezcla, de la cual se obtendrá el porcentaje óptimo de cemento asfáltico a utilizar en los cálculos.

Detalle de la investigación:

Mezclas asfálticas convencionales. - Se elaborarán 110 briquetas con mezclas asfálticas convencionales, cuyo cemento asfáltico será 85-100 estas briquetas representarán el patrón, con lo cual procederemos a evaluar estadísticamente como ondulan y varían las propiedades de fluencia y estabilidad de los ensayos analizados elaborados a temperaturas con una variación de 20°C y 10°C a partir de 100°C hasta llegar a los 180°C, partiendo de 80°C hasta 200°C por temperatura se realizaron 10 briquetas.

Detalle de los ensayos a realizar:

Tabla N°5. Total, de briquetas fabricadas para la evaluación de la incidencia de la temperatura en las propiedades físico mecánicas

Descripción	Cantidad (unidad)
Briquetas elaboradas para hallar el porcentaje óptimo	18

Total briquetas elaboradas para los ensayos	128
---	-----

Fuente: Elaboración propia

3.2 Muestra

La muestra es la Cantidad de briquetas realizadas a una determinada temperatura la cual va variando de 10°C en 10°C, utilizando agregados que son obtenidos de la planta asfáltica de la alcaldía pertenecientes a la ciudad de Tarija, dicha planta se encuentra ubicada en la comunidad de la Pintada, cuyos agregados son procedentes de la comunidad de SUNCHUHUAYCO. Dicho agregado debe contener la mayor parte del peso retenido en el tamiz de $\frac{3}{4}$ debido a que las exigencias de la faja de trabajo de las mezclas asfálticas así lo ameritan.

3.3 Muestreo

El muestreo se lo realizará con el MÉTODO MARSHALL (ASTM D-1559) con el cual podremos realizar la evaluación del comportamiento de la estabilidad y fluencia mediante dicho ensayo de laboratorio, observando los cambios producidos cuando se varía la temperatura en las mezclas asfálticas elaboradas con materiales de la región.

3.4 Levantamiento de la información

3.4.1 Ubicación de la fuente de los materiales a utilizarse

Agregado pétreo. - Los materiales componentes de la investigación Incidencia de la Variabilidad de la temperatura en el momento de dosificación en las propiedades físico mecánicas de las mezclas asfálticas, son provenientes de la planta de asfalto propiedad de la Alcaldía Municipal de Tarija ubicada en la comunidad de La Pintada. Se verificará si los agregados son de buena calidad mediante los ensayos a realizarse.

Cemento asfáltico. -El cemento asfáltico a utilizarse es el BETUNEL 85-100 cuyo distribuidor es una empresa de Brasil, el cual fue obtenido de la planta de asfaltos de la alcaldía municipal, ficha técnica se adjunta en el siguiente cuadro siguiente:

Tabla N°6. Especificación técnica del cemento asfaltico BETUNEL

N°	Características	Detalle			Exigencias 85-100
		AASTHO	ASTM	N Ch	
1	Penetración muestra original 25°c	T-49	D-5		85-100
2	Vaso abierto Cleveland punto de inflación °c	T-48	D92	2338	>a 232°C
3	Viscosidad Saybolt furol a 135°c, seg	T-72	D-102	-	> 85 seg.
4	Solubilidad en tricloroetileno %	T-44	D-2042	2341	>a 99,00%
5	Ductilidad 25°c	T-51	D-113	2342	>a 100cm
6	Ensayo de la mancha heptanoxilol, (20% máximo de xilol)	T-102	-	2343	(-) Negativo
7	Ensayo en horno película delgada	T-179	D-1754	2346	<a 1
8	Penetración del residuo de perdida, x calentamiento % original	T-49	D-5	2340	>a 50
9	Porcentaje de agua	T-55	-	-	<a 0,2

Fuente: Especificación técnica del fabricante

3.4.2 Ensayo en los agregados

Los ensayos de caracterización de los agregados se los realizan para el respectivo control y verificación de los materiales pétreos a utilizar, además de mostrarnos el comportamiento del material en obra.

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

Definición. - Este método permite determinar el porcentaje, en peso de una muestra de agregado grueso con una, dos o más caras fracturadas.

Procedimiento. -

Se pesa 3 muestras de la gravilla de 3/8", EL P1= 1000 gramos, el P2= 1100 gramos y P3=950 gramos para realizar el ensayo, de igual manera se pesan 3 muestras para la grava de 3/4" con cantidades de P1=1095 gramos, P2= 960 gramos y P3=945 gramos.

Se escoge las partículas que se hallen fracturadas más del 25% del total de su área, además de separar todas aquellas que presenten formas alargadas, laminadas y de canto rodado.

Figura N°3. Separando las partículas fracturas, canto rodado, laminadas y alargadas





Datos obtenidos en la práctica:

Tabla N°7. Datos del ensayo de caras fracturadas

Ensayo	Lecturas		Promedio	Especificación	
	1	2			
Ensayo N°	1	2			
Peso total (grs.) (a) 3/4"	1000	1000			
Peso retenido tamiz n° 8 (grs.) (b)	820.70	933.50			
Caras no fracturadas (grs.) (a-b)	179.30	66.50			
% Caras fracturadas = $(b/a)*100$	82.07	93.35	87.71	>	75

Ensayo	Lecturas		Promedio	Especificación	
	1	2			
Ensayo n°	1	2			
Peso total (grs.) (a) 3/8"	1000	1000			
Peso retenido tamiz n° 8 (grs.) (b)	765.00	870.60			
Caras no fracturadas (grs.) (a-b)	235.00	129.40			
% Caras fracturadas = (b/a)*100	76.50	87.06	81.78	>	75

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

(Grava de 3/8")

$$\% \text{ de caras fracturadas} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz 8}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ de caras fracturadas} = \frac{870,6 \text{ gr.}}{1000 \text{ gr.}} * 100$$

$$\% \text{ de caras fracturadas} = 87.06\%$$

(Grava de 3/4")

Los cálculos se harán con la media ya que es el dato más representativo y su desviación estándar se halla en los límites:

$$\% \text{ de caras fracturadas} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz 8}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ de caras fracturadas} = \frac{933,5 \text{ gr.}}{1000 \text{ gr.}} * 100$$

$$\% \text{ de caras fracturadas} = 93,35\%$$

Porcentaje de partículas laminadas:

(Agregado de 3/4")

Tabla N°8. Datos del ensayo de caras laminadas (3/4")

Material	Peso retenido (gr)	Peso retenido partículas laminares (gr)	% Retenido partículas laminares
3/4"	1000	25.30	2.53
Peso total de la muestra	1000		
(%) Total de partículas laminares (Máximo 15%)			2.53

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

(Agregado de 3/4")

$$\% \text{ de part. laminadas} = \frac{\text{Peso ret. part. laminares}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ de part. laminadas} = \frac{25.3 \text{ gr}}{1000 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de part. laminadas} = 2.53\%$$

(Agregado de 3/8")

Tabla N°9. Datos del ensayo de caras laminadas (3/8")

Material	Peso retenido (gr)	Peso retenido partículas laminares (gr)	% Retenido partículas laminares
3/8"	1000	39.30	3.93
Peso total de la muestra	1000		
(%) Total de partículas laminares (Máximo 15%)			3.93

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

(Agregado de 3/8")

$$\% \text{ de part. laminadas} = \frac{39.3 \text{ gr}}{1000 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de part. laminadas} = 3.93\%$$

Porcentaje de partículas chatas y alargadas:

(Agregado de 3/4")

Tabla N°10. Datos del ensayo de partículas chatas (3/4")

Material	Peso retenido (gr)	Peso retenido partículas chatas alargadas (gr)	% Retenido partículas chatas alargadas
3/4"	1000	11.00	1.10
Peso total de la muestra	1000		
(%) Total de partículas chatas alargadas (Máximo 10%)			1.10

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

(Agregado de 3/4")

$$\% \text{ de part. chatas y alargadas} = \frac{\text{Peso chatas y alargadas}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ de part. chatas y alargadas} = \frac{11\text{gr}}{1000 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de part. chatas y alargadas} = 1,10\%$$

(Agregado de 3/8")

Tabla N°11. Datos del ensayo de partículas chatas (3/8")

Material	Peso retenido (gr)	Peso retenido partículas chatas alargadas (gr)	% Retenido partículas chatas alargadas
3/8"	1000	4.50	0.45
Peso total de la muestra	1000		
(%) Total de partículas chatas alargadas (Máximo 10%)			0.45

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

(Agregado de 3/8")

$$\% \text{ de part. chatas y alargadas} = \frac{\text{Peso chatas y alargadas}}{\text{Peso total de la muestra}} * 100$$

$$\% \text{ de part. chatas y alargadas} = \frac{4.5 \text{ gr}}{1000 \text{ gr}} * 100$$

$$\% \text{ de part. chatas y alargadas} = 0.45\%$$

3.4.4 Equivalente de la arena y agregados finos (ASTM D 2419)

Definición. - Este ensayo tiene por objetivo asignar un valor empírico a la cantidad relativa, finura y características del material fino, polvo nocivo o material arcilloso presente en una muestra de ensayo formado por suelo granular.

Procedimiento. -

Primero debemos hacer pasar el material por el tamiz No. 4 para tener una muestra representativa.

Con ayuda del embudo, se vierte la muestra aproximada de 40 gr de arena en el cilindro graduado.

Golpear varias veces el fondo del cilindro con la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y remojar la muestra completamente. Dejar en reposo durante 10 ± 1 minuto.

Figura N°4. Muestras de arena en reposo



Procedimiento de irrigación.

Colocar el tubo irrigador en la parte superior del cilindro y lavar el material de las paredes del cilindro, Dejar el cilindro y el contenido en reposo por $20 \text{ min} \pm 15\text{s}$. Comenzar a medir el tiempo inmediatamente después de retirar el tubo irrigador.

Al finalizar los 20 min del periodo de sedimentación, leer y anotar los niveles alcanzados.

Datos obtenidos en la práctica:

Tabla N°12. Datos del ensayo de equivalente de arena

Ensayo	Lecturas		Promedio	Especificación	
	1	2			
Ensayo N°					
Lectura nivel superior	7.20	7.20			
Lectura nivel inferior	3.20	3.30			
% De arena	44.44	45.83	45.10	>	45

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Utilizamos el promedio para realizar los cálculos:

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{\text{Lectura de nivel inferior}}{\text{Lectura de nivel superior}} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = \frac{7.2}{3.3} * 100$$

$$\text{Equivalente de la arena} = 45.83\%$$

3.4.5 Abrasión del agregado grueso máquina de los ángeles (ASTM C-131)

Definición. - Este ensayo emplea para determinar la resistencia de los agregados triturados a una carga abrasiva, empleando la máquina de desgaste de los Ángeles.

Procedimiento. - El tipo de abrasión que se realizará será de tipo B. La muestra antes de ensayarla será pesada contando con 5000 gramos.

La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles, La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad, luego se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en un tamiz más grueso que el de 1.70 mm (No.12).

Figura N°5. Material granular dispuesto para tamizar en el tamiz No. 12



Datos obtenidos en la práctica:

Desgaste de agregado de 3/4"

Tabla N°13. Datos del ensayo de desgaste de los Ángeles (3/4")

Pasado	Retenido	Cantidad tomada(gr)
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm)		3800
Diferencia		1200
Número de ensayos realizados		1

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{1200\text{gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 24.00 \%$$

Desgaste del agregado de 3/8"

Tabla N°14. Datos del ensayo de desgaste de los Ángeles (3/8")

Pasado	Retenido	Cantidad tomada(gr)
3/8"	1/4"	2500
1/4"	N° 4	2500
Retenido tamiz de corte N° 12 (1,7 mm)		4012
Diferencia		988
Número de ensayos realizados		1

Fuente: Elaboración propia**Cálculos:**

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{988\text{gr}}{5000} * 100$$

$$\% \text{ de desgaste} = 19.76 \%$$

3.4.6 Peso específico del agregado fino (ASTM D-128)

Definición. - Este ensayo tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso. El peso específico aparente es la relación entre el peso al aire del sólido y el peso del agua correspondiente a su volumen aparente.

Procedimiento.- Se debe primeramente homogeneizar completamente la muestra y eliminar el material de tamaño superior al tamiz No.4, se selecciona, por cuarteo, una cantidad de aproximadamente 1000 g, que se seca en el horno a 100 - 110°C, se enfría luego al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante. A continuación, se cubre la muestra completamente con agua y se la deja así sumergida durante 24 ± 4 horas.

Esta muestra se la deseca de forma uniforme, se lo coloca en un molde cónico que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla.

Inmediatamente, se introducen en el picnómetro previamente tarado, y se lo pesa sacando antes las burbujas que pudieron quedar atrapadas en su interior.

Figura N°6. Pesando la muestra previamente puesta a 25°C



Datos obtenidos en la práctica:

Tabla N°15. Datos del ensayo de peso específico de la arena

Descripción	Unidad	100%	100%	Promedio	
		Arena triturada	Arena triturada		
Peso frasco seco vacío (u)	grs.	230.90	230.90		
Peso frasco + muestra(f)	grs.	544.60	546.60		
Peso muestra saturada de superficie seca(x=f-u)	grs.	500.00	500.00		
Peso muestra seca (a)	grs.	494.60	495.00		
Peso agua (t)	grs.	572.80	572.00		
Peso muestra + agua (b)	grs.	886.50	887.70	H	Asfalto
Peso espec. del agreg. seco (a/((x+t)-b))	grs./cm ³	2.66	2.69	2.67	
P. e. a. Saturado sup. seco(x/((x+t)-b))	grs./cm ³	2.68	2.71	2.70	2.72
Peso específico aparente (a/(a+t)-b))	grs./cm ³	2.73	2.76	2.75	
% de Absorción ((x-a)/a)*100	%	1.09	1.01	1.05	1.05

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Se utilizará los datos del promedio por que son más representativos que la mediana.

Peso específico del agregado seco

$$\frac{\text{Peso muestra seca}}{((\text{Peso muestr. sat. sup seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso esp. del agre. seco} = \frac{494.60 \text{ gr}}{((500 \text{ gr} + 572.80\text{gr}) - 886.50)}$$

$$\text{Peso esp. del agre. seco} = 2,66 \text{ gr/cm}^3$$

Peso específico saturado superficie seco

$$\frac{\text{Peso muestra saturada superficie seca}}{((\text{Peso muestr. sat. sup seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso espec. satur. superficie seco} = \frac{500 \text{ gr}}{((500 \text{ gr} + 572.80 \text{ gr}) - 886.50 \text{ gr})}$$

$$\text{Peso espec. satur. superficie seco} = 2,68\text{gr/cm}^3$$

Peso específico aparente

$$\frac{\text{Peso muestra seca}}{((\text{Peso muestr. seca} + \text{Peso agua}) - \text{Peso muestra} + \text{agua})}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{494,6\text{gr}}{((494,6\text{gr} + 572.80 \text{ gr}) - 886.50\text{gr})}$$

$$\text{Peso específico aparente} = 2,73 \text{ gr/cm}^3$$

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

Este ensayo sirve para determinar los pesos específicos aparente y nominal, así como la absorción, después de 24 horas de sumergidos en agua, de los agregados con tamaño igual o mayor a 4.75 mm (tamiz No.4).

Procedimiento.- Se comienza por mezclar completamente el agregado de 3/4" una cantidad de 2069 gramos, y el agregado de 3/8 una cantidad de 1740 gramos.

Figura N°7. Saturando el agregado grueso de 3/8"



La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en un horno a 100° - 110°C

Después se lo sumerge en agua, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre un paño A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturada con superficie seca (S.S.S.)

A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergida en el agua, a la temperatura de 25°C

Datos obtenidos en la práctica:

Tabla N°16. Datos del ensayo de peso específico del agregado grueso

Descripción	Unidad	Grava 3/4 - N° 4	Grava 3/8 - N° 4	Promedio	
Peso muestra saturada de superf. seca (e)	grs.	3022	3033		
Peso material seco (f)	grs.	3000	3000		
Peso muestra + cesto suspendido en agua	grs.	1871	1884		
Peso del cesto suspendido en agua	grs.	0	0		
Peso muestra suspendida agua (g)	grs.	1871	1884	H	Asfalto
Peso específico del agregado seco (f / (e-g))	grs./cm ³	2.61	2.61	2.61	
P.e.a. saturado de superficie seca (e/(e-g))	grs./cm ³	2.63	2.64	2.63	2.66
Peso específico aparente (f/ (f-g))	grs./cm ³	2.66	2.69	2.68	
% de Absorción ((e-f)/f)*100	%	0.73	1.10	0.95	0.95

Fuente: Elaboración propia

3.4.8 Límites de Atterberg (Límite Líquido)

El contenido de humedad con el cual una masa de suelo colocada en un recipiente en forma de cuchara, se separa con una herramienta patrón y se deja caer desde una altura de 1 cm después de 25 golpes y ver el momento en el que se cierra la abertura creada.

Procedimiento.- Se pone en el plato una muestra representativa agregándole suficiente cantidad de agua mezclando. Se coloca en el aparato de Casa grande una cantidad que llena el plato y se hace un surco con el ranurador, cuando se tenga el surco bien definido se procede a hacer girar la manivela con una frecuencia de 2 golpes por segundo, contando el número de golpes necesarios para que la ranura cierre, finalmente se toma una pequeña cantidad de muestra que se junta en el fondo del surco para determinar la humedad.

Figura N°8. Muestra después de 8 golpes en el aparato de Casa Grande



Datos obtenidos en la práctica:

Tabla N°17. Datos del ensayo del límite líquido de la arena

N° Tara	Peso suelo hum.+tara	Peso suelo seco+tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% de hum.	N° de golpes
9	42.49	39.04	3.45	22.03	17.01	20.28	7
2	40.68	37.71	2.97	22.14	15.57	19.08	9

Fuente: Elaboración propia

Resultados:

Tabla N°18. Resultados del ensayo de límite líquido de la arena

Límite líquido	14.20		Límite plástico	N.P.	Índice de plasticidad	0.00	Clasificación AASHTO M 145	
							AASHTO	A - 1a (0)
Coefficiente de uniformidad	47.50	D60=	D30=	8.47	D10=	0.58	Unificada	

Fuente: Elaboración propia

Tabla de resultados.

Se presenta los siguientes resultados, los mismos que son comparados con su respectiva especificación exigida por la norma ASTM.

Tabla N°19. Resultados y comparaciones del agregado con norma ASTM

Ensayos	Especificación		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
% de caras Fracturadas en grueso 3/4"	75	-	87.71	ASTM D 5821-95
% de caras Fracturadas en grueso 3/8"	75	-	81.78	ASTM D 5821-95
% de partículas laminadas grueso 3/4"	-	15	2.53	ASTM D-4791
% de partículas laminadas grueso 3/8"	-	15	3.93	ASTM D-4791
% de partículas chatas y alargadas 3/4"	-	-	1,10	ASTM D-4791

% de partículas chatas y alargadas 3/8"	-	-	0.45	ASTM D-4791
Equivalente de la arena (%)	45	-	45.10	ASTM D-2419
Abrasión de gruesos 3/4" (%)	-	40	24	ASTM C-131
Abrasión de gruesos 3/8" (%)	-	40	19.76	ASTM C-131
Peso específico de finos (Tn/m ³)	-		2,72	ASTM D-128
Peso específico de agregado grueso 3/4" (Tn/m ³)	-		2,60	ASTM D-127
Peso específico de agregado grueso 3/8" (Tn/m ³)	-		2,63	ASTM D-127
Absorción de agregado Fino (%)	-		1,05	ASTM D-128
Absorción de agregado grueso 3/4" (%)	-		0.73	ASTM D-127
Absorción de agregado grueso 3/8" (%)	-		1.10	ASTM D-127

Fuente: Elaboración propia

3.5 Ensayo en el ligante asfáltico

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

3.6 Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol (ASTM E-102)

Definición.- Este ensayo se emplea normalmente para cementos asfálticos, emulsiones y aceites y sirve para determinar el tiempo en segundos, necesarios para que pasen 60 centímetros cúbicos de líquido, a una temperatura determinada, a través de un tubo de dimensiones específicas.

Procedimiento.- Se comienza el ensayo limpiando perfectamente el recipiente con un disolvente eficaz, por ejemplo, gasolina, teniendo cuidado de que no quede disolvente en el interior del cilindro.

Se echa en el recipiente ya limpio una cantidad de muestra que sea suficiente para mojar completamente su superficie dejando que fluya el exceso. Se coloca el tapón en la parte inferior del tubo de salida, de manera que quede introducido más de 6.3 mm. y menos de 9.5 mm.

Se vierte la muestra en el tubo hasta que deje de rebosar dentro del cilindro de rebose tras lo cual se mantendrá bien revuelta por medio del termómetro. La temperatura del baño se debe graduar hasta que la temperatura de la muestra dentro del tubo sea constante.

Se coloca el frasco calibrado de 60 cm³ en una posición tal que quede centrado con respecto al orificio de salida y que el material al fluir no toque las paredes del frasco.

El ensayo se empieza sacando rápidamente el tapón del corcho del tubo, poniendo en marcha al mismo tiempo el cronómetro. Se para el cronómetro cuando la parte inferior del menisco alcanza la graduación del cuello del frasco calibrado.

Figura N°9. Ensayo de viscosidad de Saybolt-Furol



Datos obtenidos en la práctica:

Tabla N°20. Datos del ensayo de viscosidad

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Viscosidad Saybolt 135 °C AASHTO T-72	Seg.	130	132
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Realizando el cálculo de la media de los ensayos realizados:

Resultado: 131 segundos

3.7 Ensayo de penetración (ASTM D-5)

La penetración se define como la distancia, expresada en décimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25°C (77°F) durante un tiempo de 5 s y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 gramos, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas.

Procedimiento.- Se separarán con una espátula caliente unos 400 a 500 gramos de material que se colocarán en un recipiente, que se calienta cuidadosamente hasta que este fluido se lo coloca en 3 moldes. Se lo deja enfriar por una hora a temperatura ambiente y se lo coloca en el baño María por una hora a de 25°C.

Una vez transcurridos los tiempos de inmersión, se aproxima la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre. Se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado. Finalmente, se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.

Figura N°10. Penetración de la muestra



Datos obtenidos:

Tabla N°21. Datos del ensayo de penetración

Ensayo		Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Penetración a 25°C, 100s. 5seg.(0.1mm)	Lectura N°1	mm.	93	91
	Lectura N°2	mm.	95	91
	Lectura N°3	mm.	91	92
Número de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: 92.2 a 25°C, 100s. 5seg. (0.1mm)

3.8 Ensayo de ductilidad (ASTM D-113)

El ensayo de ductilidad, da la distancia en centímetros que una muestra normalizada de ligante asfáltico puede alargarse antes de que se rompa en dos.

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

Se vierte el material en forma de chorro fino en un recorrido alternativo de extremo a extremo, hasta que se llene completamente y con un ligero exceso, evitando la inclusión de burbujas de aire.

Se deja enfriar a temperatura ambiente durante 30 a 40 minutos, sumergiéndola a continuación en el baño de agua a la temperatura de 25°C durante otros 30 minutos. A continuación, se retira la placa del molde, se quitan las piezas laterales y se da comienzo al ensayo.

Se pone en marcha el ductilímetro, el mecanismo de arrastre del ensayo a la velocidad especificada, hasta que se produzca la rotura midiéndose la distancia en cm que se haya separado ambas pinzas hasta ese instante.

Figura N° 11. Muestra en proceso de estirado



El material asfáltico entre las pinzas se va paulatinamente estirando hasta formar un hilo, produciéndose la rotura en un punto en el que el hilo no tiene apenas sección transversal.

Datos obtenidos:

Tabla N°22. Datos del ensayo de ductilidad

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51	cm.	130	127	129
Número de ensayos realizados		3		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Calculando la media de los ensayos realizados.

Resultado: 129 cm 25°C

3.9 Ensayo de punto de inflamación (ASTM D-92)

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

Procedimiento

Llenar la copa con el cemento asfáltico y se aplica calor inicialmente de tal manera que se incremente la temperatura. Cuando la temperatura de la muestra este por debajo del punto de llama esperado, se disminuye el calor de manera que la temperatura se aumente, para los últimos 28°C (50°F) antes de llegar al punto de inflamación.

Pasar la llama de ensayo a través del centro de la copa. Se registra como punto de inflamación, la lectura de temperatura sobre el termómetro cuando aparezca una llama en cualquier punto sobre la superficie.

Figura N°12. Punto de inflamación en proceso de ejecución



Datos obtenidos:

Tabla N°23. Datos del ensayo de punto de inflamación

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Punto de inflamación AASHTO T-48	°C	256	258
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia

Cálculos:

Realizando el cálculo de la medio de los ensayos realizados.

Resultado: 257°C

3.10 Ensayo de peso específico (ASTM D-70)

Se entiende como peso específico de un material a la relación de su peso en el aire a una temperatura dada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, a los 25°C.

Procedimiento

Se limpia el picnómetro para su calibración, esta operación de limpieza debe realizarse antes de cada calibración

Después de secado, se deja que el picnómetro alcance la temperatura ambiente y se pesa con aproximación de 1 mg. El peso del picnómetro vacío, se designa por A. El peso del picnómetro lleno de agua, se designa por B.

Preparación de la muestra.- Calentar con cuidado la muestra, hasta que sea fluida para que pueda ser vertida.

Verter una cantidad de muestra suficiente dentro del picnómetro limpio y seco previamente calentado, llenándolo hasta tres cuartos de su capacidad. Dejar enfriar el

picnómetro con su contenido hasta la temperatura ambiente. El peso del picnómetro con la muestra, se designa como C.

Llenar el picnómetro que contiene el asfalto con agua destilada, colocando firmemente el tapón en el picnómetro. Colocar el picnómetro en el vaso y apretar firmemente el tapón. Retornar luego el vaso al baño de agua a 25° C.

Mantener el picnómetro dentro del baño de agua durante un período no menor de 30 minutos. Sacar y pesar, este peso del picnómetro con la muestra y con agua, se designa como D.

Datos obtenidos:

Tabla N°24. Datos del ensayo de peso específico

Ensayo	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2
Peso picnómetro	gr.	62,02	62,0
Peso picnómetro + agua (25°c)	gr.	142,75	142,8
Peso picnómetro + muestra	gr.	125,72	122,6
Peso picnómetro + agua + muestra	gr.	143,9	144
Número de ensayos realizados	2		

Fuente: Elaboración propia

Cálculo:

Peso específico del cemento asfáltico

$$\frac{\text{Peso picnómetro+muestra}}{(\text{Peso picn.}+\text{agua})(\text{Peso pic+muestra}-\text{peso picnómetro})(\text{Pesopic.}+\text{agua+muestra})} * 0,997077$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = \frac{125,72\text{gr}}{((142,75\text{gr}) + 125,72\text{gr} - 62,02\text{gr}) - (143,9))} * 0,997077$$

$$\text{Peso Esp. del CA.} = 1,015 \text{ gr/cm}^3$$

De igual manera se calcula el peso específico de cemento asfáltico con los datos del ensayo 2 y se obtiene un promedio.

Resultado: Peso específico del CA=1,016 gr/cm³

Tabla de resultados

De los ensayos realizados se tiene los siguientes resultados, los mismos que son comparados con su respectiva especificación exigida, proveniente de la normativa AASHTO y del distribuidor, valores se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla N°25. Resultados y comparaciones de Cemento Asfáltico con norma ASTM

Ensayos	85-100		Resultado	Norma
	Mínimo	Máximo		
Viscosidad Saybolt-Furol a 135C, °C (seg)	85	-	131	ASTM D-102
Penetración muestra original (25 °C, 100gr, 5s)mm/10	85	100	92,20	ASTM D-5
Ductilidad a 25°C AASHTO T-51 (cm)	100	-	129	ASTM D-113
Punto de inflamación, Copa Cleveland, °C	232	-	257	ASTM D-92
Peso específico (gr/cm ³)	0,99	1,05	1,016	ASTM D-70
Punto de ablandamiento °C	43	46	43	ASTM D-36

Fuente: Elaboración propia

EVALUACION DE LA INCIDENCIA DE VARIABILIDAD DE LA TEMPERATURA EN EL MOMENTO DE DOSIFICACIÓN EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.

3.11. Mezcla asfáltica

3.11.1. Granulometría y mezcla de agregados

Granulometría (ASTM C-71)

El análisis granulométrico de un material tiene por objeto separar y clasificar los gránulos de los que está formado según su tamaño, esta separación se hace mediante una colección de tamices de malla cuadrada, para disponer a la dosificación de las briquetas.

Procedimiento

Primeramente se efectúa un muestreo para el agregado grueso mediante el cuarteo, que consiste en colocar a la muestra en el separador para obtener una muestra representativa que abarque el mayor tamaño de partículas. La muestra escogida de agregado grueso se coloca en una bandeja para determinar la masa de la bandeja y la muestra.

Granulometría del agregado grueso

Tomamos la muestra de 6746 gramos, que colocamos sobre la torre de tamices de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16 N°40 N°80, N°200, inmediatamente con movimientos circulares facilitamos que las partículas puedan retenerse o pasar en cada uno de los tamices.

Los resultados del ensayo se dan en porcentajes del peso total del material que pasa cada tamiz de dimensiones conocidas, para lo cual se pesan las respectivas cantidades retenidas y sumadas en forma acumulativa a las anteriores de tamaño mayor, estos pesos acumulados se divide para el peso total de la muestra ensayada y se multiplica por 100. La diferencia a 100 de cada uno de estos porcentajes acumulados nos da el porcentaje que deja pasar el tamiz correspondiente.

Figura N°13. Tamizando el material grueso



Granulometría del agregado fino

Pesamos una muestra de masa del agregado fino de 800 gramos, y procedemos a tamizar dando giros circulares y procurando que pase o se retenga el material en el tamiz.

Colocamos los tamices en orden de modo que el tamaño de abertura de los mismos sea decreciente, estos tamices estarán ordenados de la siguiente manera: (1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°10, N°40, N°80, N°200, y la bandeja).

Se realizó 3 granulometrías para obtener datos confiables estadísticamente: Las granulometrías se muestran en las siguientes tablas.

Tabla N°26. Granulometría del agregado

Peso total seco	3157,0 gr		3589,0 gr		800,0 gr		Abertura	
Tamiz	Grava - Alcaldía		Gravilla - Alcaldía		Arena Triturada - Alcaldía		Tamiz	
N°	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	Peso Ret.	% Que Pasa	% Que Pasa	mm.
1"	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	25,40
3/4"	57,0	98,2	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	19,10
1/2"	2007,0	36,4	0,0	100,0	0,0	100,0	0,0	12,70
3/8"	2995,0	5,1	1149,0	68,0	0,0	100,0	0,0	9,50
N° 4	3148,0	0,3	3360,0	6,4	33,2	95,9	0,0	4,75
N° 8	3150,0	0,2	3587,0	0,1	171,2	78,6	0,0	2,36
N° 16	3152,0	0,2	3587,0	0,1	280,3	65,0	0,0	1,18
N° 40	3153,0	0,1	3587,0	0,1	468,8	41,4	0,0	0,43
N° 80	3154,0	0,1	3587,0	0,1	579,7	27,5	0,0	0,18
N° 200	3155,0	0,1	3588,0	0,0	728,3	9,0	0,0	0,075

Fuente: Elaboración propia

3.11.2. Mezcla de agregados

En la presente investigación se realizará la mezcla de agregados provenientes de la planta de asfalto de la Alcaldía Municipal de la ciudad de Tarija ubicada en la comunidad de La Pintada, para la cual se ha determinado que la faja granulométrica de mezcla convencional que realiza el Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), para la construcción de caminos en la ciudad de Tarija es la siguiente faja de trabajo.

Para el diseño de dicha faja se utilizó los materiales que se disponía, tanto para el agregado grueso como para el fino, con lo cual se estableció que la mezcla de agregados estará compuesta por el 20% de agregado grueso de 3/4", 30% de grava de 3/8", 50% de agregado fino para la granulometría de la mezcla.

En la siguiente tabla se presenta los pesos del material retenidos en cada tamiz tanto para el agregado grueso y fino.

DOSIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PLANILLA DE GRANULOMETRÍA PROYECTADA

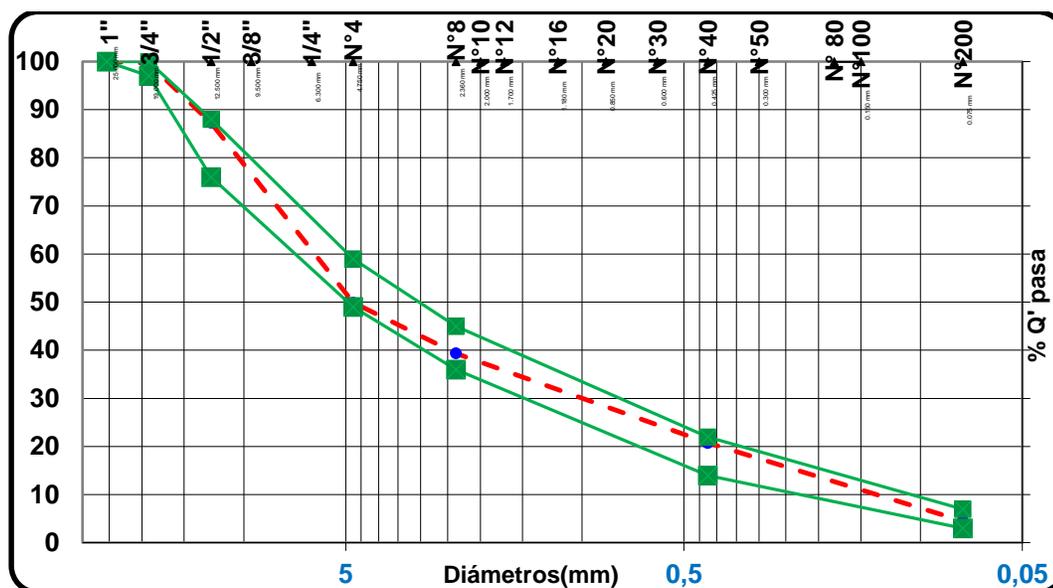
Tabla N°27. Dosificación para obtener el porcentaje óptimo de Cemento asfáltico

Agregado		<i>Grava - VAFERCON</i>		<i>Gravilla - VAFERCON</i>		<i>Arena - VAFERCON</i>		% Que pasa	Faja		Tolera ncias (+/-)	Faja			
% Usado		20%		30%		50%			Curva de trabajo	Inf.		Sup.	Especif. Grad. media	Inf.	Sup.
Tamices		% Total	% Enc.	% Total	% Enc.	% Total	% Enc.								
Pulg.	mm.														
1"	25,40	100,00	20,00	100,00	30,00	100,00	50,00	100,00	100	100	0%	100	100		
3/4"	19,10	98,20	19,60	100,00	30,00	100,00	50,00	99,60	97	100	0%	97	100		
1/2"	12,50	36,40	7,30	100,00	30,00	100,00	50,00	87,30	82	92	5%	76	88		
3/8"	9,50	5,10	1,00	68,00	20,40	100,00	50,00	71,40	0	0	0%	0	0		
N°4	4,75	0,30	0,10	6,40	1,90	95,90	47,90	49,90	43	57	7%	49	59		

N°8	2,360	0,20	0,00	0,10	0,00	78,60	39,30	39,40	34	44	5%	36	45
N°16	1,180	0,20	0,00	0,10	0,00	65,00	32,50	32,50	0	0		0	0
N°40	0,425	0,10	0,00	0,10	0,00	41,40	20,70	20,70	18	24	3%	14	22
N°80	0,180	0,10	0,00	0,10	0,00	27,50	13,80	13,80	0	0	0%	0	0
N°200	0,075	0,10	0,00	0,00	0,00	9,00	4,50	4,50	3	7	2%	3	7

Fuente: Elaboración propia

Figura N°14. Faja de trabajo para una mezcla convencional



Fuente: Elaboración propia

3.11.3. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico 85-100

3.11.3.1. Diseño de la mezcla asfáltica con el Método Marshall (ASTM D-1559)

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

1. Determinación del porcentaje óptimo de asfalto:

1.1. Ecuación N°1 Determinación de la cantidad aproximada de asfalto.

$$\%A = 0,035a + 0,045b + K.c + F$$

%A = % de asfalto en la mezcla.

a = % Retenido tamiz N°8.

b = % Pasante tamiz N°8.

c = % de agregado que pasa la malla N°200.

$K = 0,15$ si el % que retiene el tamiz 3/4" está entre 11% y 15%.

0,18 si el % que retiene está entre 6% y 10%.

0,20 si el % que retiene es el 5% o menos.

F= de 0 a 2% que varía según la absorción del material.

CÁLCULO:

$a = 49,6\%$

$b = 37,6\%$

$c = 5,2\%$

$k =$ Se toma el valor de 0,2 debido a que el retenido en el tamiz 3/4" es menor 5%

F (porcentaje de absorción de la mezcla de los agregados) = $(0,4 * 1,218) + (0,6 * 1,9) = 1,627$

$\%A = 0.035a + 0.045b + K.c + F$

$\%A = 0,035(49,6) + 0,045(37,6) + (0,2) * (5,2) + (1,627) \Rightarrow \%A = 6.05 \%$

Los porcentajes de asfalto para los que se trabajaran en las diferentes briquetas son los siguientes: 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%.

Preparación de las probetas.

- Para la dosificación de las probetas se utilizó la granulometría ya calculada anteriormente:
- Para determinar el contenido óptimo de asfalto se prepararán 6 grupos de briquetas para la mezcla de agregados, de forma que en las curvas que representen los resultados de los ensayos muestren un valor óptimo bien definido, cada grupo con diferente contenido de asfalto. Este contenido variara con incrementos de 0.5% de un grupo a otro grupo.

1. Porcentaje de cemento asfáltico 4,5%

Tabla N°28. Dosificación con cemento asfáltico de 4,5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	4,50%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,6	0,4	0,4	4,1	4,1
1/2"	87,3	12,7	12,4	141,6	145,7
3/8"	71,4	28,6	15,9	181,8	327,5
N°4	49,9	50,1	21,5	246,7	574,2
N°10	39,4	60,6	10,5	120,7	694,9
N°16	32,5	67,5	6,8	78,3	773,2
N°40	20,7	79,3	11,8	135,1	908,3
N°80	13,8	86,2	6,9	79,5	987,8
N°200	4,5	95,5	9,3	106,6	1094,4
Filler	0	100,0	4,5	51,6	1146,0
	Peso total=			1146,0	

Fuente: Elaboración propia

Peso muestra = 1146,0

Peso asfalto = 54,0

Peso total material + C. Asf. = 1200,0

2. Porcentaje de cemento asfáltico 5%

Tabla N°29. Dosificación con cemento asfáltico de 5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,00%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,6	0,4	0,4	4,1	4,1
1/2"	87,3	12,7	12,4	140,8	144,9
3/8"	71,4	28,6	15,9	180,8	325,8
N°4	49,9	50,1	21,5	245,4	571,2
N°10	39,4	60,6	10,5	120,1	691,3
N°16	32,5	67,5	6,8	77,9	769,2
N°40	20,7	79,3	11,8	134,4	903,5
N°80	13,8	86,2	6,9	79,1	982,6
N°200	4,5	95,5	9,3	106,0	1088,7
Filler	0	100,0	4,5	51,3	1140,0
	Peso total=			1140,0	

Fuente: Elaboración propia

Peso muestra = 1140,0

Peso asfalto = 60,0

Peso total material + C. Asf. = 1200,0

3. Porcentaje de cemento asfáltico 5,5%

Tabla N°30. Dosificación con cemento asfáltico de 5,5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,5%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,6	0,4	0,4	4,1	4,1
1/2"	87,3	12,7	12,4	140,1	144,2
3/8"	71,4	28,6	15,9	179,9	324,1
N°4	49,9	50,1	21,5	244,1	568,2
N°10	39,4	60,6	10,5	119,5	687,6
N°16	32,5	67,5	6,8	77,5	765,1
N°40	20,7	79,3	11,8	133,7	898,8
N°80	13,8	86,2	6,9	78,7	977,5
N°200	4,5	95,5	9,3	105,5	1082,9
Filler	0	100,0	4,5	51,1	1134,0
			Peso total=	1134,0	

Fuente: Elaboración propia

Peso muestra= 1134,0

Peso asfalto= 66,0

Peso total material + C. Asf.= 1200,0

4. Porcentaje de cemento asfáltico 6%

Tabla N°31. Dosificación con cemento asfáltico de 6%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,6	0,4	0,4	4,1	4,1
1/2"	87,3	12,7	12,4	139,3	143,4
3/8"	71,4	28,6	15,9	178,9	322,4
N°4	49,9	50,1	21,5	242,8	565,2
N°10	39,4	60,6	10,5	118,8	684,0
N°16	32,5	67,5	6,8	77,1	761,1
N°40	20,7	79,3	11,8	133,0	894,0
N°80	13,8	86,2	6,9	78,3	972,3
N°200	4,5	95,5	9,3	104,9	1077,2
Filler	0	100,0	4,5	50,8	1128,0
	Peso total=			1128,0	

Fuente: Elaboración propia

Peso muestra= 1128,0

Peso asfalto= 72,0

Peso total material + C. Asf.= 1200,0

5. Porcentaje de cemento asfáltico 6,5%

Tabla N°32. Dosificación con cemento asfáltico de 6,5%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	6.5 %	
				P. Parcial	P. Acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,6	0,4	0,4	4,1	4,1
1/2"	87,3	12,7	12,4	138,6	142,7
3/8"	71,4	28,6	15,9	178,0	320,6
N°4	49,9	50,1	21,5	241,5	562,2
N°10	39,4	60,6	10,5	118,2	680,4
N°16	32,5	67,5	6,8	76,6	757,0
N°40	20,7	79,3	11,8	132,3	889,3
N°80	13,8	86,2	6,9	77,8	967,1
N°200	4,5	95,5	9,3	104,4	1071,5
Filler	0	100,0	4,5	50,5	1122,0
	Peso total=			1122,0	

Fuente: Elaboración propia

Peso muestra= 1122 gr.

Peso asfalto= 78gr.

Peso total material + C. Asf.= 1200,0 gr.

6. Porcentaje de cemento asfáltico 7%

Tabla N°33. Dosificación con cemento asfáltico de 7%

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	7,0%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,6	0,4	0,4	4,0	4,0
1/2"	87,3	12,7	12,4	137,9	141,9
3/8"	71,4	28,6	15,9	177,0	318,9
Nº4	49,9	50,1	21,5	240,2	559,2
Nº10	39,4	60,6	10,5	117,6	676,7
Nº16	32,5	67,5	6,8	76,2	753,0
Nº40	20,7	79,3	11,8	131,5	884,5
Nº80	13,8	86,2	6,9	77,4	961,9
Nº200	4,5	95,5	9,3	103,8	1065,8
Filler	0	100,0	4,5	50,2	1116,0
	Peso Total=			1116,0	

Fuente: Elaboración propia

Peso muestra= 1116 gr.

Peso asfalto= 84 gr.

Peso total material + C. Asf.= 1200,0 gr.

Las tablas vistas anteriormente nos muestran las cantidades de agregado y cemento asfáltico a utilizar para realizar las briquetas y obtener los diferentes puntos, de esta manera poder obtener mediante una gráfica un porcentaje óptimo de cemento asfáltico para el diseño de la mezcla asfáltica.

3.11.4 Ensayo de viscosidad vs temperatura para la elaboración de mezclas de asfálticas convencionales

Ensayo de viscosidad vs temperatura del cemento asfáltico 85-100

El ensayo de viscosidad vs temperatura se lo realiza al cemento asfáltico 85-100, haciendo variar las temperaturas para poder conocer la temperatura de aplicación y la temperatura de compactación.

Ensayo de viscosidad - temperatura

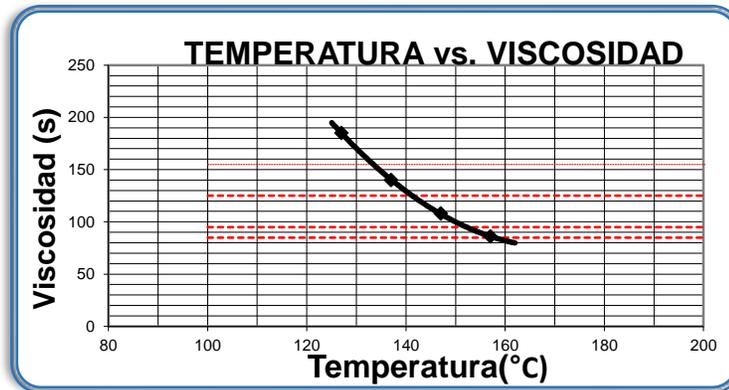
Tabla N°34. Variación de temperatura vs viscosidad

Punto	Temperatura (°C)	Viscosidad (seg)
1	127	185
2	137	140
3	147	108
4	157	86

Fuente: Elaboración propia

- a).- Aplicación.- Específica: Viscosidad 85 - 95 Saybolt Furol
Temperatura 153 y 157 °C
- b).- Compactado.- Específica: Viscosidad 125-155 Saybolt Furol
Temperatura 133 y 141 °C

Figura N°15. Análisis de la temperatura vs viscosidad del C.A. 85-100



Fuente: Elaboración propia

En el ensayo de viscosidad - temperatura del cemento asfáltico podemos observar la temperatura óptima de aplicación donde se podrán mezclar los agregados y el cemento asfáltico y también se observa la temperatura óptima de compactado con el martillo a 75 golpes para tráfico pesado.

3.12. Desarrollo de las briquetas

Equipo:

- Martillo de compactación.
- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza $A \pm 0.1$ gr.
- Bandejas metálicas.
- Placa de calentamiento.
- Termómetros (de contacto y laser)
- Espátula.
- Medidor de la estabilidad.
- Mezcla de agregados propios de la región.
- Asfalto 85-100

Procedimiento.- Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpia y calientan a una temperatura entre 100 y 150°C. Por un lado se pesan en bandeja separadas las diversas fracciones de áridos calculado para un grupo de briquetas, luego cada bandeja es colocada en la placa de calentamiento para calentar su contenido a una temperatura de 80 a 200 °C. Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 80 a 137°C.

Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.

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

Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a la temperatura de investigación y en ningún caso someterse a recalentamiento.

Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro interior y 3" de altura. La compactación se hace usando un martillo especial compuesto de:

Un disco circular de 3 7/8" de diámetro que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre el disco, el peso del matillo es de 10 libras y la altura de caída libre es de 18".

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara de la briketa en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 15 briquetas. El molde, conteniendo la briketa se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la briketa mediante un gato hidráulico.

Figura N°16. Golpeando con el martillo 75 golpes por cara



Figura N°17. Briquetas desmoldadas



3.12.1 *Ensayo de estabilidad y fluencia*

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

Primero se debe medir con un vernier las alturas en cuatro puntos de la briqueta y de esta manera determinar su altura media que será corregida mediante un factor de corrección.

Antes de realizar el ensayo las muestras deben ser se sumergidas en baño de agua a $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($140 \pm 1.8\text{ }^{\circ}\text{F}$) durante un tiempo no inferior a 30 minutos ni mayor a 40 minutos.

Se limpian perfectamente las superficies interiores de las mordazas. La temperatura de las mismas se debe mantener entre $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ (70 a $100\text{ }^{\circ}\text{F}$). Si es inferior, deberán calentarse en baño de agua hasta alcanzar la temperatura indicada. Se lubrican las varillas de guía con una película delgada de aceite de tal forma que la mordaza superior deslice fácilmente sin pegarse. Se debe verificar previamente a la aplicación de la carga que es indicador del dial del anillo de carga se encuentre en la posición correspondiente a cero.

Se coloca la briqueta en las mordazas y aplica la carga, a una velocidad de deformación constante de $50.8\text{ mm por minuto}$ ($2'' / \text{minuto}$) hasta que se produce la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida. El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($150\text{ }^{\circ}\text{F}$) se anota como valor de Estabilidad MARSHALL.

Mientras se realiza el ensayo de Estabilidad, se mantiene firmemente el medidor de deformaciones (Flujo) en posición sobre la varilla de guía y se lo quita cuando se obtiene la carga máxima; se lee y anota esta lectura como valor de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

Figura N°18. Ensayo Marshall. Diales de estabilidad y fluencia



Figura N°19. Briquetas después de pasar por la prensa



Desarrollo de la planilla:

1.2. Se realizará un cálculo demostrativo para la briqueta con porcentaje de cemento asfáltico de 5%

a) Identificación:

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

b) Altura de la briqueta:

Se miden las alturas después de haber procedido a la compactación con el martillo de las cuales para el porcentaje de asfalto de 5% sus alturas correspondientes son las siguientes:

Identificación	Altura Briqueta (cm)
1	6,37
2	6,38
3	6,30

c) Porcentaje de asfalto :

1c) Base de agregado:

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

$$\text{Base de agregado} = \frac{5 * 100}{100 - 5} \quad \text{Base de agregado} = 5.26$$

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 5%.

d) Peso de la biqueta en el aire

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

Identificación	Peso biqueta en el aire (gr)
1	1188,5
2	1192,7
3	1193,6

e) Peso de la biqueta en el aire saturado superficialmente seco (SSS)

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

Identificación	Peso biqueta en el aire S.S.S. (gr)
1	1190,0
2	1196,8
3	1195,0

f) Peso de la biqueta sumergida en el agua.

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

Identificación	Peso briqueta sumergida (gr)
1	682,0
2	683,7
3	682,0

g) Volumen de la briqueta:

$$\text{Vol. de briq.} = \text{Peso briq. en el aire SSS} - \text{Peso briq. sumergida}$$

$$\text{Vol. de briq.} = 1190,0\text{gr} - 682 \text{ gr} \quad \text{Vol. de briq.} = 508 \text{ gr.}$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

h) Densidad de la briqueta:

1h) Densidad real de la briqueta:

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{Peso briqueta en aire}}{\text{Volumen de briqueta}} \quad D \text{ real} = \frac{1188.5 \text{ gr}}{508 \text{ cm}^3}$$

$$D \text{ real} = 2,34\text{gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

2h) Densidad máxima teórica de la briqueta:

$$D_{max t} = \left(\frac{\% \text{ de asfalto}}{\text{peso esp. asfalto}} \right)^{100} + \left(\frac{100 - \% \text{ asfalto}}{\text{Peso esp. agre. grueso}} \right)$$

$$D_{max t} = \left(\frac{5}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right)^{100} + \left(\frac{100 - 5}{2,663 \text{ gr/cm}^3} \right)$$

$$D_{max t} = 2,483 \text{ gr/cm}^3$$

i) Porcentaje de vacíos:

1i) Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$V_v = \left(\frac{\text{Dens. briq. max. teórica} - \text{Dens. briq. promedio}}{\text{Densidad briqueta máxima teórica}} \right) * 100$$

$$V_v = \left(\frac{2,483 \text{ gr/cm}^3 - 2,33 \text{ gr/cm}^3}{2,483 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$V_v = 6.15\%$$

2i) Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM)

$$VAM = \left(\frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Densidad briq. promedio}}{\text{Peso especifico de asfalto}} \right) + \% \text{ de vacíos (Vv)}$$

$$VAM = \left(\frac{5 * 2,33 \text{ gr/cm}^3}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right) + 6.15\%$$

$$VAM = 17.62\%$$

3i) Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)

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

$$RBV = \left(\frac{17.62 - 6.15}{17.62} \right) * 100$$

$$RBV = 65.10\%$$

j) Estabilidad y fluencia:

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

Lectura dial		
Identificación	Estabilidad (Kg)	Fluencia 1/100
1	993	230
2	1005	295
3	902	270

No se realizó la corrección por el anillo ya que la prensa Marshall es electrónica y lo realiza la corrección por el anillo automáticamente, solo se procedió a realizar la conversión de kilogramo a libras.

$$\text{Estabilidad} = 993\text{Kg} \cdot \frac{2.205\text{Lb}}{1\text{Kg}}$$

$$\text{Estabilidad} = 2189,2 \text{ Lb}$$

Resumen de la estabilidad corregida para las briquetas de identificación 1, 2,3

Lectura dial		
Identificación	Estabilidad (Kg)	REAL(Lb)
1	993	2189,2
2	1005	2215,6
3	902	1988,5

Sacando la media:

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = \frac{C1 + C2 + C3}{3}$$

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = \frac{2189,2\text{Lb} + 2215,6\text{Lb} + 1988,5\text{Lb}}{3}$$

$$\text{Estabilidad}_{\text{media}} = 2131.10 \text{ Lb}$$

Factor de corrección de la altura (mm).- El factor de corrección por la altura de la briqueta se lo realiza con la tabla de correcciones que se halla en los Anexos la cual fue provista por el laboratorio de SEDECA.

Identificación	factor de corrección (altura)
1	0,995
2	0,993
3	1,013

$$\text{Factor}_{\text{media}} = \frac{0,995 + 0,993 + 1,013}{3}$$

$$\text{Factor}_{\text{media}} = 1.00$$

Estabilidad corregida para cada probeta.

$$\text{Estabilidad corregida} = 2131,10\text{Lb} * 1,00$$

$$\text{Estabilidad corregida} = 2131,10 \text{ Lb}$$

- Flujo corregido para 1:

$$\text{Flujo corregido} = \frac{230}{25,4}$$

$$\text{Flujo corregido} = 9,1$$

Resumen de la corrección de la fluencia:

Identificación	Fluencia corregida 1/100
1	9,1
2	11,6
3	10,6

$$\text{Fluencia media} = \frac{9,1 + 11,6 + 10,6}{3}$$

$$\text{Fluencia media} = 10,43$$

En la siguiente tabla se muestra la estabilidad y fluencia corregida para conocer el porcentaje óptimo de cemento asfáltico

Descripción	Estabilidad real (Lb)	Fluencia 1/100
1	2189,2	9,1
2	2215,6	11,6
3	1988,5	10,6

Nota.- De igual manera se procede a realizar los mismos cálculos para los siguientes datos de estabilidad y fluencia de las demás briquetas.

Obtenido todos estos valores como se indican en la siguiente Tabla se procedió a dibujar las curvas correspondientes a las siguientes relaciones.

- Porcentaje de Asfalto vs. densidad de la probeta.
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.
- Porcentaje de Asfalto vs. vacíos de agregado mineral (VAM)
- Porcentaje de Asfalto vs. porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV).
- Porcentaje de Asfalto vs. estabilidad corregida.
- Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo).

IDENTIFICACION	ALTURA BRIQUETA (CM)	% DE ASFALTO		PESO BRIQUETA EN EL AIRE (gr)	PESO BRIQUETA EN EL AIRE S.S.S. (gr)	PESO BRIQUETA SUMERGIDA EN AGUA (gr)	VOLUMEN BRIQUETA (cm3)	DENSIDAD BRIQUETA			% Vacíos			ESTABILIDAD (Lb)					LECT. DIAL	FLUJO 1 /100	MEDIA	
		BASE AGREGADO	BASE MEZCLA					REAL (Dr.) (kg/cm3)	PROMEDIO (Drm.) (kg/cm3)	MAXIMA TEORICA (kg/cm3)	MEZCLA (Vv)	AGREGADOS (VAM)	LLENOS DE ASFALTO (RBV)	LECT. DIAL	REAL	MEDIA	FACTOR DE CORRECCION (ALTURA)	MEDIA f.c.				CORREGIDA
				mm																		
		a	b	c	r	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p				
1	6,42	4,71	4,50	1185,5	1189,8	678,5	511,3	2,319					922	2032,6		0,983			200	7,9		
2	6,45	4,71	4,50	1190,0	1192,2	678,5	513,7	2,317					876	1931,2		0,975			190	7,5		
3	6,48	4,71	4,50	1186,2	1190,0	675,5	514,5	2,306	2,314	2,502	7,53	17,78	57,65	850	1873,9	1945,9	0,968	0,975	1897,3	205	8,1	7,81
4	6,37	5,26	5,00	1188,5	1190,0	682,0	508,0	2,340						993	2189,2		0,995			230	9,1	
5	6,38	5,26	5,00	1192,7	1196,8	683,7	513,1	2,324						1005	2215,6		0,993			295	11,6	
6	6,30	5,26	5,00	1193,6	1195,0	682,0	513,0	2,327	2,330	2,483	6,15	17,62	65,10	902	1988,5	2131,1	1,013	1,000	2131,1	270	10,6	10,43
7	6,41	5,82	5,50	1200,8	1203,3	691,5	511,8	2,346						1055	2325,9		0,985			340	13,4	
8	6,34	5,82	5,50	1186,8	1187,7	681,2	506,5	2,343						937	2065,7		1,003			380	15,0	
9	6,40	5,82	5,50	1190,2	1192,7	684,0	508,7	2,340	2,343	2,464	4,92	17,60	72,06	1120	2469,2	2286,9	0,988	0,992	2268,6	340	13,4	13,91
10	6,31	6,38	6,00	1188,6	1189,6	686,8	502,8	2,364						969	2136,3		1,011			355	14,0	
11	6,32	6,38	6,00	1188,6	1189,9	683,4	506,5	2,347						1080	2381,0		1,008			400	15,7	
12	6,35	6,38	6,00	1196,2	1198,0	689,5	508,5	2,352	2,354	2,446	3,74	17,64	78,82	925	2039,3	2185,5	1,000	1,006	2198,6	410	16,1	15,29
13	6,29	6,95	6,50	1184,5	1184,8	682,3	502,5	2,357						908	2001,8		1,016			410	16,1	
14	6,32	6,95	6,50	1184,0	1184,5	682,6	501,9	2,359						935	2061,3		1,008			370	14,6	
15	6,32	6,95	6,50	1190,0	1191,2	685,0	506,2	2,351	2,356	2,428	2,96	18,03	83,58	950	2094,4	2052,5	1,008	1,011	2075,1	400	15,7	15,49
16	6,34	7,53	7,00	1178,5	1179,4	678,0	501,4	2,350						770	1697,5		1,003			420	16,5	
17	6,41	7,53	7,00	1178,9	1179,5	677,2	502,3	2,347						714	1574,1		0,985			440	17,3	
18	6,32	7,53	7,00	1188,2	1189,6	683,5	506,1	2,348	2,348	2,410	2,54	18,72	86,42	750	1653,5	1641,7	1,008	0,999	1640,1	440	17,3	17,06

Fuente: Criterios de la normativa AASTHO

Gráficos de curvas de diseño de la mezcla asfáltica método Marshall

Gráficos de ensayos Marshall // cemento asfáltico

Figura N°20. Porcentaje de Asfalto vs. Densidad de la probeta

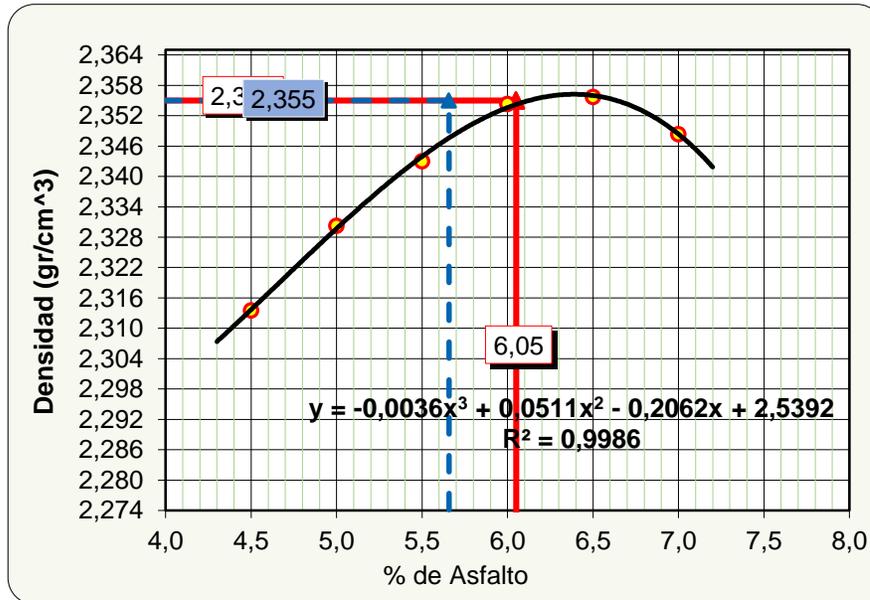


Figura N°21. Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total

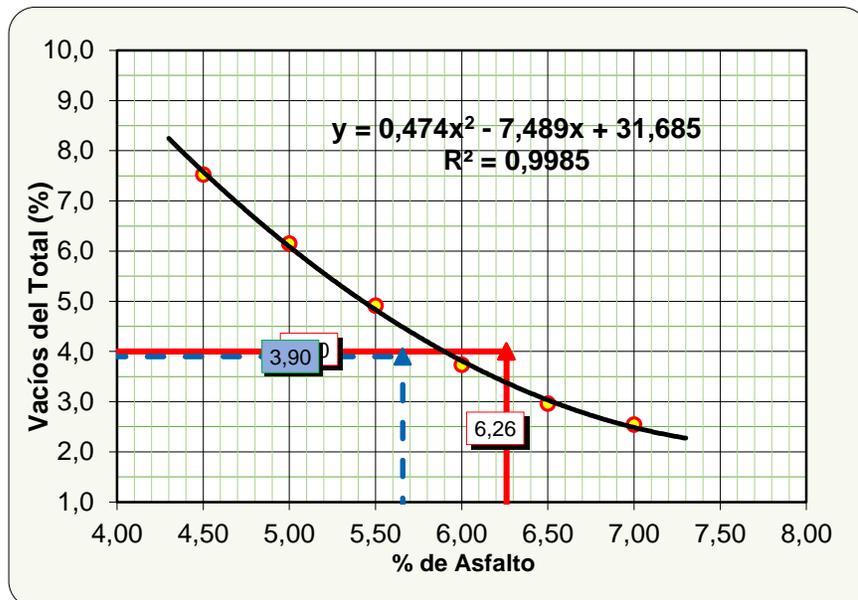


Figura N°22. Porcentaje de Asfalto vs. Vacíos de agregado mineral (VAM)

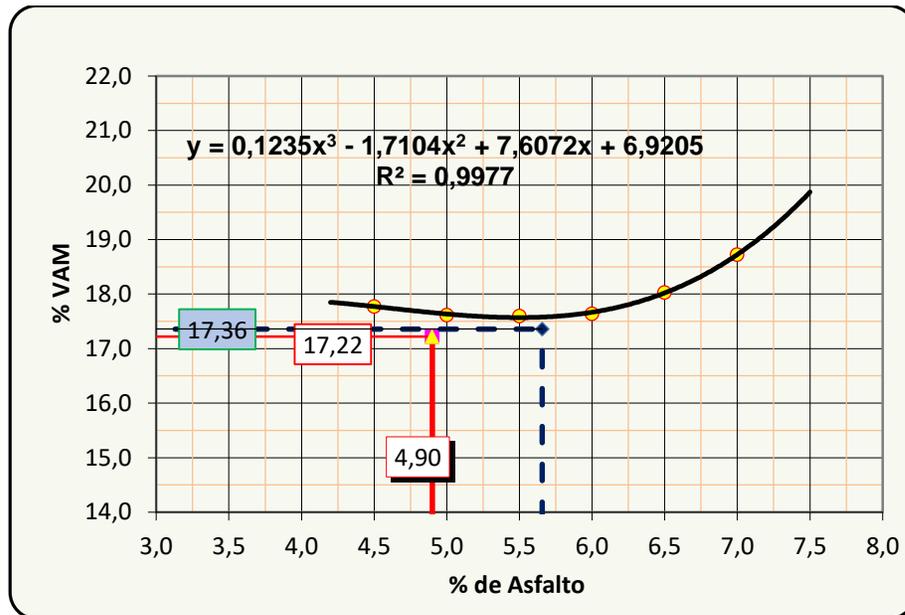


Figura N°23. Porcentaje de Asfalto vs. Porcentaje de vacíos llenos de Asfalto (RBV)

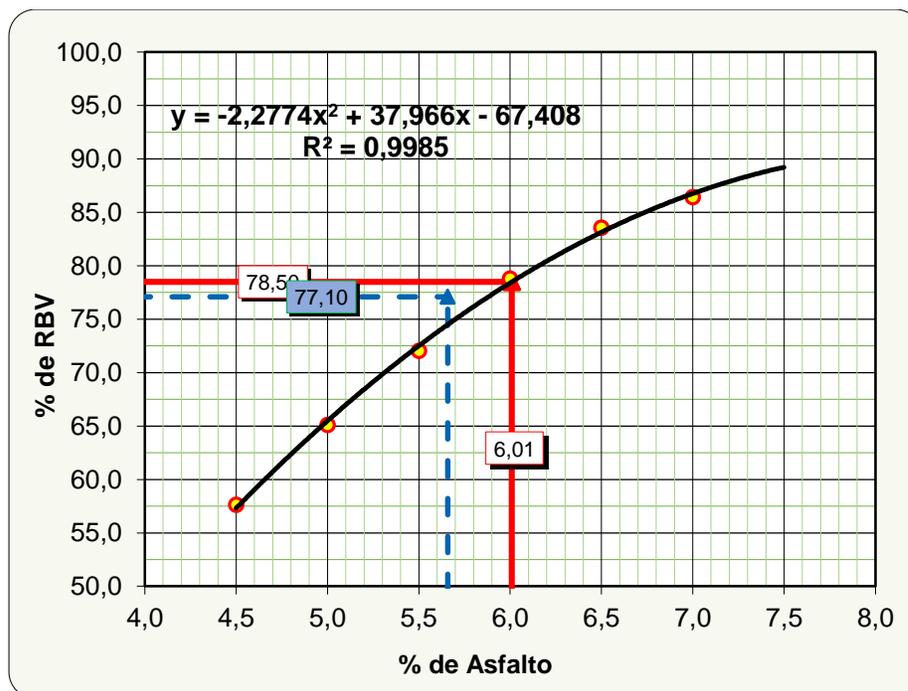


Figura N°24. Porcentaje de Asfalto vs. Estabilidad corregida

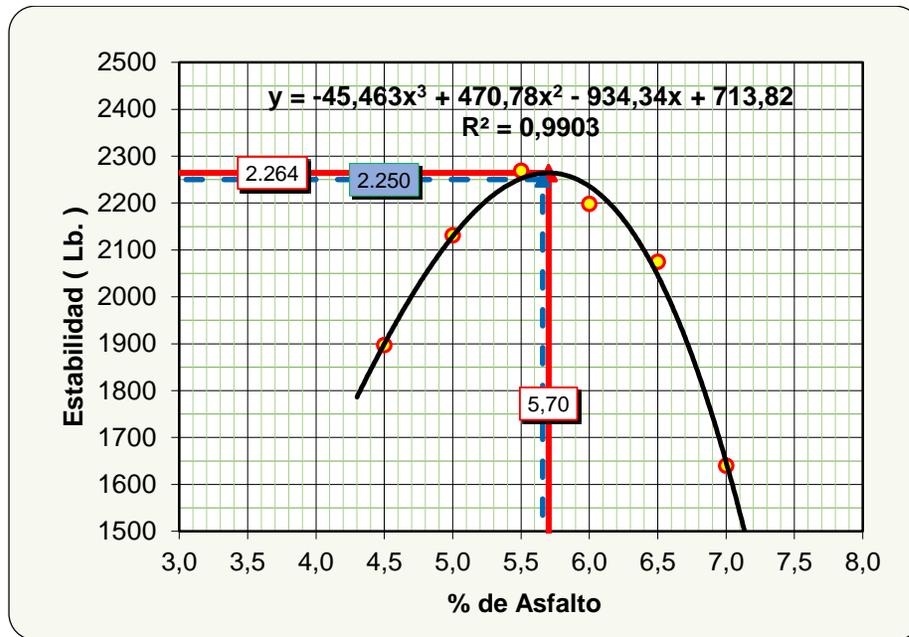


Figura N°25. Porcentaje de Asfalto vs. Fluencia (flujo)

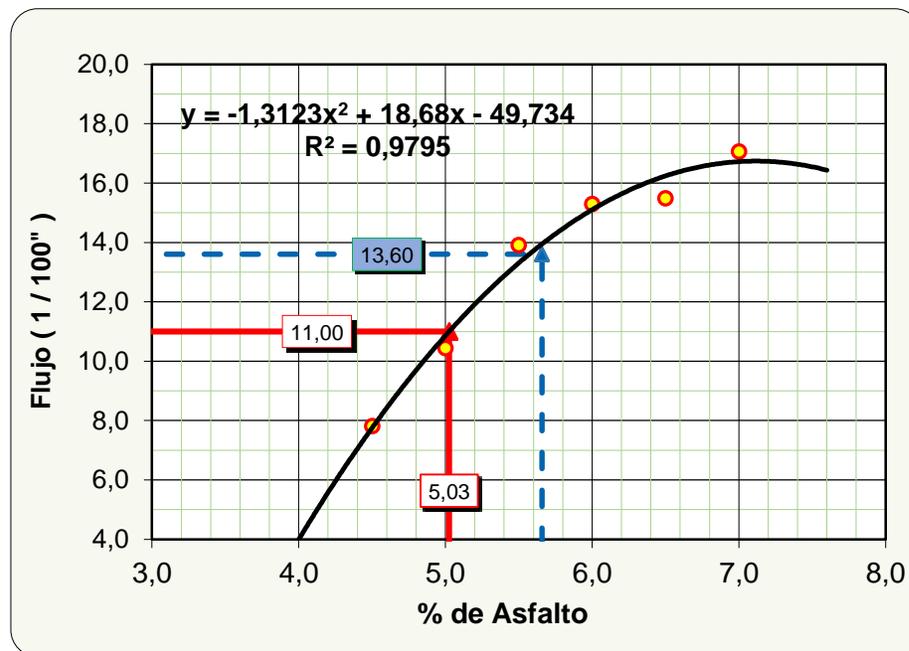


Tabla N°35. Resultados del ensayo MARSHALL

Valores				
Características	% de Asfalto	Obtenidos de gráficos	Especificaciones técnicas	
Densidad	6,05	2,355	-----	-----
% Vacíos	6,26	4,0	3	5
R.B.V.	6,01	78,5	75	82
V.A.M	4,90	17,2	15	
Estabilidad (Lb)	5,70	2264,3	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,22	12,0	8	16
Promedio (%)	5,69	Determinación del contenido óptimo de Asfalto Promedio de las Graficas		

Fuente: Criterios de la normativa AASTHO

Tabla N°36. Resultados del ensayo MARSHALL

Valores obtenidos diseño Marshall				
Características	% de Asfalto	Valores con él % óptimo	Especificaciones técnicas	
Densidad	5,69	2,355	-----	-----
% Vacíos	5,69	3,90	3	5
R.B.V.	5,69	77,10	75	82
V.A.M	5,69	17,36	15	
Estabilidad (Lb)	5,69	2250	> 1500 Lb. (75 Golpes)	
Fluencia 1/100"	5,69	13,60	8	16
% Óptimo de asfalto propuesto			5,69	

Fuente: Criterios de la normativa AASTHO

Asfalto \pm 3 % del Optimo de la Mezcla :	Min.	Max.
	5,51	5,87

El porcentaje óptimo de asfalto adoptado es de 5.75% que será utilizado para la realización de las mezclas convencionales.

3.13.Preparación de briquetas con mezcla convencional

Después de calcular el porcentaje óptimo del cemento asfáltico que es igual al 5.75% del total de la briketa de 1200 gramos, y calculado anteriormente la temperatura de mezclado y compactado de las briquetas se procede a pesar las muestras para su respectiva comparación, en la siguiente tabla se muestran los pesos retenidos en cada tamiz repartidos de manera homogénea para la realización de briquetas convencionales con cemento asfáltico 85-100.

Tabla N°37. Planilla de dosificación para la elaboración de mezclas convencionales con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico

Tamiz	% Pasa	% Retenido	% Ret. Tamiz	5,75%	
				P. Parcial	P. Acumulado
1"	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/4"	99,6	0,4	0,4	4,1	4,1
1/2"	87,3	12,7	12,4	139,7	143,8
3/8"	71,4	28,6	15,9	179,4	323,2
N°4	49,9	50,1	21,5	243,5	566,7
N°10	39,4	60,6	10,5	119,2	685,8
N°16	32,5	67,5	6,8	77,3	763,1
N°40	20,7	79,3	11,8	133,3	896,4
N°80	13,8	86,2	6,9	78,5	974,9
N°200	4,5	95,5	9,3	105,2	1080,1
Filler	0	100,0	4,5	50,9	1131,0
Peso Total=				1131,0	

Fuente: Elaboración propia

Peso muestra= 1131 gr

Peso asfalto= 69 gr

Peso total material + C. Asf.= 1200 gr

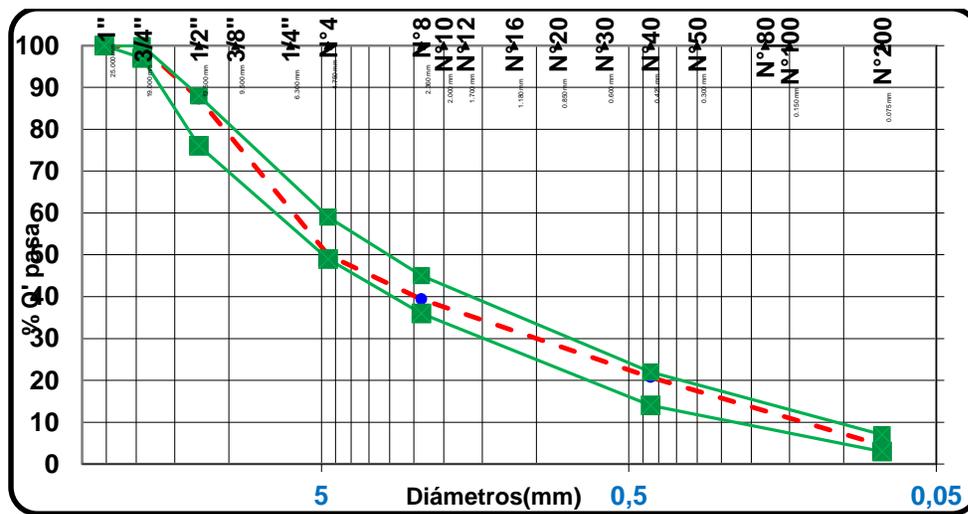
Figura N°26. Áridos listos para ser pesados en la balanza.



3.14. Mezclas Asfálticas

3.14.1. Descripción del ensayo.- Se utilizara el porcentaje de cemento asfáltico 5.75% para la fabricación de la mezcla asfáltica.

Figura N° 27 Curva granulométrica



Fuente: Elaboración propia

Después de conocer la distribución granulométrica y su respectiva faja de trabajo se procede a realizar el pesado de los materiales para luego realizar su respectiva compactación.

Una vez conocido el porcentaje óptimo del cemento asfáltico y la temperatura de mezclado que ira variando de 10 grados en 10 grados y compactado de las briquetas se procede a pesar las muestras para su respectiva compactación con el martillo.

3.14.2. Fabricación de briquetas

Conociendo todos los parámetros establecidos se procede a fabricar 10 briquetas de mezclas convencionales debido a que estas serán el tipo de briquetas de mezclas a dosificar, variando la temperatura.

3.14.3. Elaboración de las briquetas

Equipo:

- Martillo de compactación.
- Dispositivo para moldear probetas.
- Extractor de probetas.
- Balanza $A \pm 0.1$ gr.
- Bandejas metálicas.
- Placa de calentamiento.
- Termómetro
- Espátula.
- Medidor de la estabilidad.
- Mezcla de agregados propios de la región.
- Asfalto 85/100

Procedimiento

Fabricación de briquetas convencionales:

Antes de preparar la mezcla, el conjunto del molde y la base de compactación se limpian y calientan a una temperatura entre 80 y 210°C. Por un lado se pesan en bandeja separadas las diversas fracciones de áridos calculado para un grupo de briquetas, luego

cada bandeja es colocada en el horno para calentar su contenido a una temperatura de 90°C para el primer grupo de briquetas. Por otro lado se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 80 a 100°C.

Durante su calentamiento el agregado y sobre todo el asfalto deben agitarse para evitar sobrecalentamientos locales.

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

Se mezcla el asfalto con los agregados, hasta tener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla debe estar a 80°C y no debe elevar la temperatura ya que esto daría a fallas en el mesclado a una temperatura fija para el grupo de briquetas a 80 grados y no someterse a recalentamiento.

Se compacta la mezcla en un molde abierto por ambos extremos y que tienen 4" de diámetro interior y 3" de altura. La mezcla a compactarse son 10 briquetas convencionales, a una temperatura de 80 °C. La compactación se hace usando un martillo especial compuesto de:

Un disco circular de 3 7/8" de diámetro que se fija sobre la superficie de la mezcla a compactarse; un martillo en forma de cilindro hueco que se desliza a lo largo de una guía y cae sobre el disco, el peso del matillo es de 10 libras y la altura de caída libre es de 18".

Para el diseño de esta mezcla se aplicaron 75 golpes por cada cara en la compactación, proyectadas para vías de tráfico pesado y se fabricaron 10 briquetas. El molde, conteniendo la biqueta se dejó enfriar a temperatura ambiente durante una noche y luego se extrajo la biqueta mediante un gato hidráulico.

3.15. Datos obtenidos del ensayo Marshall

Tabla N°38. Datos después de someter a la prensa Marshall de las briquetas a 80°C

Muestra	Altura briqueta	Peso seco	Peso sumergido	Peso superficial	Estabilidad	Fluencia
N°	cm.	gr.	gr.	gr.	Kg.	mm de pulg.
1	6,55	1200,00	678,90	1206,50	694	254
2	6,61	1200,00	677,10	1205,20	750	241
3	6,58	1199,50	677,10	1206,60	605	221
4	6,62	1198,40	673,40	1205,10	630	230
5	6,71	1198,80	670,70	1208,10	645	225
6	6,55	1198,00	678,95	1205,50	695	250
7	6,61	1199,00	677,15	1204,40	730	245
8	6,58	1198,00	677,15	1205,60	615	221
9	6,62	1198,40	673,40	1205,10	635	230
10	6,53	1198,60	670,65	1208,20	650	220

Fuente: Elaboración propia

3.16. Corrección de la estabilidad y la fluencia

El cálculo de corrección se lo realizará para las briquetas de la mezcla convencional los mismos cálculos son repetitivos para los demás especímenes.

Briquetas realizadas con cemento asfáltico 85-100:

Desarrollo de la planilla:

- Identificación: Las Briquetas C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10 serán las que analizaremos en el documento:
- Altura de la briqueta: Se miden las alturas en 4 puntos de la briqueta después de haber procedido a la compactación con el martillo a 75 golpes para cada cara, sus alturas medias calculadas correspondientes son las siguientes:

Tabla N°39. Altura de las briquetas

Identificación	Altura briqueta (cm)
C1	6,55
C2	6,61
C3	6,58
C4	6,62
C5	6,71
C6	6,55
C7	6,61
C8	6,58
C9	6,62
C10	6,53

Fuente: Elaboración propia

- Porcentaje de asfalto.- Se calcula con el porcentaje óptimo calculado anteriormente que es igual a 5.75%.

1c) Base de agregado:

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

$$\text{Base de agregado} = \frac{5.75 * 100}{100 - 5.75}$$

$$\text{Base de agregado} = 6,1$$

2c) Base de la mezcla: Se toma el porcentaje de asfalto para elaborar las 10 briquetas en este cálculo el porcentaje de asfalto es de 5.75%

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

Tabla N°40. Peso en aire de las briquetas

Identificación	Peso briqueta en el aire (gr)
C1	1200,00
C2	1200,00
C3	1199,50
C4	1198,40
C5	1198,80
C6	1198,00
C7	1199,00
C8	1198,00
C9	1198,40
C10	1198,60

Fuente: Elaboración propia

- Peso de la briqueta en el aire saturado superficialmente seco (SSS)

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

Tabla N°41. Peso en aire de las briquetas (s.s.s.)

Identificación	Peso briqueta en el aire s.s.s. (gr)
C1	1206,50
C2	1205,20
C3	1206,60
C4	1205,10
C5	1208,10
C6	1205,50
C7	1204,40
C8	1205,60
C9	1205,10
C10	1208,20

Fuente: Elaboración propia

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

Tabla N°42. Peso de briqueta sumergida

Identificación	peso briqueta sumergida en el agua (gr)
C1	678,90
C2	677,10
C3	677,10
C4	673,40
C5	670,70
C6	679,00
C7	677,20
C8	677,20
C9	673,40
C10	670,70

Fuente: Elaboración propia

- Volumen de la briqueta:

Vol. de briq. = Peso briq. en el aire SSS – Peso briq. sumergida

Vol. de briq. = 1197,2 gr – 682,6 gr

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

- Densidad de la briqueta:

1h) Densidad real de la briqueta:

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

$$D \text{ real} = \frac{1186,8 \text{ gr}}{514,6 \text{ cm}^3}$$

$$D \text{ real} = 2,306 \text{ gr/cm}^3$$

Cálculo realizado para la briqueta de identificación “1”

2h) Densidad máxima teórica de la briqueta:

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{\% \text{ de asfalto}}{\text{peso esp. asfalto}} \right)^{100} + \left(\frac{100 - \% \text{ asfalto}}{\text{Peso esp. agre. grueso}} \right)$$

$$D \text{ maxt} = \left(\frac{5,75}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right)^{100} + \left(\frac{100 - 5,75}{2,663 \text{ gr/cm}^3} \right)$$

$$D_{\text{max t.}} = 2,455 \text{ gr/cm}^3$$

- Porcentaje de vacíos:

1i) Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv)

$$Vv = \left(\frac{\text{Dens. briq. max. teorica} - \text{Dens. briq. promedio}}{\text{Densidad briqueta maxima teorica}} \right) * 100$$

$$Vv = \left(\frac{2,455 \text{ gr/cm}^3 - 2,26 \text{ gr/cm}^3}{2,455 \text{ gr/cm}^3} \right) * 100$$

$$Vv = 7,95\%$$

2i) Porcentaje de vacíos de los agregados (VAM)

$$VAM = \left(\frac{\% \text{ de asfalto} * \text{Densidad briq. promedio}}{\text{Peso especifico de asfalto}} \right) + \% \text{ de vacios (Vv)}$$

$$VAM = \left(\frac{5,75 * 2,260 \text{ gr/cm}^3}{1,016 \text{ gr/cm}^3} \right) + 7,95\% \quad ; \quad VAM = 20,74\%$$

3i) Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV)

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

$$RBV = \left(\frac{20,74 - 7,95}{20,74} \right) * 100 \quad ; \quad RBV = 61,65\%$$

k) Estabilidad (Lb)

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

Tabla N°43. Datos de estabilidad y fluencia

Descripción	Lectura dial	
	Estabilidad (Kg)	Fluencia (1/100)
C1	694	254
C2	750	241
C3	605	221
C4	630	230
C5	645	225
C6	695	250
C7	730	245
C8	615	221
C9	635	230
C10	650	220

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la conversión de unidad de los datos obtenidos por la prensa Marshall y posteriormente la corrección por altura de la estabilidad:

$$\text{Estabilidad} = 694\text{Kg} * \frac{2.205 \text{ Lb}}{1\text{Kg}} = 2.205$$

$$\text{Estabilidad} = 1530,00 \text{ Lb}$$

- Estabilidad corregida para C1:

$$\text{Estabilidad corregida} = 1530,00\text{Lb} * 0,953$$

$$\text{Estabilidad corregida} = 1458,09 \text{ lb}$$

Nota.- De igual manera se procede a realizar los mismos cálculos para los siguientes datos de estabilidad y fluencia de las demás briquetas, las tablas para todas las temperaturas se encuentran el ANEXO.

3.17. Tratamiento estadístico

Calculo de la Media para 100°C.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

$$\text{MEDIA} = \frac{907+879+747+905+881+775+906+880+778+785}{10} = \mathbf{844.30 \text{ Kg.}}$$

Calculo de la mediana.

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

Ordenando de menor a mayor

$$\text{Mediana} = 747+775+778+785+879+880+881+905+906+907$$

$$\text{Mediana} = \frac{879+880}{2} = 879.50$$

Calculo de la desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$S = \sqrt{\frac{33854.31}{9}} = 3761.59 \quad S = 64.49$$

Calculo de la varianza.

$$\text{Varianza} = \frac{\text{DESVIACION ESTANDAR} * 100}{\text{MIDIA}} = \frac{64.49 * 100}{844.30}$$

$$\text{Varianza} = 7.68 \%$$

Nota.- De igual manera se procede a realizar los mismos cálculos para los datos obtenidos de las demás briquetas y temperaturas siguientes una vez procesadas.

Tabla N° 44. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 80°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	664,90	233,70
Mediana	647,50	230,00
Desviación estándar	49,49	12,79
Varianza %	7,44	5,47

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 45. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 100°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	844.30	311.70
Mediana	879.50	312.50
Desviación estándar	64.49	24.63
Varianza %	7.64	7.90

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 46. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 110°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	929.10	303.00
Mediana	921.00	305.00
Desviación estándar	25.75	7.89
Varianza %	2.77	2.61

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 47. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 120°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	1014.00	295.00
Mediana	1021.00	295.00
Desviación estándar	57.73	10
Varianza %	5.69	3.39

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 48. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 130°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	1015.60	268.30
Mediana	1030.50	275.00
Desviación estándar	27.78	15.60
Varianza %	2.74	5.81

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 49. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 140°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	1018.70	240.00
Mediana	1021.50	240.00
Desviación estándar	32.93	24.83
Varianza %	3.23	10.35

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 50. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 150°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	1124.10	249.00
Mediana	1112.00	242.50
Desviación estándar	33.95	22.21
Varianza %	3.02	8.92

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 51. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 160°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	1243.60	256.50
Mediana	1217.00	267.50
Desviación estándar	38.42	31.54
Varianza %	3.09	12.30

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 52. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 170°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	1409.20	286.00
Mediana	1396.00	292.50
Desviación estándar	30.15	16.30
Varianza %	2.14	5.70

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 53. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 180°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	1575.00	315.00
Mediana	1575.00	315.00
Desviación estándar	24.49	4.08
Varianza %	1.56	1.30

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 54. Evaluación estadística de los datos de las briquetas realizadas a 200°C

	Estabilidad	Fluencia
Media	1489,90	233,30
Mediana	1505,00	236,50
Desviación estándar	61,69	11,30
Varianza %	4,14	4,85

Fuente: Elaboración propia

3.17.1. Análisis e interpretación de los resultados confiables

Se realizó el análisis mediante la media aritmética y la mediana, cuya interpretación es la siguiente:

- Briquetas realizadas con (cemento asfáltico 85/100)

Los datos depurados no reúnen las condiciones estadísticas de borde, los mismos tienen la descripción de C1 para la estabilidad, datos que no serán tomados en cuenta para los cálculos posteriores.

De todos los datos tabulados ninguno fue depurado por cumplir las condiciones de borde.

3.18. cálculos y resultados del procesamiento de las briquetas

Para una mejor visualización de los resultados se elabora la siguiente tabla de los datos medios estadísticos con los cuales se procedió a graficar:

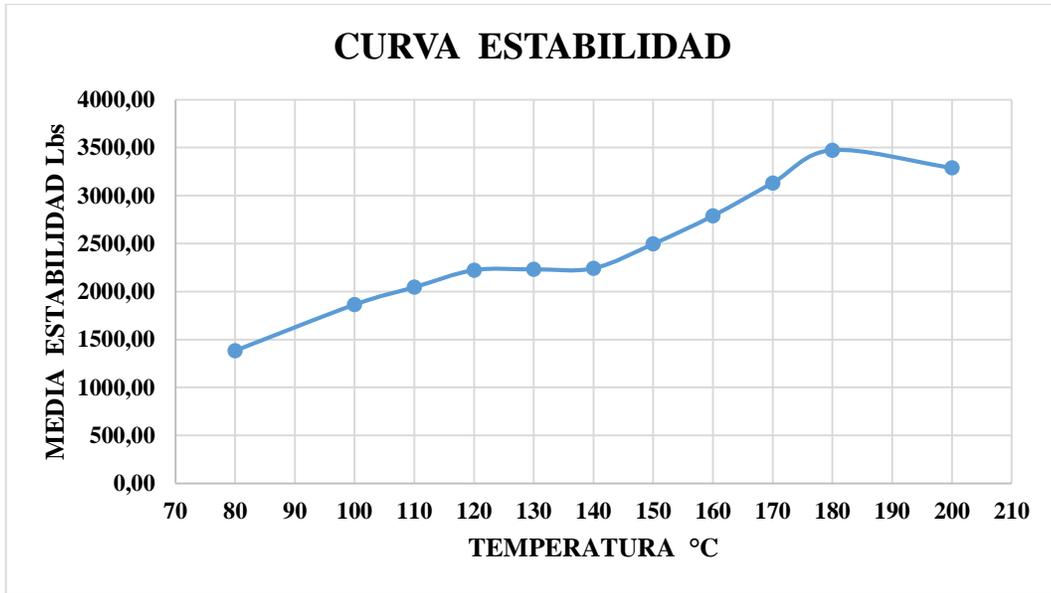
Tabla N° 55. Resultados Medias de las propiedades físicas mecánicas de la mezcla asfáltica a distintas temperaturas

Cuadro resumen de cálculo y procesamiento de las briquetas

Temperatura	Med. Est	Med. Flu	Med. Vacíos	Med. Peso Espf.	Med. volumen
°C	Lbs	Pulg.	%	Kg./cm³	cm³
80	1383,80	9,20	7,95	2,26	530,60
100	1863,20	12,27	4,59	2,34	508,50
110	2044,20	11,93	4,28	2,35	507,30
120	2222,10	11,61	3,96	2,36	506,00
130	2230,00	10,56	3,91	2,36	504,20
140	2241,30	9,45	3,85	2,36	502,40
150	2495,50	9,80	3,70	2,36	501,90
160	2788,20	10,10	3,54	2,37	501,40
170	3131,60	11,26	3,77	2,36	503,00
180	3472,20	12,40	4,00	2,36	504,70
200	3287,90	9,19	4,58	2,34	510,30

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 1. Curva Estabilidad Vs Temperatura



Fuente: Elaboración propia

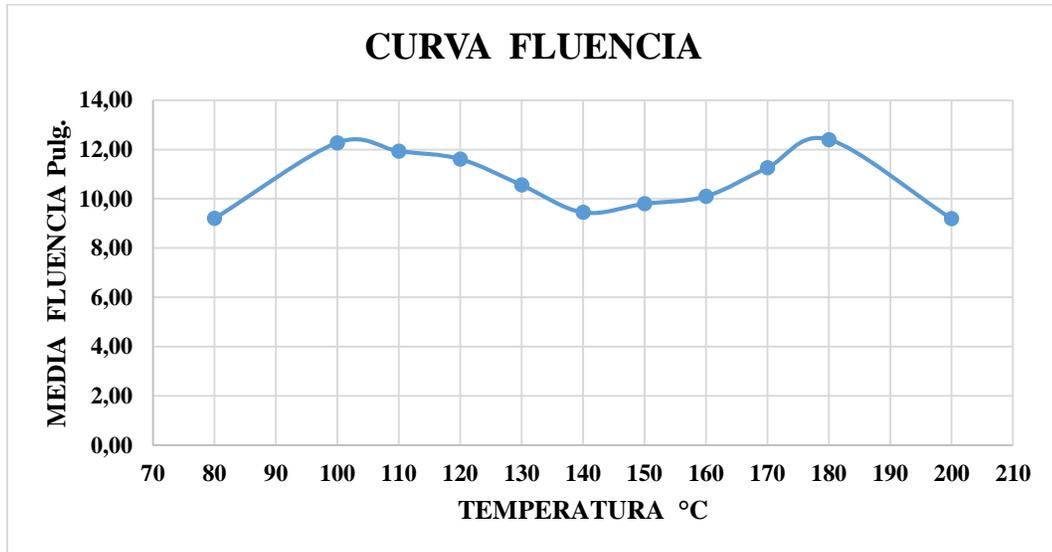
Análisis

En la curva de estabilidad versus temperatura se puede apreciar que la curva es de forma ascendente donde se puede distinguir que hay un quiebre suave en la temperatura 120 y 140 grados, donde se comporta de forma de una recta ascendente con una pendiente muy baja, esto quiere decir que a estas temperaturas son las óptimas para una mezcla semi-caliente, la cual tiene como rango de 100°C a 150°C.

A partir de la tempera de 140 a 180 grados la estabilidad aumenta en forma ascendente donde se puede constatar que a partir de los 140 grados la mezcla asfáltica se comporta de una forma homogénea aumentando su estabilidad, ya que se entra a las mezclas convencional caliente que va de los 150°C a los 180°C.

También se puede interpretar que de 120°C a 140°C son las temperaturas óptimas para la compactación de la mezcla convencional que se elaboró en el laboratorio ya que no existe mucha variación en la estabilidad de la mezcla.

Gráfica N° 2. Curva Fluencias Vs Temperatura



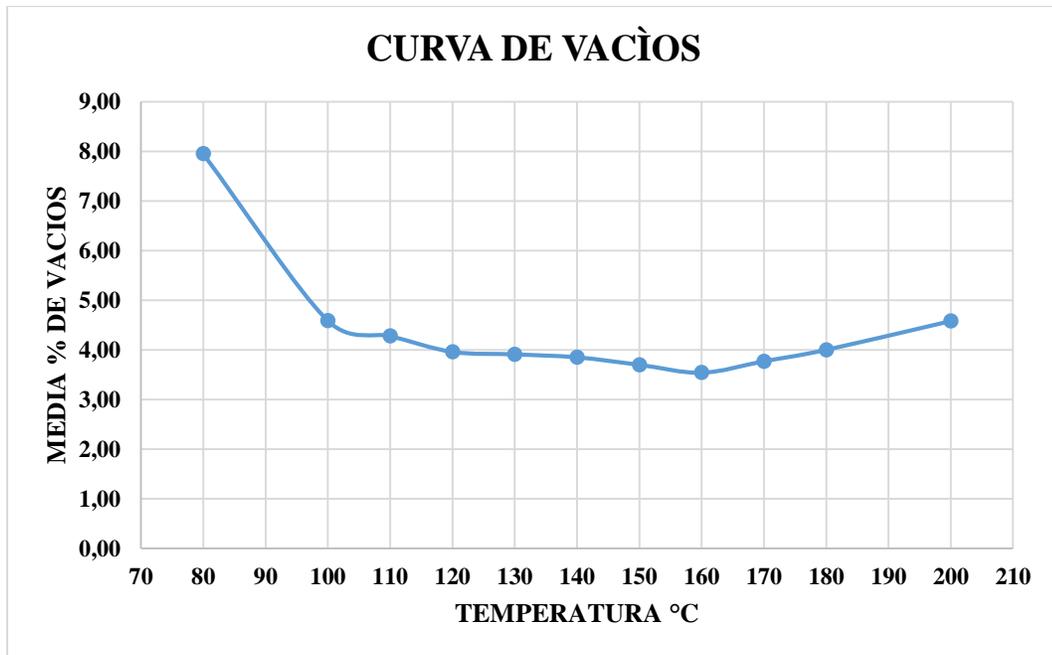
Fuente: Elaboración propia

Análisis

En la curva de fluencia se puede constatar que a los 140 grados se presenta la menor deformación o fluencia hasta los 160 grados se comporta de forma estable sin presentar grandes deformaciones.

En los puntos extremos a 80°C y 200°C se presentan las deformaciones más pequeñas consideradas erróneas ya que no cumplen con las especificaciones técnicas de la AASHTO de temperatura, porcentaje de vacíos.

Gráfica N° 3. Curva Vacíos Vs Temperatura

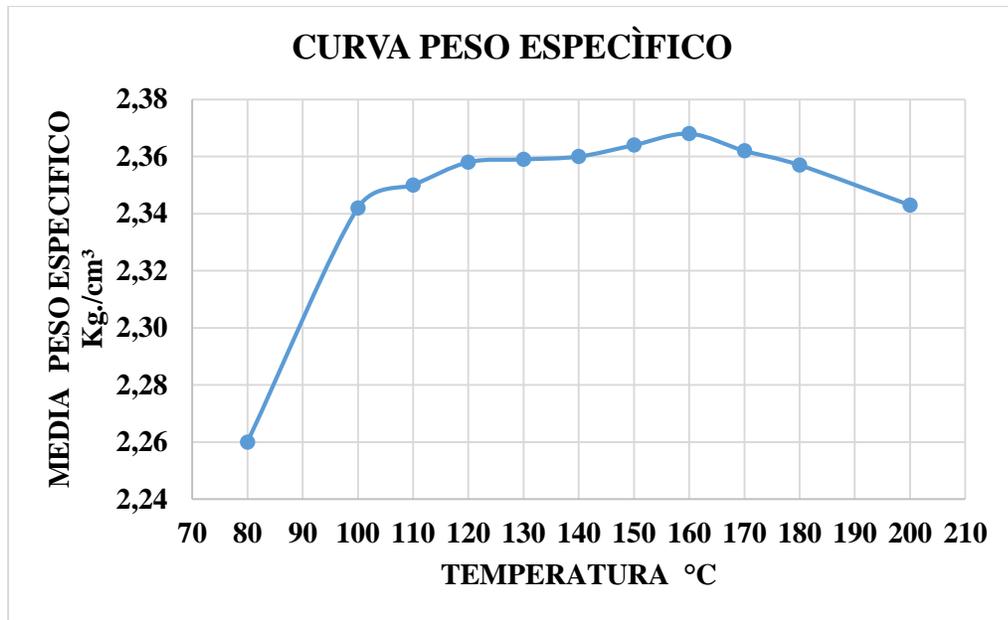


Fuente: Elaboración propia

Análisis

En la curva de vacíos se puede visualizar que a mayor temperatura de dosificación sin perder las cualidades del asfalto es menor el porcentaje de vacíos, donde también se puede evidenciar que en las temperaturas 140,150 y 160 se comportan de forma estable sin presentar mucha variación en su porcentaje de vacíos.

Gráfica N° 4. Curva Peso Específico Vs Temperatura

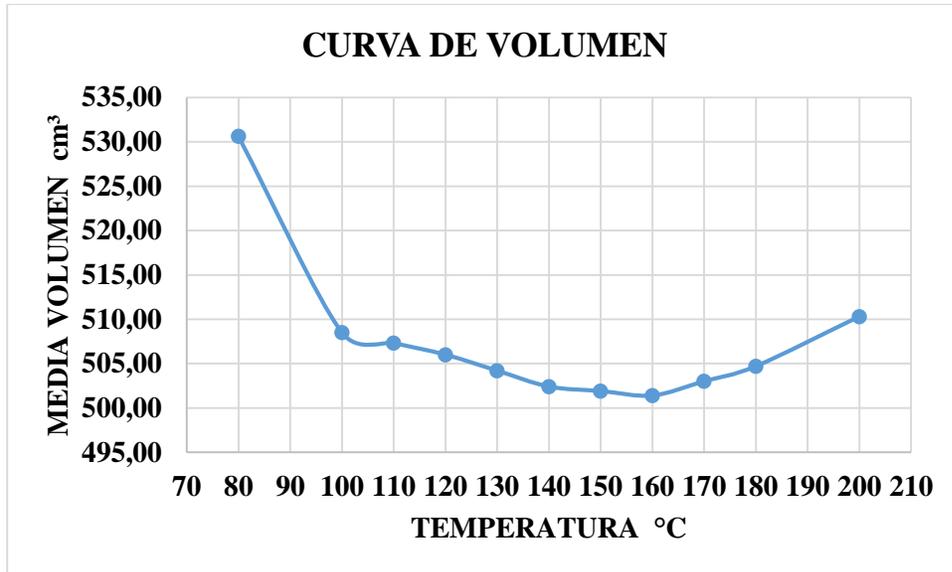


Fuente: Elaboración propia

Análisis

En la curva del peso específico se puede constatar que aumenta de forma ascendente hasta los 160 grados donde se tiene el peso específico máximo que se puede obtener con el ensayo Marshall, donde se puede apreciar con claridad la incidencia de la temperatura en el peso específico de la mezcla asfáltica.

Gráfica N° 5. Curva Volumen Vs Temperatura



Fuente: Elaboración propia

Análisis

En la curva de volumen nos muestra que a los 160 grados nos muestra el menor volumen por tanto es también esta temperatura se presenta el máximo peso específico y temperatura ideal, donde se puede constatar la incidencia de la variabilidad de la temperatura en el momento de la dosificación de la mezcla asfáltica.

También se puede decir que a partir de los 160 grados las mezclas asfálticas comienzan a rigidizarse por causa de las pérdidas de aceites esenciales en el cemento asfáltico que garantizan su vida útil de la mezcla asfáltica y aumenta el volumen por el inicio de la rigidización de la mezcla asfáltica.

3.19. Ensayo de cántabro

Primero se debe tener cuidado con la temperatura para evitar la fragilidad del asfalto por bajas temperaturas el tambor de abrasión debe estar por encima de los 20°C.

Figura N° 28. Termómetro laser



Calculo del porcentaje de desgaste de las briquetas.

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{peso seco} - \text{peso cantabro}}{\text{peso seco}} * 100 \quad \Rightarrow \quad \frac{1191.5 - 1116}{1191.5} * 100$$

$$\% \text{ desgaste} = 6.34 \%$$

Para la elaboración del desgaste de las siguientes briquetas se sigue los mismos pasos.

Para el cálculo del porcentaje de vacíos y peso específico se sigue el mismo paso que en el cálculo de las briquetas a distintas temperaturas.

Tabla N° 56 Cálculos del desgaste de abrasión de la mezcla asfáltica a distintas temperaturas

Ensayo de cántabro

P.E. Agr.= 2,687 Kg/cm³

P.E. Asf.= 1,016 Kg/cm³

P.E. Teo.= 2,455 Kg/cm³

P.E. Bq.= P/V

% A = 5,75

T °C	Altura cm	P. Seco gr.	P. Sumergido gr.	P. Superf. gr.	P. Cántabro gr.	Desgaste %	Volumen cm³	P. Espf. Kg/cm³	Vacíos %
80°C	6,62	1198,40	674,40	1205,10	1056,00	11,88	530,70	2,26	8,02
	6,71	1198,80	676,70	1208,10	1085,00	9,49	531,40	2,26	8,11
100 °C	6,47	1191,50	681,60	1193,60	1116,00	6,34	512,00	2,33	5,21
	6,44	1190,00	680,40	1192,60	1113,50	6,43	512,20	2,32	5,36
110 °C	6,48	1191,95	682,55	1193,75	1111,50	6,75	511,20	2,33	5,02
	6,42	1189,90	681,20	1192,00	1126,90	5,29	510,80	2,33	5,11
120 °C	6,47	1192,40	683,50	1194,00	1107,00	7,16	510,50	2,34	4,86

	6,40	1189,80	682,00	1191,00	1140,30	4,16	509,00	2,34	4,79
130 °C	6,43	1193,80	688,25	1195,00	1134,80	4,94	506,75	2,36	4,04
	6,42	1190,65	684,85	1191,70	1141,25	4,15	506,85	2,35	4,31
140 °C	6,34	1191,70	689,90	1192,25	1159,10	2,74	502,35	2,37	3,37
	6,42	1182,00	679,20	1183,00	1132,70	4,17	503,80	2,35	4,43
	6,39	1195,20	689,00	1195,90	1162,60	2,73	506,90	2,36	3,96
	6,43	1191,50	686,70	1192,30	1142,20	4,14	505,60	2,36	4,01
150 °C	6,33	1189,35	688,50	1189,85	1153,05	3,05	501,35	2,37	3,37
	6,36	1186,15	683,20	1187,05	1141,30	3,78	503,85	2,35	4,11
	6,41	1191,60	687,55	1192,40	1155,30	3,05	504,85	2,36	3,86
	6,40	1186,95	686,35	1187,70	1142,10	3,78	501,35	2,37	3,56
160 °C	6,31	1187,00	687,10	1187,70	1147,00	3,37	500,60	2,37	3,42
	6,30	1190,30	687,20	1191,10	1149,90	3,39	503,90	2,36	3,78
	6,43	1188,00	686,10	1188,70	1148,00	3,37	502,60	2,36	3,72
	6,35	1182,40	686,00	1183,00	1142,00	3,42	497,00	2,38	3,09

170 °C	6,27	1184,85	684,80	1185,45	1122,05	5,30	500,65	2,37	3,60
	6,35	1190,90	686,50	1191,50	1138,60	4,39	505,00	2,36	3,94
	6,42	1187,55	685,60	1188,20	1124,75	5,29	502,60	2,36	3,76
	6,39	1185,55	685,50	1186,30	1133,25	4,41	500,80	2,37	3,57
180 °C	6,24	1182,70	682,50	1183,20	1097,10	7,24	500,70	2,36	3,78
	6,40	1191,50	685,80	1192,00	1127,30	5,39	506,20	2,35	4,12
	6,40	1187,10	685,10	1187,60	1101,50	7,21	502,50	2,36	3,77
	6,42	1188,70	685,00	1189,30	1124,50	5,40	504,30	2,36	3,99
200 °C	6,38	1197,60	687,20	1198,20	1105,00	7,73	511,00	2,34	4,54
	6,39	1195,20	684,50	1196,50	1094,00	8,47	512,00	2,33	4,91

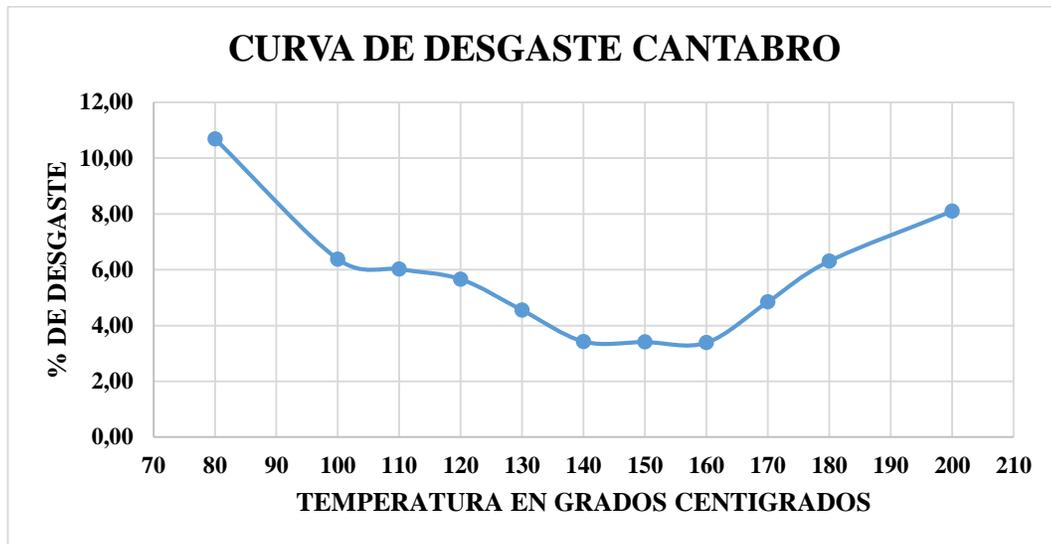
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 57 Resultados al desgaste de abrasión de la mezcla asfáltica a distintas temperaturas

Temperatura	Desgaste	Vacíos	Prom. P.Esf.
°C	%	%	Kg./cm ³
80°C	10,69	8,06	2,26
100°C	6,38	5,29	2,33
110°C	6,02	5,07	2,33
120°C	5,66	4,82	2,34
130°C	4,55	4,18	2,35
140°C	3,43	3,92	2,36
150°C	3,41	3,72	2,36
160°C	3,39	3,50	2,37
170°C	4,85	3,72	2,36
180°C	6,31	3,92	2,36
200°C	8,10	4,72	2,34

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N° 6 Curva de desgaste Cántabro Vs Temperatura



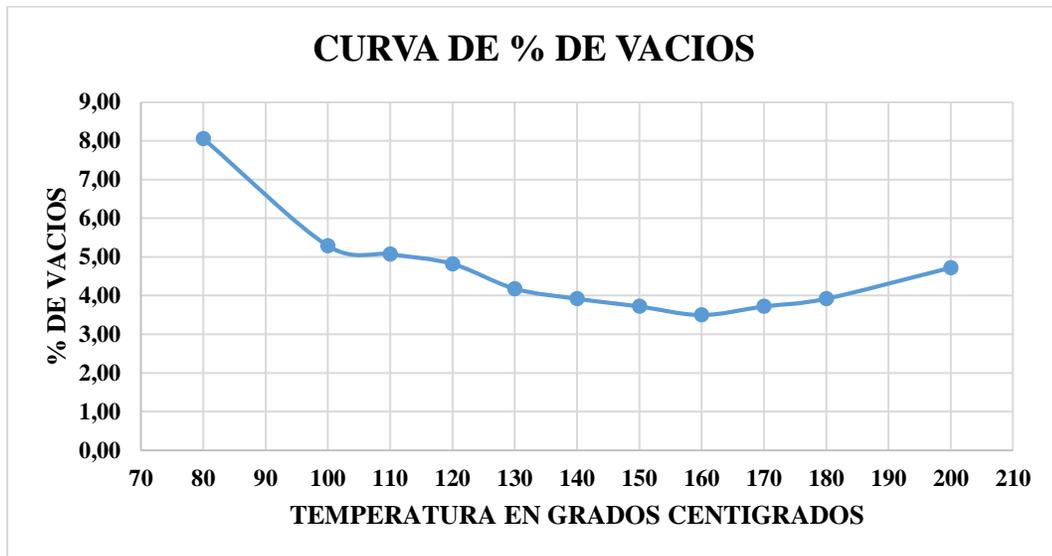
Fuente: Elaboración propia

Análisis

En la curva de desgaste de cántabro se puede evidenciar que hay un menor desgaste o mayor durabilidad de la mezcla asfáltica a partir de los 140°C hasta los 160°C de dosificación y compactación a esas temperaturas, también se visibiliza la temperatura óptima de dosificación es a los 160°C.

También se puede decir que a partir de los 160 grados comienza a aumentar el desgaste debido al tipo de asfalto (85-100) por la pérdida de aceites que garantizan la vida útil de la mezcla asfáltica.

Gráfica N° 7 Curva de % de Vacíos Vs Temperatura



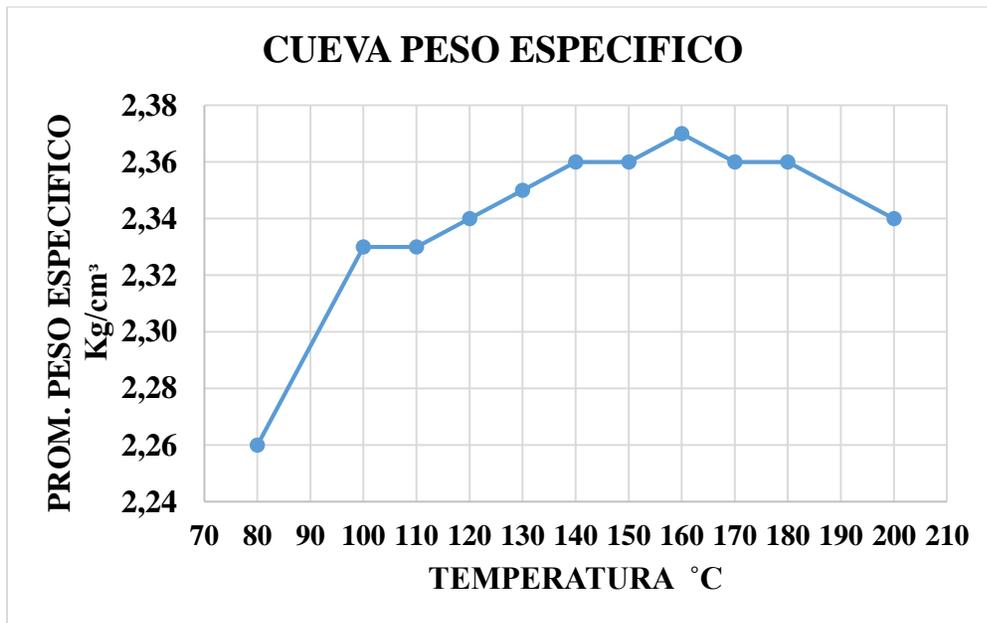
Fuente: Elaboración propia

Análisis

En la curva de vacíos se puede visualizar que a mayor temperatura de dosificación sin perder las cualidades del asfalto es menor el porcentaje de vacíos, donde también se puede evidenciar que en las temperaturas 140,150 y 160 se comportan de forma estable sin presentar mucha variación en su porcentaje de vacíos.

Donde se puede interpretar que estas temperaturas son las adecuadas para realizar la dosificación de las mezclas asfálticas.

Gráfica N° 8 Curva Peso Específico Vs Temperatura



Fuente: Elaboración propia

Análisis

En la curva del peso específico se puede constatar que aumenta de forma ascendente hasta los 160 grados donde se tiene el peso específico máximo que se puede obtener en el momento de dosificación, donde se puede apreciar con claridad la incidencia de la temperatura en el peso específico de la mezcla asfáltica.

Donde también se puede ver que a los 160 grados se presenta el menor desgaste y mayor durabilidad así garantizando la vida útil de la carpeta asfáltica.

3.20. Análisis de costos de la carpeta asfáltica

Análisis de precios unitarios

Actividad: Carpeta de concreto asfáltico

Unitario: m³

Cantidad:

1

Moneda: Bolivianos

Temperatura 155°C

°C

Descripción	Und.	Cantidad	Precio Productivo.	Costo Total
1.- Materiales				
Cemento asfáltico	Ton	0,154	8.352,00	1.286,21
Grava triturada clasificada 3/4"	m³	0,48	162	77,76
Arena clasificada	m³	0,49	145	71,05
Diésel	Lt	18	3,72	66,96
Grava triturada clasificada 3/8"	m³	0,35	162	56,70
			Total materiales	1.558,68
2.- Mano de obra				
Ayudante maquinaria y equipo	Hrs.	0,028	15,14	0,42
Capataz	Hrs.	1,8	22,6	40,68
Chofer	Hrs.	0,0012	16,25	0,02
Operador	Hrs.	0,8201	23,28	19,09
Operador de equipo liviano	Hrs.	0,082	20	1,64
Operador de planta	Hrs.	0,09	24	2,16
Peón	Hrs.	0,072	12	0,86
			Subtotal mano de obra	64,879348
Beneficios sociales - % del subtotal de mano de obra			71,18%	46,18
Impuesto al valor agregado - % subtotal M.O.+ cargas sociales			14,94%	16,59
			Total mano de obra	127,6529
3.- Equipo y herramientas				
Cargador frontal de ruedas >=950 m³	Hrs.	0,0001	422,27	0,04
Compactac rod liso y pata de cabra Autoprop m² /Hrs	Hrs.	0,035	304,66	10,66
Distribuidor de agregados autoprosado m²	Hrs.	0,028	458,75	12,85
Escoba mecánica autropulsada m²/Hrs	Hrs.	0,028	69,45	1,94
Planta calentamiento de asfalto Ton.	Hrs.	0,09	963,34	86,70
Rodillo neumatico TSP >=1000	Hrs.	0,084	332,33	27,92
Terminadora de asfalto	Hrs.	0,075	683,06	51,23
Volketa >= 12	Hrs.	0,03	225,06	6,75
Herramientas - % del total de mano de obra			5,00%	6,38
			Total equipo y herramientas	204,47519
4.- Gastos generales				
Gastos generales - % DE 1+2+3			18,00%	340,35
			Total gastos generales	340,35
5.- Utilidad				
Utilidad - % DE 1+2+3 +4			10,00%	223,12
			Total utilidad	223,12
6.- Impuestos				
Impuestos a la transacción - % DE 1+2+3+4+5			3,09%	75,84
			Total impuestos	75,84
			Total precio unitario	2.530,10

Fuente: Elaboración propia

En el análisis de precios unitarios nos da que el precio de un metro cúbico de mezcla asfáltica tiene el costo de 2.530,10 Bs.

También se puede verificar que el costo de aumentar y bajar la temperatura no son muy significativas en cuanto al costo total de la mezcla asfáltica.

Ay que tomar en consideración que las propiedades de las mezclas asfálticas a la temperatura de elaboración, ya que esto puede determinar la vida útil de la mezcla asfáltica, al pasar de los 160°C todas las propiedades comienzan a bajar por la pérdida de las propiedades del Cemento Asfáltico 85-100.

Tabla N° 58. Análisis del costo de elevar la temperatura

Temperatura	Litros	Costo Bs.
80°C	9,29	34,56
100°C	11,61	43,20
110°C	12,77	47,52
120°C	13,94	51,84
130°C	15,10	56,16
140°C	16,26	60,48
150°C	17,42	64,80
160°C	18,58	69,12
170°C	19,74	73,44
180°C	20,90	77,76
200°C	23,23	86,40

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.

- Se realizó la caracterización de los agregados y cemento asfáltico dando como conclusión que el agregado y asfalto cumplen con las especificaciones técnicas.
- Se realizó la dosificación y compactación de las briquetas a partir de los 80°C, 100°C luego se continuo con una variación de 10°C hasta llegar a los 180°C y 200°C
- Se concluyó terminar el ensayo a los 200°C por que el cemento asfáltico a partir de esa temperatura comienza a oxidarse y perder propiedades y líquidos esenciales para la mezcla asfáltica.
- La elaboración de las briquetas en el ensayo se partió de acuerdo a la norma I.N.V. E – 748 – 07 en el estadio de mezclas Semi-calientes (100-150°C) y calientes (150-180°C), donde la mezcla asfáltica no pierde ninguna de sus propiedades, también se realizó briquetas de valores extremos a las temperaturas de 80 y 200°C.
- En el ensayo Marshall se pudo verificar que las propiedades físico mecánicas se mantienen estables sin mucha variación en las temperaturas de 140, 150 y 160°C.
- También se pudo evidenciar que el máximo peso específico y mínimo volumen se encuentra a los 160°C y no así con el contenido de vacíos que el mínimo se encuentra a los 180°C como el máximo de fluencia.

- Se pudo evidencia que la resistencia a la abrasión o ensayo de cántabro es menor a los 160°C con un 3.39% de pérdida, dando por ende que a esta temperatura se garantiza la vida útil del pavimento flexible.
- Por tanto se concluye que la temperatura que garantizan la vida útil de la mezcla asfáltica en el momento de dosificación y compactación está en las temperaturas de 140,150 y 160°C.
- Se concluyó que el trabajo de investigación cumplió con los objetivos planteados.
- De acuerdo a la hipótesis se verificó en la investigación que la propiedad físico mecánica de estabilidad y fluencia se incrementa a medida que se incrementa la temperatura en la mezcla asfáltica convencional hasta llegar a los 160°C donde comienzan a bajar o subir algunas propiedades de la mezcla asfáltica.

4.2 Recomendaciones.

- Se recomienda tener cuidado en el momento de la caracterización de los materiales para así evitar obtener datos erróneos en el momento de obtener el contenido óptimo de asfalto par el agregado.
- Se recomienda seguir procedimientos de seguridad antes de realizar el dosificado y compactado de la mezcla asfáltica, utilizando guantes y mascara de gases para evitar una posible intoxicación ya que la mezcla es realizada de forma manual en llama abierta.

- En el momento de realizar la dosificación con un equipo homogeneizador de asfaltos, tener precaución con el procedimiento a realizar, ya que el equipo a utilizar es manual y puede presentar salpicaduras de ligante que se encuentra a altas temperaturas.
- Se debe tener mucho cuidado con la temperatura para así no generar puntos calientes en momento del mezclado o homogenizado, para evitar que se queme el asfalto y pierda sus propiedades físicas y mecánicas.
- Se recomienda tener mucho cuidado en la ruptura y tabulación de datos, para así evitar lecturas erróneas.
- Tener mucho cuidado con la pérdida de temperatura por el contacto del medio ambiente y generar zonas frías y calientes.
- Golpear con el martillo compactador a una velocidad y altura constante debido a que el ensayo Marshall es una práctica pulcra y cuidadosa un error puede hacer fallar los resultados.
- No sobrecalentar varias veces el cemento asfáltico debido a que pierde sus propiedades.